

A

10521
9



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**"ESTUDIO DE LAS FERRITAS DE ZINC Y
MANGANESO"**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA QUIMICA

P R E S E N T A N :

**ROCIO MARTINEZ MENDOZA
PATRICIA ZARCO HERNANDEZ**

ASESORES DE TESIS:

M.C. ANA LETICIA FERNANDEZ OSORIO
Q. OFELIA VEGA VAZQUEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO

2003.

**TESIS
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

D



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES
SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA
ESTADO DE QUERETARO

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Estudio de las ferritas de zinc y manganeso"

que presenta la pasante: Rocio Martínez Mendoza
con número de cuenta: 90C1622-R para obtener el título de:
Ingeniera Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 18 de Febrero de 2003

PRESIDENTE M. en C. Ana Leticia Fernández Osorio

VOCAL Q.M. Cecilia González Ibarra

SECRETARIO I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez

PRIMER SUPLENTE I.Q. Gilberto Atilano Amaya Ventura

SEGUNDO SUPLENTE I.Q.I. Celina Elena Urrutia Vargas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

C



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

SEGURIDAD NACIONAL
AZULEMA 10
MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Comité de Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Estudio de las ferritas de zinc y manganeso"

que presenta la pasante: Patricia Zarco Hernández ✓
con número de cuenta: 9656404-0 para obtener el título de
Ingeniera Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 18 de Febrero de 2003

- PRESIDENTE M. en C. Ana Leticia Fernández Cuorio *Ana Leticia Fernández Cuorio*
- VOCAL C.M. Cecilia González Ibarra *Cecilia González Ibarra*
- SECRETARIO I.O. Guadalupe Franco Rodríguez *Guadalupe Franco Rodríguez*
- PRIMER SUPLENTE I.O. Gilberto Atilano Amaya Verjura *Gilberto Atilano Amaya Verjura*
- SEGUNDO SUPLENTE I.O.I. Celina Elena Urrutia Vazquez *Celina Elena Urrutia Vazquez*



D

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Por haber cambiado mi vida desde que te conocí, a darme cuenta que nunca estuve sola y el saber que nunca lo estaré, GRACIAS.

A MIS PADRES:

FIDE: A ti te debo mi carácter, obviamente el lado bueno, gracias por enseñarme que en la vida no es solo recibir, sino el ver que es lo que puedes dar, el haberme hecho una persona útil. Tu eres mi lado fuerte, sin ti nada funcionaría en esta familia, ni en mi vida, te amo.

MIGUEL: Tu eres mi mayor orgullo, se que tuve mucha suerte en tener un padre tan extraordinario, un gran amigo y mi mejor maestro en casa, gracias por indicarme mis errores y ayudarme a remendar los ya hechos, por estar ahí siempre que te necesito.

A MI ABUELITO RAFA: Te acuerdas que me decías que estudiara, que a veces hay que sacrificar cosas para lograr lo que queremos, que fuera buena hija, que cuidara a mis hermanos, quisiera que estuvieras vivo, para que me digieras que tan bien o tan mal lo he hecho. Te extraño.

A MI ABUELITA JULIA: Me hizo falta tiempo para decirte cuanto te quiero.

REYNA: Muchas gracias por apoyarme, por enseñarme que las mujeres también podemos hacer grandes cosas, como el de ser la cabeza de una gran familia y eso es lo que eres tu. Te quiero mucho abuelita

INES: Abuelito pienso mucho en ti, y cuando estas con nosotros quisiera que no te fueras. Te quiero.

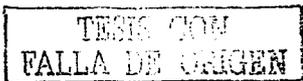
A MIS HERMANOS:

ALE: Dios siempre manda un ángel en cada familia con una bella mirada, y una gran sonrisa, gracias por enseñarme que la vida vale la pena, que siempre que estemos juntos nada nos va a pasar, por que nos tenemos uno al otro, te amo.

CHIVIS: Eres mi orgullo, lo más maravilloso que ha pasado en esta familia, tu iluminas todo con tu sonrisa, gracias por tu apoyo y sobre todo por ese amor incondicional.

BETO: Cuando se tiene un hermano como tu, se puede tener la certeza de que nunca nos dejara morir solos, que se puede contar contigo, te quiero mucho.

ALFREDO: Siempre he pensado que dios pone a las personas indicadas en tu vida, y tú eres la prueba de ello, gracias por estar siempre a mi lado, sabes que muchas cosas no las hubiera realizado sin ti. Te amo.



F

PATY: Tu que has sido como una hermana estos últimos años de mi vida, juntas de lunes a sábado desde las 9:00 am hasta las 9:00 pm, y a veces los domingos, hemos compartido planes, sueños, metas y hasta problemas, sería imposible no quererte, y ahora para variar la tesis juntas, gracias por enseñarme a ser mas tolerante, y sobre todo por ayudarme a realizar mis sueños TQICH.

ANITA: Una de las cosas más importantes que me hizo estudiar esta carrera fue una frase que recuerdo de ti, "si quieres estudiar algo, estudia algo que valga la pena", gracias por ser el mejor ejemplo de toda mi vida, recuerdas "Cuando sea grande quiero ser como mi tía Anita".

JOSEFINA: Nunca te di las gracias por todas las veces que fuiste por mí a la Escuela, por tratar de ayudar a mi mamá a educarme, aunque la mitad de tus intentos fueron fallidos, muchas gracias por tratar de hacer de mí una mejor persona.

TONA: Cuando se tiene presente a las personas no importa que casi no las veas, por que siempre están contigo, siempre que las recuerdes, gracias por estar ahí siempre, tú eres muy importante en mi vida, mas de lo que tu te puedas imaginar.

A los IQ's 23 y a Daniel Tierry, por haberme hecho mis días dentro de la universidad mas agradables, en especial a ti Yola y a ti Tobí.

A todas, todas las chavas y los coach's de los equipos de americano de IQ's, siempre recordare esos buenos tiempos, gracias por haberme ayudado a construir ese gran recuerdo.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO. Por formarme como profesionista y ser humano, gracias por haberme dado la oportunidad de conocer a las personas importantes de mi vida. Me siento orgullosa de haber sido y ser por siempre de la U.N.A.M.

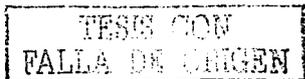
PROFESORA GRACIELA MARTINEZ, Gracias por su paciencia, su apoyo y sus consejos que nunca olvidaré.

PROFESORA ANA LETICIA Y OFELIA: Que si les quitamos tiempo, muchas gracias por ayudarnos a realizar nuestros sueños, que sin su ayuda no hubieran sido posibles, se los agradezco de corazón.

Se que me faltan muchas personas, pero seria una tesis de agradecimientos, muchas gracias a todas las personas que de algún modo me ayudaron, para que esto fuera realidad.

Ahhh. DODI se que nunca podrás leer esto, pero te amo.

R.M.M.



/

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

PATRICIA:

A DIOS.

Gracias por tu infinito amor, por acompañarme en todo momento y darme fuerzas cuando mas lo necesite.

A MIS PADRES:

Josefina Hernández y Gabriel Zarco.

Se que no hay forma para agradecer en esta vida de esfuerzo y lucha constante todo lo que han hecho por mí, solo deseo expresarles que mis esfuerzos y logros también son suyos. Gracias por ser mi inspiración para superarme cada dia y darme su cariño y su apoyo incondicional los quiero.

A MIS HERMANOS:

Pablo C. Gracias por hacerme grande y sobre todo por estar conmigo siempre que te necesite, por apoyarme sobre todo a ser mis tareas, sin ti no lo hubiera logrado.

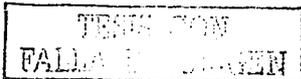
Gabriela. Gracias por todo el cariño que brindas, por comprenderme y apoyarme en todo lo que hago y gracias a mi cuñado Esteban P.

A MIS SOBRINOS

Bárbara ,Gustavo y el bebe por llenar mis momentos de alegría.

A TODA MI FAMILIA

Con mucho cariño



G

A LA FAMILIA MARTINEZ MENDOZA

Sr. Miguel, Sra. Fidelia, Silvia, Alejandro y Alberto.

Gracias por brindarme su cariño.

A ROCIO MARTINEZ

Gracias Por ser mas que una amiga para mi, porque tu me enseñaste lo que es una verdadera amistad y sobre todo por compartir este sueño que gracias a tu apoyo y confianza se hizo realidad. Te quiero O.K.

A LA FESC

Por haber sido mi casa durante algunos años

A LOS I.Q. 23 y otras generaciones

A todos gracias por los momentos inolvidables que pasamos y por apoyarme.

A NUESTRA ASESORA

M. en C. Ana Leticia Fernández Osorio. Gracias por apoyarnos y darnos un poco de su sabiduría y sobre todo de su tiempo, porque a pesar de sus múltiples ocupaciones siempre tuvo un momento para escucharnos.

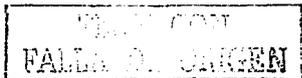
A NUESTRA COASESORA

Q. Ofelia Vega Vázquez. Mis mas infinitos agradecimientos por su amistad, consejos, tiempo brindado y apoyo para poder llevar a acabo este trabajo. Gracias por ser una persona sencilla y mas que una maestra una amiga, que nos impulso a realizar nuestros sueños.



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
CAPITULO 1	
1.1 ANTECEDENTES	4
CAPITULO 2	
GENERALIDADES	
2.1 PROPIEDADES MAGNETICAS DE LOS MATERIALES	8
2.2 TIPOS DE FERRITAS	22
2.3 ESTRUCTURA CRISTALINA	26
2.4 APLICACIONES	31
CAPITULO 3	
METODOS DE PREPARACIÓN	41
3.1 PROCESO CONVENCIONAL	43
3.2 SINTESIS HIDROTERMICA	43
3.3 COPRECIPITACIÓN ELECTROLÍTICA	44
3.4 REACCION FLAMA	45
3.5 PROCESO DE VAPORIZACIÓN	45
3.6 COPRECIPITACION QUÍMICA	46
3.7 METODO DE PECHINI	47
3.8 METODO PROPUESTO	47



I

CAPITULO 4

PARTE EXPERIMENTAL

4.1 SINTESIS DE LAS FERRITAS DE Fe Y Mn	56
4.2 OBTENCION DE DIFRACTOGRAMAS	54
4.3 OBTENCION DE MICROGRAFIAS	58
4.4 MICROANALISIS QUÍMICO	60
4.4 MEDICIONES DE MAGNETIZACIÓN	64

CAPITULO 5

ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 DE SINTESIS	67
5.2 ESTRUCTURA CRISTALINA	67
5.3 DE PROPIEDADES MAGNETICAS	69
5.4 DE MICROESTRUCTURA	70

CAPITULO 6

CONCLUSIONES	71
--------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	73
--------------------	----

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN

La cerámica actual se ha desarrollado de su tradicional expresión artística y de producción de objetos útiles al hombre, a un concepto moderno de ciencia e ingeniería cerámica, productos y materiales cerámicos, que corresponde a una asociación íntima de varias disciplinas científicas, principalmente química, física e ingeniería.

Los materiales cerámicos pueden así definirse como aquellos materiales de origen inorgánico, con enlace iónico, covalente, o bien, una combinación de ellos.

Dentro de los materiales cerámicos existen los cerámicos magnéticos o también llamados ferritas los cuales son óxidos inorgánicos de fórmula AB_2O_4 en donde B es Fe^{3+} y A puede ser un metal divalente de transición los cuales generalmente cristalizan en estructura de tipo espinela, donde la estructura es de empaquetamiento compacto cúbica centrada en caras. Son extensamente usadas en dispositivos electrónicos debido a las propiedades magnéticas que presentan. Las ferritas se consideran materiales muy importantes desde el punto de vista magnético que continúan llenando las necesidades de la industria electrónica en constante crecimiento. Las ventajas de las ferritas sobre los metales para aplicaciones electrónicas se fundamentan en su elevada resistividad, fácil mecanización, compactación, estabilidad química y bajos costos.

Es imposible reunir todas las características en un solo tipo de ferrita por ello es importante seleccionar el material para cada aplicación: aisladores, circuladores y desplazadores de fase.

Existe una gran variedad de métodos para la preparación de las ferritas desde el método cerámico tradicional hasta métodos sofisticados que requieren alta tecnología, la producción industrial de estos materiales involucra mezclas de óxidos llevadas a temperaturas superiores a $1000^{\circ}C$ así como un control de calidad riguroso lo que nos lleva a costos elevados de producción.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En este trabajo se sintetizan las ferritas de zinc y manganeso mediante el método alternativo de sol-gel y posterior calcinación; este método incluye síntesis hidrotérmica iniciando con esta a partir de la mezcla de sulfatos y cloruros agregando un hidróxido como agente precipitante y elevando la temperatura de la solución lavando posteriormente para eliminar el exceso de azufre ya que este puede intervenir en el producto esperado.

La síntesis hidrotérmica ha demostrado ser potencialmente superior para la producción de polvos cerámicos a bajas temperaturas donde se obtienen los mas pequeños tamaños de partícula.

Durante la síntesis hidrotérmica la reacción ocurre entre iones, y ajustando el pH de la solución se logra obtener un gel, el cual es secado y calcinado a 600°C.

Para poder identificar las ferritas obtenidos se utiliza la técnica de difracción de rayos X ya que está nos permite identificar la fase espinela, y la microscopía electrónica de barrido nos permite estudiar la morfología de las partículas de las ferritas : con ayuda de estos parámetros podemos corroborar la bondad del método pero solo para la ferrita de zinc ya que para la ferrita de manganeso no resulto ser viable debido a las propiedades de esta.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

OBJETIVOS

- Sintetizar y caracterizar las ferritas de Mn y Zn por el método de sol-gel.
- Identificar la estructura de ambas ferritas mediante la difracción de rayos X
- Obtener micrográficas de microscopía electrónica de barrido para determinar el tamaño de partícula y microanálisis químico.
- Proponer un método a nivel laboratorio que ofrezca ventajas tanto de operación como de costos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3A

CAPITULO

1

TRES CON
FALLA DE ORIGEN

Aunque las primeras ferritas se prepararon en 1859. El primer sistema estudiado sobre la relación entre la composición química y la propiedades magnéticas de varias ferritas fueron reportados por Hilpert en 1909.^{1,2} En aquel tiempo, Hilpert preparó sucesivamente ferritas de tipo espinela, de manganeso, cobre, cobalto, magnesio y zinc: el aspecto admirable de este trabajo fue que desde entonces sintetizó ferritas de bario, calcio y plomo, que han sido aplicadas y patentadas³ en Alemania como núcleo de ferritas. Alrededor de los años 20 el trabajo de Hilper, fue implantado en Francia, comenzando así un estudio químico sobre la preparación de diversas ferritas. La investigación activa de la preparación de ferritas inicio hasta alrededor de 1932.

En este mismo año en Japón, Kato y Takei investigadores en química, realizaron por casualidad dos descubrimientos referidos a las ferritas.

El primer descubrimiento ocurrió al tratar la temperatura de Curie en un campo magnético débil. Ellos descubrieron que un sólido en solución de magnetita y ferrita de cobalto son fuertemente magnetizados cuando tienden a alcanzar los 300°C .

En los países bajos hubo una significativa contribución en el desarrollo de la ciencia de las ferritas. En 1935 Snoek ⁴ analizando ferritas observó que presentaban dos propiedades, la alta permeabilidad y el factor mas bajo de pérdida. Snoek descubrió que ambas ferritas Mn-Zn y Ni-Zn presentan propiedades magnéticas, y mencionó que estas son propiedades muy importantes para los materiales electrónicos, este trabajo se difundió rápidamente en la industria.

El segundo descubrimiento ocurre cuando Kato y Takei investigaban una ferrita inversa tipo espinela teniendo una no magnetizada y una con magnetización. En este ensayo se muestra una notable disminución de la magnetización de las ferritas mezcladas, encontrando que la permeabilidad de ferritas se multiplicaba mas de diez veces al realizar mezclas de estas. Este fue el nacimiento de la núcleo ferrita comercial.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Kato y Takei evaluaron la ferrita de Cu-Zn calcinadas a $\sim 1000^\circ\text{C}$ presentando estas en comparación con otras ferritas calcinadas a la misma temperatura un mayor núcleo.

En la figura 1.1 se presenta de forma esquemática los resultados experimentales de la investigación realizada por Kato y Takei en su primer descubrimiento; en el se muestra la relación entre la temperatura de magnetización y el campo aplicado. Observando que la temperatura de magnetización casi no incrementó. Esta magnetoferrita, con la composición $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot 3\text{CoFe}_2\text{O}_4$, fue industrializada bajo el nombre de "OP magneto" en 1935., en Estados Unidos, el magneto fue llamado "Vectolita".⁵

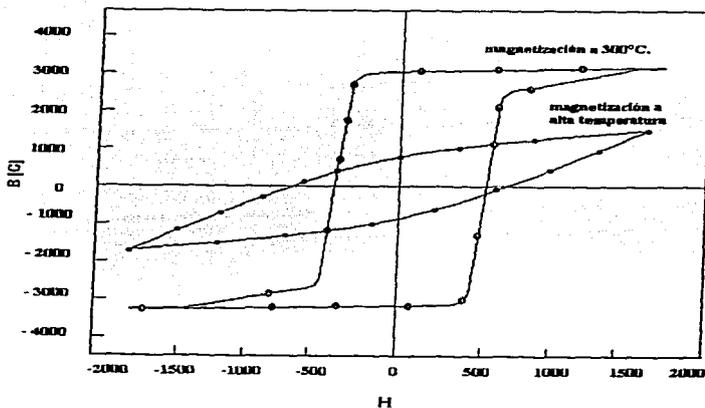


Fig 1.1 Efecto de la temperatura de magnetización en la histéresis de una solución de CoFe_2O_4 y Fe_3O_4 .



El mecanismo para el incremento de la magnetización de ferrita de zinc fue explicado en Francia en 1948. Otros científicos franceses también desarrollaron eventos sucesivos, como por ejemplo el estudio de ortoferritas por Foriestier y Guillaín y ferritas tipo granate por Bertaut y Forrat.⁷ La principal labor de investigación fue realizada por el Dr. Snoek y sus colaboradores, trabajando en Eindhoven durante la ocupación de Holanda. Después de la guerra, el desarrollo de las ferritas progresó rápidamente comenzando a usarse ampliamente en radio y televisión.

Las propiedades de las ferritas en las microondas fueron estudiadas por primera vez por F.F. Roberts trabajando en Inglaterra en el periodo comprendido entre 1950 y 1951. Poco después, C.L. Hogan trabajando en ese mismo país, describió otros experimentos sobre el efecto de Faraday y delineó el funcionamiento de los componentes básicos no recíprocos con ferritas para uso en microondas.

El uso potencial de las ferritas en los circuitos se hizo entonces evidente y desde 1952 aproximadamente se empezó a trabajar activamente en este campo, sobre todo en los Estados Unidos e Inglaterra.

La síntesis de la ferrita hexagonal de bario y estroncio por Jonker en 1952⁹ fue otro de los descubrimientos relevantes, además de los realizados en 1957 sobre el complejo de ferroxplana tipo ferrita también realizados por Jonker¹⁰.

En los Estados Unidos, muchos trabajos fueron objeto de estudio de ferritas desde 1950 hasta 1970, y estos obtuvieron notables resultados en los fundamentos y aplicaciones en el estudio de las ferritas. En 1952¹¹ Hogan logró proponer un mecanismo de desarrollo de la síntesis a partir de los óxidos para una gran gama de las ferritas. Albert-Schoenger trabajaron con ferritas de Mn-Mg la cual presentaba un bajo cuadro de histéresis los escritos acerca de este trabajo aparecieron alrededor de 1954¹². En 1967 la Investigación de Bodeck¹³ acerca de las esferas magnéticas más la contribución de Dillon en 1969¹⁴ ayudaron al desarrollo de aparatos magnetoópticos.



ANTECEDENTES HISTORICOS

CAPITULO I

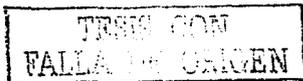
Muchos reportes se han dado sobre el desarrollo histórico, la ciencia y la tecnología de las ferritas desde 1930.^{15,16} En forma breve los descubrimientos sobresalientes en la historia de las ferritas, se presenta en la tabla 1.1.

1930 Japón	1940 Francia	1950 países bajos	1960 U.S.A.	1970	1980	1990	2000
Magneto ferrita y núcleo ferrita (Kato y Takei, 1932)	Núcleo ferrita de Mn-Zn y Ni-Zn (Snoek, 1947) Ferromagnetismo (Neel, 1948).	Otoferritas (Foriester et al., 1950) ion granate(1956)	Dispositivo burbuja magnético(Bobeck, 1967) Dispositivo de ferrita magneto óptica.(Dillon et al., 1969)	ICF1 Japón. 1970. ICF2 Francia, 1976.	ICF3. Japón	ICF6. 1992	ICF8. Fue realizada en Japón.

ICF = CONFERENCIA INTERNACIONAL DE FERRITAS

Tabla 1.1 Escala de tiempo en el desarrollo de ferritas.

En los últimos 60 años ha existido un extraordinario progreso en la industria electrónica principalmente en los países desarrollados, en cuanto a la necesidad de cambiar los materiales de la industria electrónica por otros que ofrezcan ventajas sobre los ya establecidos con mejores propiedades magnéticas y eléctricas, los materiales electrocerámicos dentro de los cuales se encuentran las ferritas parecen ser una buena opción.^{17,18}



7-A

CAPITULO 2

TESIS CON
FALLA DE CUBREN

2.1 PROPIEDADES MAGNETICAS DE LOS MATERIALES

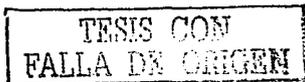
El magnetismo es una de las fuerzas fundamentales de la naturaleza. Las fuerzas magnéticas son producidas por el movimiento de las partículas cargadas, lo que indica la estrecha relación entre la electricidad y el magnetismo. El marco que reúne ambas fuerzas se denomina teoría electromagnética. La manifestación más conocida del magnetismo es la fuerza de atracción o repulsión que actúa entre los materiales magnéticos como el hierro. Sin embargo, en toda la materia se pueden observar efectos más útiles del magnetismo. Recientemente, estos efectos han proporcionado claves importantes para comprender la estructura atómica de la materia.

La base de las propiedades magnéticas están en los momentos magnéticos intrínsecos (espín) de las partículas elementales: protones, neutrones y electrones¹⁹. Cuando se examina la estructura electrónica de casi la totalidad de los elementos, se observa que sus momentos magnéticos son nulos, o bien muy pequeños, ya que solamente los elementos con número atómico impar posee un espín no compensado (el momento angular orbital es, en general, inferior al de espín). Existen algunos elementos que poseen un número considerable de electrones con espín no apareado: son los elementos de transición, como el hierro, níquel y cobalto y un buen número de tierras raras.

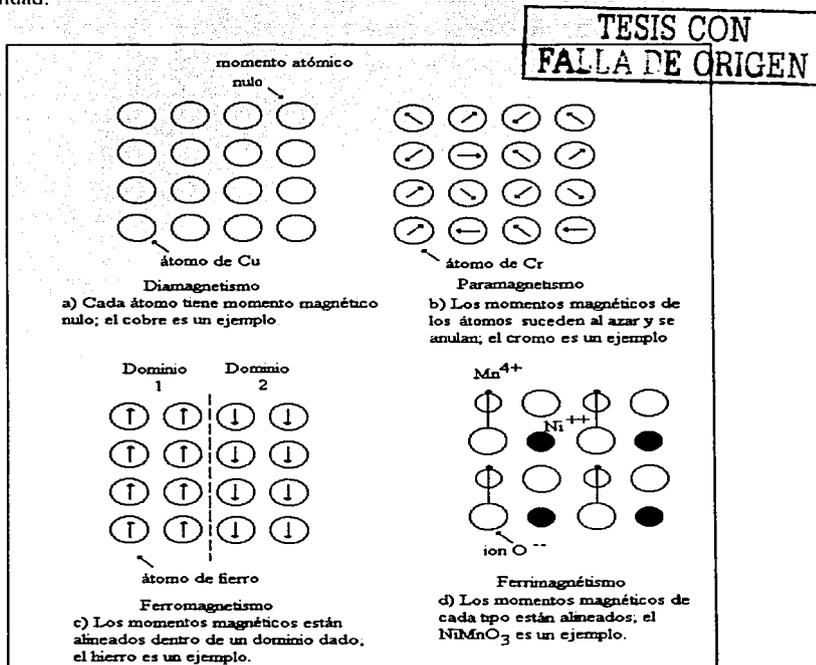
Las propiedades magnéticas de los materiales se clasifican siguiendo distintos criterios.

Una de las clasificaciones de los materiales magnéticos los divide en diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos, que se basa en la reacción del material ante un campo magnético.

En los materiales diamagnéticos, cuando se coloca un material de este tipo en un campo magnético, se genera un momento magnético de sentido opuesto al campo externo. En el cual la susceptibilidad es negativa. Esencialmente, el campo aplicado perturba el movimiento orbital de electrones.



Muchos materiales son diamagnéticos; los que presentan un diamagnetismo (fig 2.1 a) mas intenso son el bismuto metálico y las moléculas orgánicas que, como el benceno tienen una estructura cíclica que permite que las corrientes eléctricas se establezca con facilidad.²⁰



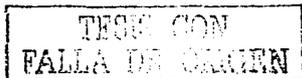
2.1 Ilustraciones esquemáticas de los orígenes atómicos de los cuatro tipos de comportamiento magnético; no hay ningún campo magnético externo

FALLA DE ORIGEN

El comportamiento paramagnético (fig 2.1.b) se produce cuando el campo magnético aplicado alinea todos los momentos magnéticos ya existentes en los átomos o moléculas individuales que componen el material. Esto produce un momento magnético global que se suma al campo magnético. El paramagnetismo en sustancias no metálicas suele caracterizarse por una dependencia de la temperatura: la intensidad del momento magnético inducido varía inversamente con la temperatura. Esto se debe que al ir aumentando la temperatura, cada vez resulta más difícil alinear los momentos magnéticos de los átomos individuales en la dirección del campo magnético. Materiales importantes de este tipo son arcillas, clorita, anfíboles, piroxenos y micas.

Los materiales ferromagnéticos (fig 2.1 c) son las que , como el hierro , mantienen un momento magnético incluso cuando el campo magnético externo se hace nulo. Este efecto se debe a una fuerte interacción entre los momentos magnéticos de los átomos o electrones individuales de la sustancia magnética, que los hace alinearse de forma paralela entre sí. Los materiales ferromagnéticos están divididos en regiones llamadas "dominios" , en cada dominio, los momentos magnéticos atómicos están alineados en paralelo. Los momentos de dominios diferentes no apuntan necesariamente en la misma dirección. Aunque un trozo de hierro normal puede no tener un momento magnético total, puede inducirse su magnetización colocándolo en un campo magnético, que alinea los momentos de todos los dominios.

Un material ferromagnético acaba perdiendo sus propiedades magnéticas cuando se calienta; es decir que presenta una fuerte dependencia con la temperatura. arriba de la temperatura de Curie(llamada así en honor del físico francés Pierre Curie, que descubrió el fenómeno en 1895.²¹)el material exhibe un comportamiento paramagnético.

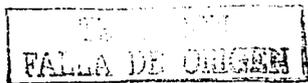


También se han hallado otras configuraciones más complejas de los momentos magnéticos atómicos. las sustancias ferrimagnéticas conocidas como ferritas(fig 2.1d) tienen al menos dos clases distintas de momento magnético atómico, que se orientan de forma antiparalela .

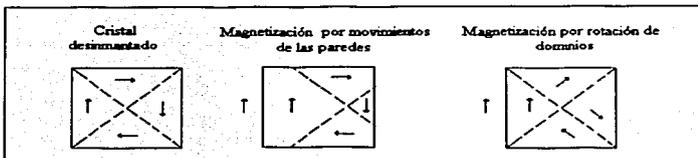
Como ambos momentos tienen magnitudes diferentes, persiste un momento magnético neto, al contrario que un material antiferromagnético, donde todos los momentos magnéticos se anulan entre si. Curiosamente, la piedra imán es ferrimagnética, y no ferromagnética; en este mineral existen dos tipos de ion hierro con momentos magnéticos diferentes. Se han encontrado disposiciones aún mas complejas en las que los momentos magnéticos están ordenados en espiral. Los estudios de estos ordenamientos han proporcionado mucha información sobre las interacciones entre los momentos magnéticos en sólidos. Como ejemplo la constante dieléctrica elevada que convierten las diferencias de presión en diferencia de voltaje. Estos materiales exhiben histéresis y fuerte magnetización remanente. La magnetita es la mas importante de estos materiales.

La magnetización medida es la suma de la magnetización inducida (a la que se contribuyen todos los materiales presentes es una muestra) y la magnetización remanente a la que contribuyen los materiales ferromagnéticos.

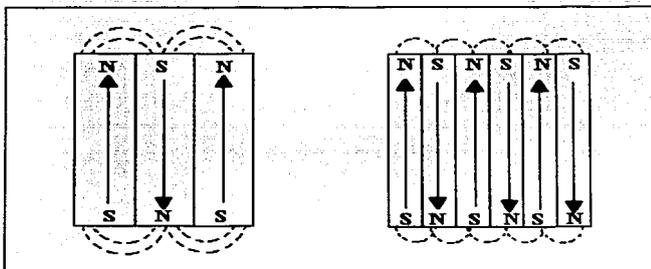
Las propiedades electro ópticas los hacen útiles como obturadores ópticos de gran velocidad y como moduladores de la luz. La naturaleza biestable de los dominios(fig 2.2 a y 2.2b) ferro eléctricos los hace útiles como base de memoria de ordenadores, aunque aún no se han encontrado elementos capaces de competir con los elementos de memoria magnética.²²



TESIS CON FALLA DE ORIGEN



2.2 a Modelos de dominios idealizados mostrando los procesos fundamentales de magnetización.



2.2 b Reducción de energía magnética debido a la formación de dominios

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Dentro de la clasificación ya mencionada. Retomaremos dos, debido a la importancia que tienen en este trabajo. Como ya se mencionó, la energía de intercambio tiene a veces el efecto opuesto al ferromagnetismo: los giros se alinean en forma opuesta en vez de la misma dirección. Este fenómeno se conoce con el nombre de antiferromagnetismo. Existe una temperatura análoga al punto de Curie, llamada temperatura de Néel, por encima de la cual desaparece el orden antiferromagnético. En este caso la susceptibilidad es positiva y aumenta a medida que aumenta la temperatura ya que la energía térmica destruye las disposiciones antiparalelas de los momentos y les permite alinearse en campo. La figura 2.3 compara la alineación de los momentos magnéticos y los efectos de la temperatura en los materiales ferromagnéticos y antiferromagnéticos.²³

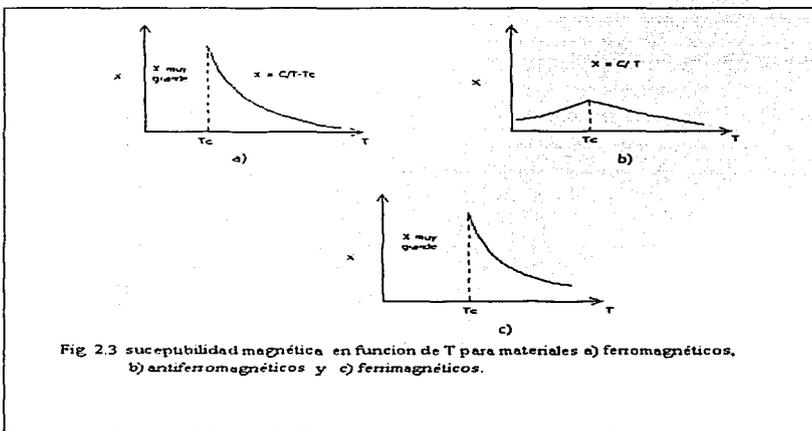


Fig. 2.3 susceptibilidad magnética en función de T para materiales a) ferromagnéticos, b) antiferromagnéticos y c) ferrimagnéticos.

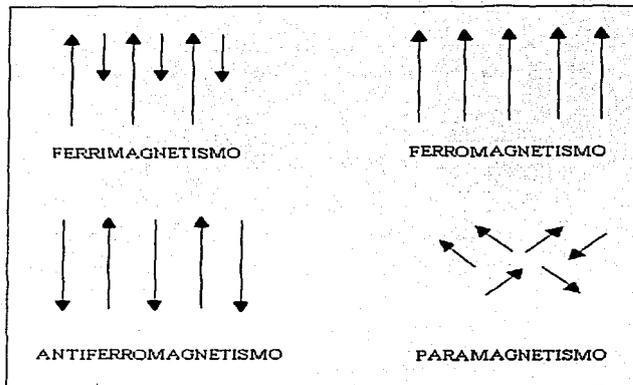
TEXTO CON
FALLA DE ORIGEN

El punto máximo en la curva de χ_m en función de T indicada en la figura 2.3b para un material antiferromagnetismo se denomina temperatura de Neel y corresponde a la temperatura de Curie de los materiales ferromagnéticos. Las espínelas presentan interacciones ferromagnéticas y sin embargo poseen giros antiparalelos orientados como en la figura 2.3c. Aunque los vecinos más próximos presentan giros opuestos en un material ferromagnético como éste, un grupo de los momentos de giro es mayor que el otro como es indicado. En consecuencia se produce un momento neto. La magnetización de las ferritas, es lo suficientemente grande para ser útil comercialmente, aunque el valor de saturación no es tan grande como en el caso de ferromagnético.

ORDEN FERROMAGNETICO

Un cuerpo ferromagnético posee un momento magnético espontáneo incluso en ausencia de campo magnético. El momento magnético espontáneo sugiere que los espines electrónicos y los momentos magnéticos están dispuestos de una manera regular. El orden no es necesariamente simple; todas las disposiciones representadas en la figura 2.4, excepto el antiferromagnético simple tiene un momento magnético espontáneo llamado generalmente momento de saturación.²⁴

TESIS CON
FALLA DE CUBRIR



2.4 POSIBLES DISPOSICIONES ORDENADAS DE LOS SPINES ELECTRÓNICOS.

PUNTO DE CURIE

Consideremos un paramagnético con una concentración de N iones de espín S . Si existe una interacción interna que tiende a alinear paralelamente los momentos magnéticos, se tiene un ferromagnetismo. Postulemos esa tal interacción y llamémosla campo de canje.

TRABAJO CON
FALLA DE ORIGEN

GENERALIDADES

CAPITULO 2

Admitimos que B_E es proporcional a la imanación M . La imanación se define como el momento magnético de la unidad de volumen ; a menos que no se especifique lo contrario, se toma para la imanación su valor en el equilibrio térmico en el campo B_E a la temperatura T . Si el cuerpo posee dominios (regiones imanadas en diferentes direcciones) nos referimos a la imanación dentro de un dominio. En la aproximación de cada medio, admitiremos que cada átomo magnético está sometido a un campo proporcional a la imanación

$$B_E = \lambda M \quad \dots\dots\dots (1)$$

Siendo λ una constante independiente de la temperatura. Según (1) cada spin sufre la imanación media debida a todos los otros spins, en realidad solo puede sufrir la influencia de sus vecinos próximos, pero nuestra simplificación es conveniente dentro de una primera aproximación.

La temperatura de Curie T_c es la temperatura por encima de la cual desaparece la imanación espontánea²⁵; separa la fase paramagnética desordenada para $T > T_c$ de la fase ordenada ferromagnética a $T < T_c$. Puede encontrarse T_c en función de λ . Consideremos la fase paramagnética; un campo aplicado B_a originará una imanación finita que, a su vez, engendrará un campo finito de canje B_E . Si X_p es la susceptibilidad paramagnética.

$$M = \chi_p(B_a + B_E) \quad \dots\dots\dots (2)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

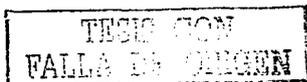
La susceptibilidad paramagnética viene dada por la ley de Curie $\chi_p = C/T$, donde C es la constante de Curie. Utilizando (1) y (2), $MT = C(B_a + \lambda M)$ y

$$\chi = \frac{M}{B_a} = \frac{C}{(T - C\lambda)} \dots\dots\dots(3)$$

La susceptibilidad tiene una singularidad a $T = C\lambda$. A esta temperatura (y por debajo) existe una imanación espontánea ya que si la χ es infinita podemos tener M finita para B_a igual a cero. De (3) encontramos la ley de Curie-Weiss

$$\chi = \frac{C}{T - T_c} ; \quad T_c = C\lambda \dots\dots\dots(4)$$

Esta expresión da buena cuenta de la variación observada de la susceptibilidad en la región paramagnética por encima del punto de Curie.²⁶



ORDEN FERRIMAGNETICO

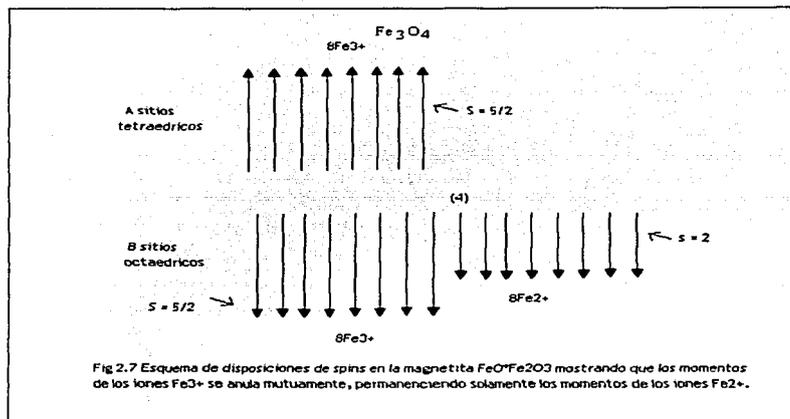
En muchos cristales ferromagnéticos la imanación de saturación a $0\text{ }^\circ\text{K}$ no corresponde a la alineación paralela de los momentos magnéticos de los iones paramagnéticos que los constituyen, incluso en cristales en los que hay plena evidencia de que los iones paramagnéticos poseen individualmente momentos magnéticos normales. El ejemplo más familiar es la magnetita Fe_3O_4 o $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Los iones férricos (Fe^{3+}) se encuentran en un estado de espín $S = 5/2$ y un momento orbital nulo. Cada ion contribuye con $5\ \mu_{\text{B}}$ al momento de saturación. Los iones ferrosos (Fe^{2+}) tiene un espín 2 y contribuyen con $4\ \mu_{\text{B}}$ aparte de toda contribución residual debida al momento orbital. Así el número efectivo de magnetones de Bohr por cada molécula de Fe_3O_4 debería ser $2 \times 5 + 4 = 14$ si todos los espines fueran paralelos. Si el valor es 4.1 la discrepancia²⁷ se explicaría si los momentos de los iones Fe^{3+} fueran antiparalelos entre ellos; el momento observado provendría entonces solamente de los iones Fe^{2+} (fig. 2.5).

Una discusión sistemática de las consecuencias de este tipo de ordenación de los espines fue dada por L. Néel con referencia especial a un tipo de óxidos magnéticos conocidos como ferritas, el término ferromagnetismo se utilizó originalmente para describir el orden de los espines ferromagnéticos de las ferritas (figura 2.5) y por extensión a la mayoría de las sustancias en las que algunos iones tienen un momento antiparalelo al de otros iones, muchos ferromagnéticos son malos conductores de la electricidad; una propiedad que se utiliza para muchas aplicaciones.

Las ferritas cúbicas tienen la estructura espinela, hay ocho sitios tetraédricos (o A) y diez y seis sitios octaédricos (o B) en el cubo unidad.

TRÁS CON
FALLA DE ORIGEN

La constante de la red es alrededor de 8°A . Una característica notable de las espinelas es que las interacciones de canje (AA, AB y BB) favorecen una alineación antiparalela de los espines presentes en la interacción. Pero la interacción AB es la más fuerte, de forma que todos los espines A son paralelos entre si y lo mismo los espines B. ²²



TRABAJA CON
FALLA DE ORIGEN

DOMINIOS FERROMAGNÉTICOS

A temperaturas netamente inferiores al punto de Curie, los momentos magnéticos electrónicos de un cuerpo ferromagnético están todos a escala atómica, prácticamente alineados. Sin embargo a la escala de la muestra, el momento magnético puede ser muy al momento de saturación y puede ser necesario aplicar un campo magnético exterior para saturar la muestra. Lo dicho es cierto tanto para cristales únicos como para muestras policristalinas.

Weiss explica este fenómeno admitiendo que las muestras reales se componen de un gran número de pequeñas regiones, llamadas dominios, en cuyo interior la imanación local está saturada. El momento magnético de la muestra sometida a la acción de un campo magnético, tienen lugar por dos diferentes procesos: (1) en campos aplicados débiles, el volumen de los dominios, que están favorablemente orientados con respecto al campo, crece a expensas de los que no están favorablemente orientados; (2) en campos aplicados intensos la imanación gira, tratando de ponerse en la dirección del campo. ²⁹

Las fronteras o regiones que separa los dominios son las paredes magnéticas. En ellas, los espines van de una orientación a la opuesta(en una pared de 180°); el giro total debe repartirse entre todos los átomos que se encuentran dentro de la zona definida por la pared.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

HISTÉRESIS

Una propiedad característica de los materiales ferromagnéticos es el llamado ciclo de histéresis, el cual se define con los siguientes parámetros:

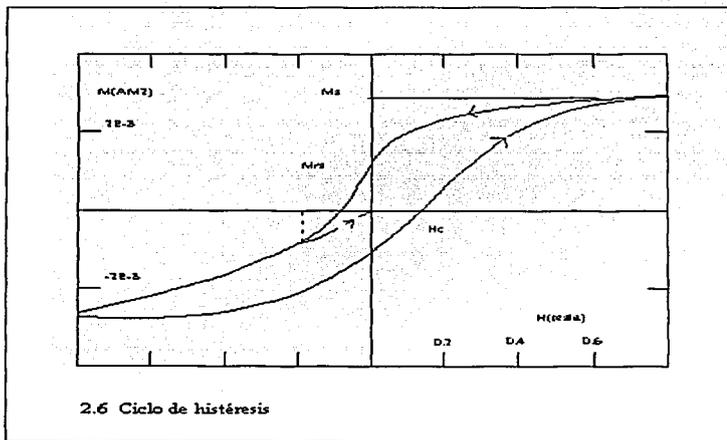
M_s = magnetización de saturación

M_{rs} = magnetización remanente de saturación

H_c = coercitividad o fuerza coercitiva

H_{cr} = coercitividad de la remanencia

El ciclo de histéresis de materiales ferromagnéticos, así como los valores numéricos de los parámetros que caracterizan el ciclo de histéresis, dependen de la micro estructura, principalmente el tamaño y la forma del conjunto de granos presentes en la muestra. Una curva características de estos materiales se presenta en la figura 2.6.



TRABAJOS CON
FALLA DE ORIGEN

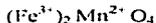
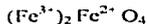
2.2 TIPOS DE FERRITAS

Existen dos clases de ferritas , la blandas y las duras. Estos términos no se refieren a su dureza física, sino a sus propiedades magnéticas.

Las ferritas blandas se pueden magnetizar de forma rápida y eficiente con un electroimán , pero pierden su magnetismo tan pronto como se interrumpe la corriente. Tales propiedades son indispensables para las cabezas de las grabación-borrado de los sistemas de cinta y audio y de video, y las cabezas de unidades de disco de computadoras.

Las ferritas duras conservan sus propiedades magnéticas, es decir, son imanes permanentes. Estos materiales se usan en motores de corriente continua, alternadores y otros dispositivos eléctricos. Las ferritas duras adoptan una estructura mas compleja que las blandas.³⁰

Así el nombre de ferrita infiere, óxidos de hierro donde el elemento común es el Fe^{3+} que puede combinarse con iones divalentes de transición, como Fe, Co, Ni, Mn , y así formar los óxidos respectivamente:



Por otro lado, de acuerdo a las estructuras cristalinas que presentan se pueden clasificar en espinelas, magnetoplumbitas y granates.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESPINELA

Esta es la cerámica magnética mas usada y mas aun como sinónimo con el término "ferrita" la estructura de espinela se deriva este nombre del mineral no magnético, espinela $MgAl_2O_4$ o $MgOAl_2O_3$ y es una estructura compleja cúbica. En la espinela magnética el ión divalente Mg^{2+} puede ser remplazado por Mn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , (Li^+) , o frecuentemente combinaciones de estos.

El Al trivalente puede ser remplazado por Fe^{3+} o este en combinación con otros iones trivalentes. La espinela magnética presenta su formula general $MO.Fe_2O_3$ o MFe_2O_4 . La celda unitaria de la estructura de la espinela consiste en ocho formulas unitarias con el ion metal coordinado por cuatro o seis iones oxigeno.³¹

Muchas combinaciones de cationes pueden formar una estructura espinela: esta es suficiente para combinar a tres cationes con un cambio de carga de ocho para el balance de la carga de los aniones. Los limites del radio del catión son aproximadamente 0.4-0.9 Å (basados sobre los radios del oxigeno, R_o , de 1.4°Å).Las siguientes combinaciones son las más conocidas⁴²

2-3 como $NiFe_2O_4$

2-4 como Co_2GeO_4

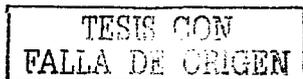
1-3-4 como $LiFeTiO_4$

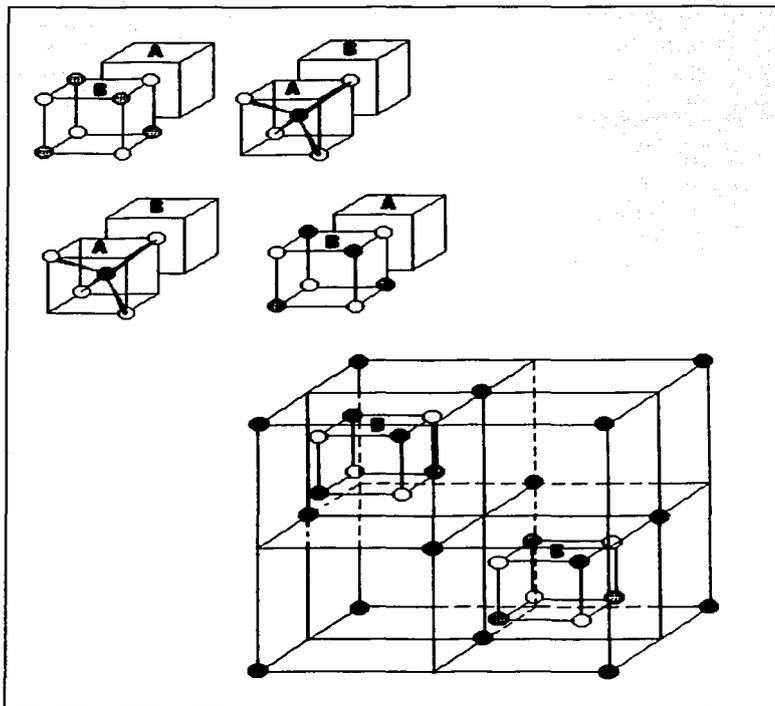
1-3 como $Li_0.5Fe_{2.5}O_4$

1-2-5 como $LiNiVO_4$

1-6 como Na_2WO_4

las más importantes espinelas desde el punto de vista magnético son las formadas por óxidos de metales de transición con cargas 2-3.



Fig 2.7 Estructura de espinela AB_2O_4

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MAGNETOPLUMBITA

La estructura de magnetoplumbita es hexagonal y tiene un mayor eje, el eje c, quien es importante magnéticamente. La fórmula es $MFe_{12}O_{19}$, o $MO \cdot 6Fe_2O_3$, donde M puede ser Ba, Sr o Pb. El Fe_2O_3 puede ser parcialmente remplazado con Al, Ga, Cr o Mn. Variaciones de la estructura magnetoplumbita envuelve combinaciones de óxidos de Ba, Sr o Pb con espinel formando óxidos para producir nuevos complejos.³³

GRANATE

Los granate de hierro son aisladores cúbicos ferromagnéticos cuya formula general es $M_3Fe_5O_{12}$, donde M es un ión de un metal trivalente y el Fe es el ión trivalente férrico. Cristales magnéticos en la estructura dodecaedro relacionado con el mineral granate. Un ejemplo es el granate de hierro ytrio, $Y_3Fe_5O_{12}$, conocido como YIG. Aquí, Y^{+3} es diamagnético.

La imanación resultante del YIG es la resultante debida a dos redes de iones Fe^{3+} imanadas en sentido opuesto. En el cero absoluto, cada ión férrico contribuye con $\pm 5 \mu_B$ a la imanación, pero en cada fórmula unidad los tres iones Fe^{3+} que ocupan los llamados sitios d están imanadas en un sentido y los dos iones Fe^{3+} en los lugares l están en sentido contrario dando un resultado de $5 \mu_B$ por unidad formula que está en buen acuerdo con las medidas de Sëller y colaboradores. El campo debido a los iones del sitio d es $B_d = -(1.5 \times 10^4)M_d$. La temperatura de curie observada, es 559°K, del YIG debida a las intersecciones a-d.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

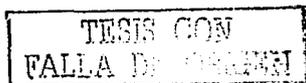
Los iones magnéticos de este granate (YIG) son los iones férricos que, por estar en un estado $L = 0$ con una distribución esférica de carga, su interacción con las deformaciones de la red y los fotones es muy débil. Los espectros de resonancia magnética (RMN) para estos granates se caracterizan por presentar bandas muy estrechas. En los granates paramagnéticos los iones trivalentes suelen ser elementos de tierras raras.³⁴

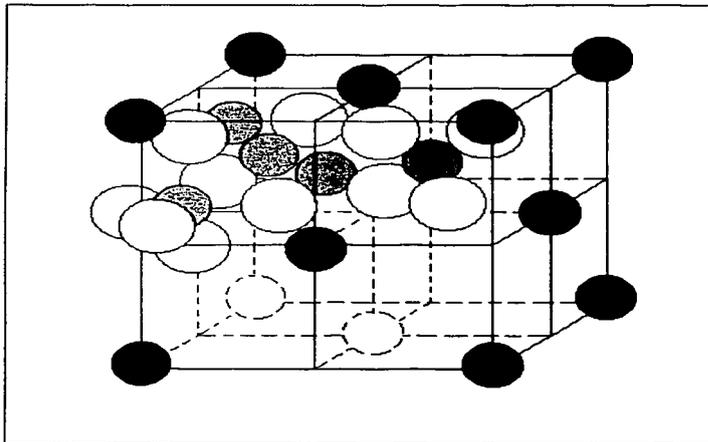
2.3 ESTRUCTURA CRISTALINA DE LAS FERRITAS

Una parte importante del comportamiento de los materiales ferromagnéticos depende de la micro estructura, de la constitución de fase y de las imperfecciones estructurales presentes.

La estructura de espínela es una estructura de empaquetamiento compacto cúbico casi perfecta, centrada en caras y el grupo espacial que lo representa es el $fd\bar{3}m$. La celda unitaria esta formada por ocho formulas unidad de AB_2O_4 , se compone de 32 iones de oxígeno que generan 64 sitios tetraédricos y 32 sitios octaédricos, de los cuales $1/8$ de sitios tetraédricos se encuentran ocupados por cationes divalentes y $1/2$ de sitios octaédricos ocupados por cationes trivalentes.³⁵

Es una estructura que consiste de cadenas alternas de tetraedros y de octaedros. (fig.2.8)





2.8 Estructura cristalina de espinela.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La estructura AB_2O_4 presenta combinaciones de cationes. La mas importante de estas son las ferro espinelas (+2,+3), en el cual Fe_2O_3 es un componente mayor. Para definir el orden de colocación de cationes sobre los sitios octaédricos y tetraédricos adoptaremos la siguiente convención:



Donde los iones sobre los sitios octaédricos se encuentran en corchetes. El ión férrico puede ocupar cualquiera de los dos sitios ya sea tetraédrico o octaédrico, dependiendo del otro catión que se encuentre presente, y este resultado es la espinela inversa:



La estructura cristalina puede ser considerada como dos subredes magnéticas: un sitio A y uno B, la interacción de super cambio magnético entre los sitios B y A coordinados octaedricamente; por consiguiente la intervención de los aniones del oxígeno, causa que estas dos subredes, presenten un acoplamiento antiferromagnético.

Dependiendo del tipo y sitios de preferencia sobre los cationes, una variedad de propiedades magnéticas son posibles. Estas inclinación de sitios, relacionados a la energía de preferencia(OSPE) son indicados en la tabla 2.1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Catión	OSPE(kcal/mol)	Sitio preferente
Al^{3+}	-18.6	Fuertemente B
Cd^{2+}	10	Fuertemente A
Co^{2+}	-7.06	B
Cr^{3+}	-37.7	Fuertemente B
Cu^{2+}	-15.2	Fuertemente B
Fe^{2+}	-4.0	B
Fe^{3+}	~ 0.0	A o B
Mg^{2+}	-1.5	B
Mn^{2+}	~ 0.0	A o B
Ni^{2+}	-2.06	B
Ti^{3+}	1 ~ 2	A
V^{3+}	-12.8	B
Zn^{2+}	4	Fuertemente A

Tabla 2.1 Energía preferente para sitios octaédricos(OSPE) para cationes en ferritas tipo espinela.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Se podría esperar que todas las espínelas adoptan la estructura inversa, pues los huecos tetraédricos son mas pequeños que los octaédricos y los cationes tripositivos son más pequeños que los dipositivos; sin embargo además de los factores de tamaño es preciso considerar los factores energéticos. La energía reticular depende del tamaño de la carga iónica. Esto explica la mayor cantidad de energía en la ubicación del ión $3+$.

La energía de red es mayor cuando el ión $3+$ esta en un sitio octaédrico rodeado de seis aniones que cuando ocupa un sitio tetraédrico y lo rodean solo cuatro aniones, no obstante; muchos iones de metales de transición prefieren adoptar la estructura de espínela inversa porque la ocupación de los orbitales d afectan las preferencias energéticas.

El empaquetamiento de los iones oxígeno consiste en capas de esferas B, ordenadas esta sobre la siguiente capa de esferas A (fig. 2.9 a) estas son el doble de sitios intersticios de B, la segunda capa resulta vacía, la tercera capa puede tener dos posiciones . Si esta es idéntica con la capa A, la capa ordenada tiene una simetría hexagonal y es llamada una estructura hexagonal empaquetamiento- abierto.³⁶

El arreglo vertical puede ser caracterizado por la secuencia ABABAB (Fig. 2.9b).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

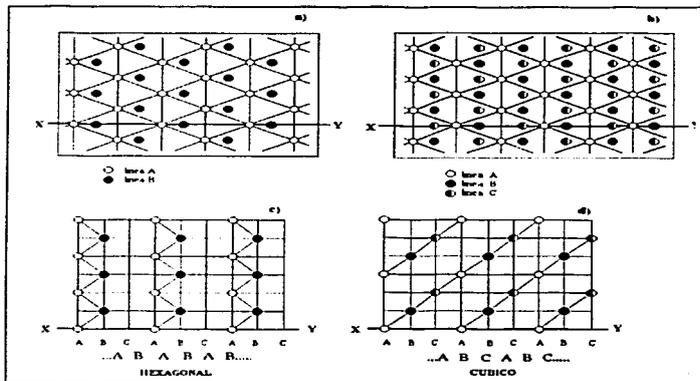


Fig. 2.9 Capa vertical de estructuras cúbicas y hexagonales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La estructura cristalina puede ser considerada como subredes magnéticas: un sitio A y un sitio B. La interacción magnética entre sitios A y B, se realiza mediante los aniones de oxígeno la cual causa las dos subredes estas son de acoplamiento antiferromagnético. Dependiendo de la preferencia de estos sitios, son posibles una gran variedad de propiedades magnéticas. Estos sitios preferenciales relacionados por la Energía Preferencial de Sitios Octaédricos (OSPE). Una OSPE negativa relativamente grande indica una preferencia fuerte a sitio B octaedro para estos cationes. Inversamente una OSPE positiva indica preferencias en sitios tetraédricos.

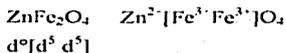
La saturación magnética de las ferritas (espinelas) es realmente expuesta sobre estas bases. Por ejemplo la ya mencionada magnetita Fe_3O_4 .

El espín electrónico entre los sitios A y B presentan orden antiferromagnético

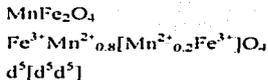


y se indica un momento magnético neto para cuatro magnetones de Bohr: este es un buen arreglo entre este valor y el valor 4.1 observado a $T = 0^\circ K$.

La ferrita de zinc, $ZnFe_2O_4$, es una espinela normal y en cada celda unitaria no tiene un momento magnético neto:



La ferrita de manganeso es 20% una espinela inversa y por consecuencia las dos redes magnéticas son ferrimagnéticas.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4 APLICACIONES

Como se mencionó anteriormente, el principal interés de las ferritas tiene su origen en las propiedades eléctricas y magnéticas, de este modo las gama de aplicaciones es amplio.

Dichas aplicaciones se dividen, de acuerdo a la clasificación de las ferritas es decir en blandas y duras.

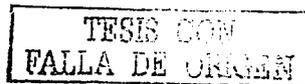
La espínela y granate (blandas) se utilizan como materiales magnéticos, con permeabilidades hasta de 40,000, y campos coercitivos del orden de 800 A/m. Si bien puede lograrse valores mucho mayores en metales ferromagnéticos, los cerámicos magnéticos tienen una enorme ventaja sobre los metales: por su naturaleza cerámica, su conductividad eléctrica es sumamente pequeña; así, cuando se utilizan bajo campos de alta frecuencia, sus pérdidas por corrientes parásitas son casi nulas. En el caso de los metales, la frecuencia del campo puede provocar pérdidas de energía tales que los haga inoperantes.

Un ejemplo de esta aplicación tenemos el llamado comercialmente Ferroxcube, utilizado principalmente como un material para núcleos de bobinas y transformadores.

Las ferritas hexagonales (duras) se utilizan como imanes permanentes. Para ello, se preparan por una tecnología especializada, que produce sólidos policristalinos con granos sumamente pequeños. El objetivo es hacer los granos tan pequeños, que no caben las paredes magnéticas dentro de cada uno de ellos.

El único mecanismo de magnetización posible en este caso es la rotación de espines; como la anisotropía (intrínseca) de las ferritas hexagonales es muy grande, se necesitan campos para lograr desviarlos de su dirección preferencial.

GENERALIDADES



Para hacer más eficiente el proceso, se provoca una orientación preferencial de los granos, de tal manera que el eje hexagonal de todos los granos coincida, logrando un efecto colectivo.

Este tipo de ferrita comercialmente llamada Ferroxdure se distingue por su elevada coercitividad y también por su alta resistividad, al grado que puede considerarse como aislador eléctrico; de estas destacan dos tipos principales.³⁸

- FDX isotrópico. Es aquel en el que no hay preorientación magnética, y consecuentemente los productos pueden ser magnetizados en cualquier dirección.
- FDX anisotrópico. Es aquel en el que sí hay preorientación magnética, dando por resultado unas características magnéticas elevadas en la dirección preferida.

El progreso constante de las ferritas (blandas) que se ha venido realizando desde que comenzó su producción en 1936, y esto se ha dado debido al progreso en química. La ferrita de Cu-Zn se produjo inicialmente como núcleo de ferrita para las antenas y para transformadores intermediarios de frecuencia. Sin embargo su producción se discontinuó en 1970 sustituyéndose por la ferrita de Ni-Cu-Zn. Esta ferrita tienen ahora aplicaciones como transformadores rotatorios, filtros de ruido y chips multicapas de ferrita.

La ferrita de Mn-Zn esta considerada como el primer producto industrial en lo referente a materiales para núcleos. La permeabilidad inicial de esta ferrita se ha ido incrementando

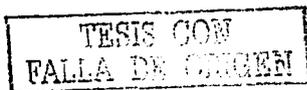
con el tiempo desde un valor de 2000 hasta 20000, y los rangos de temperaturas de Curie desde 100° a 150°C. También en lo referente a pérdida de energía se ha mejorado bastante.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El uso de la ferrita de Mn-Zn cubre un amplio rango de aplicaciones y se clasifica en tres propósitos de acuerdo a sus propiedades: banda ancha y transformadores de pulso para materiales con alta permeabilidad inicial; partes de telecomunicaciones e inductores para materiales con bajas pérdidas y aplicaciones de energía en magnetización de alta saturación, sin embargo en años recientes la aplicación mas importante es la de transformadores de interruptor.

La tendencia a reducir los componentes electrónicos comenzó en la década de los noventas. Así mismo se dieron progresos en la tecnología de montaje de superficies, se dio como resultado la incorporación de los inductores de ferritas en tableros de circuitos impresos, esto dio como resultado el desarrollo de varios tipos de chips inductores multicapas de ferritas, con una longitud de 10mm y un ancho de 0.5mm. para ser usados en receptores de televisión, equipo de video, audífonos, computadoras personales, sistemas de disco duro, teléfonos inalámbricos, etc. Estos chips de ferrita se fabrican utilizando el método de impresión de película gruesa³⁹. Los últimos inductores se han construido con una estructura monolítica que combina el inductor con otros elementos pasivos tales como capacitores y resistores.

Las ferritas de tipo hexagonal como las ferritas de Ba y las ferritas de Sr se producen ahora en el mundo entero para uso como magnetos, por otro lado se ha encontrado que la magnetización y la constante anisotropía de la ferrita de Sr son mas grandes que la de las ferritas de Ba y por lo tanto la temperatura de Curie es ligeramente mas alta por esta razón los magnetos de ferritas de Sr han sido los materiales primarios de ferritas en producción comercial desde mas o menos 1980.



La aplicación de los materiales magnetocerámicos en una forma muy general se pueden enlistar de la siguiente forma:

I. Dispositivos de imanes permanentes

Las propiedades significativas para materiales o imanes permanentes son la inducción remanente B_r , y el campo coercitivo H_c ; la dirección de este proviene de un flujo magnético en un volumen dado (B_r), y una alta resistencia a cambios muy fuertes (H_c). Estos imanes generan un campo magnético que atrae uno a otro, y repele sobre otros materiales magnéticos. Un alto flujo magnético puede ser producido por medio de un dispositivo electromagnético, con intensidades mas grandes que estas cabezas magnéticas; sin embargo, en muchas aplicaciones es más económico y conveniente el uso de imanes permanentes.

Los materiales cerámicos sobresalientes para esta aplicación son hexaferritas de Ba y Sr.

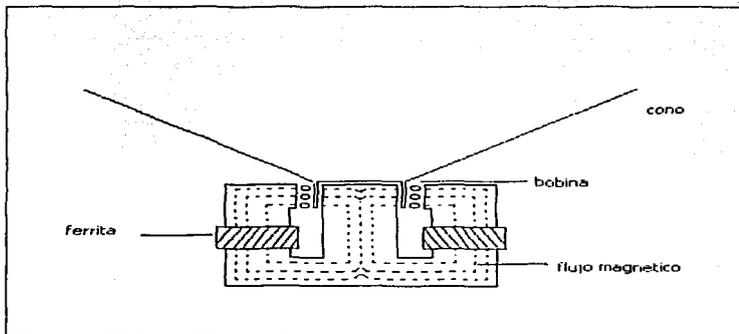


Fig. 2.10 ferrita como magneto permanente en un amplificador de voz.

TESIS CON
FALLA DE ENTREN

La mayor aplicación de ferritas hexagonales anisotrópicas es en amplificadores de voz (fig. 2.10), la ferrita es un anillo anisotrópico magnetizado axialmente⁴⁰. La señal puede ser transformada a sonido, típicamente para un amplificador la cual fluye a través de la bobina para el termino del cono, la interacción entre el flujo magnético producido por el elemento ferrita y la corriente resultante con una fuerza axial sobre el cono, este vibra de acuerdo a las señales eléctricas. El anillo de ferrita por consiguiente funciona como una fuerza elástica sobre el cono de la bobina.

Otros ejemplos de aplicación de imanes permanentes . campos magnéticos de motores eléctricos (especialmente por automóviles y dispositivos eléctricos), empaque de refrigerador, y suspensiones repulsivas para uso en flotadores de vías.

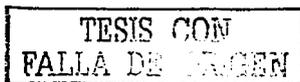
2. Núcleos para alta frecuencia suministradores de energía.

El uso es particularmente para el llamado suministrador de energía variable para microprocesadores y computadores.

Un material con un cuadro de histéresis, tiene una importante propiedad que es el estado remanente es muy poco alterado por la aplicación de campos grandes tal como $+H_m$. Si un campo aplicado es mas grande que $+H_c$, es estado remanente se invierte. Estas son las bases para la operación de los núcleos de memoria de ferrita, donde el estado $+B_r$ representa los dígitos 0 y 1 respectivamente.

Un núcleo matriz esta compuesto de miles de núcleos bajo algun arreglo⁴¹.

Composiciones para núcleos han sido sobre $(Mg,Mn,Zn)Fe_2O_4$, $(Cu,Mn)Fe_2O_4$ y $Li_{1/2}Fe_{1/2}Fe_2O_4$.



3. Transformador de potencia

Una particular aplicación de ferritas blandas como las realizadas en este trabajo tienen una importancia desde ya hace algunos años, esta es por ejemplo como suministradores de energía para computadoras y pequeños instrumentos. Una eficiente y compacta unidad de potencia puede ser obtenida utilizando la tecnología conocida como suministrador de potencia modo- conmutador(SMPS)².

Dado que estas ferritas pueden operar a altas frecuencias, baja saturación comparando con metales y también tienen muy bajas permeabilidades estos materiales como 80% de Ni-Fe.

Ejemplos de estos ; son transformadores de potencia para convertir una frecuencia simple a una frecuencia de banda angosta, como en la unidad de potencia de un generador ultrasónico, y transformadores de banda-ancha para alimentar transmisión de antenas. la línea de televisión de transformadores de potencia de salida son comercialmente hablando ejemplos muy importantes de transformadores de potencia.

4. Memoria de esfera magnética.

La memoria de esferas magnéticas, están basadas sobre la movilidad y estabilidad de los dominios magnéticos, bajo ciertas condiciones. Si en una capa fina de granate(imán) magnético anisotrópico es visto por medio de una polarización cruzada y un sistema analizador en un microscopio⁴³.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5. Cabezas reproductoras para audio y reproductores magnéticos digitales.

Las propiedades óptimas para cabezas productoras son: alta permeabilidad, alta saturación magnética, bajo campo coercitivo, baja remanencia, alta relajación de frecuencia, reproductor análogo, una respuesta lineal, química estable y alta resistencia.

Ferritas policristalinas de Ni-Zn fueron las primeras usadas para cabezas reproductoras, especialmente en audio y reproductores VTR; estas fueron reemplazadas por Mn-Zn debido a que su campo coercitivo era mas bajo.

6. Componentes para sistemas de microondas.

Las propiedades que han hecho a las ferritas tan útiles en radio y televisión han constituido también la clave para uso en frecuencias de microondas⁴⁴. Su alta resistividad permite que penetre una onda electromagnética y que de esta manera la componente del campo magnético de la onda pueda afectar el momento magnético de la ferrita.

La familia de granates ha sido el tipo de ferrita mas utilizado para esta aplicación dado que tienen las mas altas resistividades. En todas el ión Fe es mantenido en el estado Fe^{3+} no esperando corrientes eléctricas. La saturación de magnetización puede ser de una gran variedad por la sustitución de un catión en el granate básico. YIG, entre 8-140 kA/m. La temperatura de Curie es prácticamente similar a todos los granates de tierras raras; sin embargo la temperatura depende alrededor de un cuarto de temperatura puede ser sustituido por Gd^{3+} (Moulson & Herbert, 1990).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Ferrita de $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}^{3+}_{2.5}\text{O}_4$, es base para muchas otras ferritas para microondas, las propiedades de la ferrita de Li pueden ser modificada sustituyendo cationes tales como Co^{2+} y Ti^{4+} (Kuar et al 1988). El uso de ferritas de Zn-Mn y Ni-Zn es mas limitada ya que la asociaci3n de perdidas son relativamente mas alta con la conductividad el3ctrica.

7. Otras aplicaciones

La cer3mica magn3tica es usada en numerosas aplicaciones tales como absorbedores de se3ales de radar, impresi3n magn3tica, flotadores magn3ticos, Sensores: temperatura, proximidad, materiales litiados para conductividad i3nica(electrodos). Ferrofluidos: puede ser usada como una soluci3n a alta densidad para la inmersi3n y separaci3n de los s3lidos en suspensi3n, esta t3cnica de separaci3n no utiliza metales f3rricos es basada sobre el incremento de viscosidad de una suspensi3n como una funci3n del campo aplicado a un fluido magn3tico que consiste t3picamente en particulas de magnetita con un di3metro de aproximadamente 100\AA en agua, con 15-25% en peso de ferrita.⁴⁵

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

40-A

CAPITULO

3

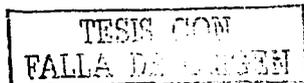
TESIS COM
FALLA DE 1988

Diversos artículos describen a las ferritas como materiales con estructura muy sensitiva: sus propiedades dependen severamente de las diferencias en los procesos de fabricación por lo tanto no es fácil producir ferritas con excelentes propiedades y alta homogeneidad, sin embargo las ferritas pueden ser obtenidas exitosamente si se obtienen condiciones optimas en el proceso de síntesis.

Diversas ferritas son preparadas en forma policristalina (método cerámico) por una reacción en estado sólido o método cerámico, donde se usan varios precursores tal como el óxido férrico, aunque también se utilizan otras sales de Hierro como la sal de Mohr o el sulfato de hierro heptahidratado que es el que se sugiere en este trabajo. En el caso del otro precursor dependiendo que sea de zinc, cobalto, manganeso, etc.

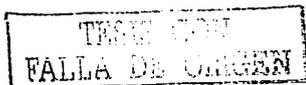
A principios de la década de los cuarentas el sentir entre los investigadores era que las sustancias magnéticas deberían ser preparadas a partir de los materiales con alto grado de pureza, de acuerdo a esto la ferrita eran sintetizadas a partir de óxidos extremadamente puros que se obtenían calcinando nitratos y oxalatos. Por 1950 Takei y Sugimoto encontraron por primera vez que pequeñas cantidades de impurezas (como arsénico, antimonio y bismuto) que venían contenidas en el hierro electrolítico mejoraban las propiedades magnéticas de las ferritas notablemente.⁴⁶

El aparato de fabricación y el proceso de sinterizado eran muy pobres y simples en el principio de la producción en masa. El horno tipo tunel fue introducido en la industria de las ferritas por 1950, actualmente se utiliza un horno que puede controlar todo el proceso de sinterizado por computadora, esto debido a que las mejoras en cuanto a permeabilidad, pérdida de energía, desacomodamientos, exactitud dimensional, etc, son altamente requeridas para los productos de ferritas con el avance de la tecnología electrónica.



Existen varios factores que hay que considerar en los diversos procedimientos de síntesis de ferritas. A continuación en forma de listado se mencionaran algunos de estos.⁴⁷

- 1) Materia prima : con respecto a las materias primas necesarias el Fe_2O_3 es la principal y sus propiedades tales como la pureza, tamaño de partícula, distribución de las partículas y la actividad química, afectan severamente las características de los productos de ferritas. Después de 1960 comienza la producción en masa del Fe_2O_3 a partir del ácido gastado de los molinos de acero, y es cuando se convierte en uno de los factores mas importantes para acelerar el desarrollo de la industria de las ferritas, el óxido férrico hecho a partir de piritas calcinadas, es barato pero menos reactivo y ha sido usado para producir ferritas con una homogeneidad extremadamente alta.
- 2) Aditivos: la adición de aditivos en pequeñas cantidades de óxidos mejora grandemente las características magnéticas, pérdida de energía y el encogimiento, por lo tanto la mayoría de los últimos productos de ferritas contienen pequeñas cantidades de aditivos.
- 3) El proceso de sinterizado afecta severamente la uniformidad de las características y dimensiones de las ferritas el proceso de sinterizado se ha desarrollado desde el control manual a control automático hasta llegar al control computarizado el control de la presión parcial de oxígeno en el proceso de sinterizado es importante, especialmente para las ferritas de manganeso y cobre es posible producir ferritas de Mn-Zn y de Cu-Mn-Mg con alta permeabilidad inicial y baja pérdida mejorando la presión parcial de oxígeno y el programa de sinterización.



3.1 PROCESO CONVENCIONAL

El proceso convencional se caracteriza por las altas temperaturas que se llegan a alcanzar y a la reacción de óxidos, partiendo de carbonatos, nitratos y oxalatos; los cuales son los precursores comúnmente usados.

Kedesdy fue uno de los primeros en investigar y desarrollar este proceso, del cual se tienen reportes de la formación de la ferrita de níquel-zinc seguida por difracción de rayos X y dimensión magnética. Gracias a este reporte se pudo deducir que la fase espínela se forma después de la reacción de óxidos a 700 °C, las trazas de ZnO, NiO, y Fe₂O₃ desaparecen como tales a 800°, 900° y 1100°C respectivamente.

Este método es muy sencillo ya que los precursores son dispersados en un fluido no-solvente, para posteriormente mezclarlos, homogenizarlos y pulverizarlos en un molino donde una vez formado el lodo se remueve el fluido y se somete al tratamiento con calor para que se pueda dar la reacción en fase sólida y así formarse la ferrita correspondiente.

3.2 MÉTODO POR SÍNTESIS HIDROTÉRMICA

Este método tiene como característica la homogenización de una mezcla de óxidos en presencia de aire a temperaturas de 1000°C.

Los óxidos son los precursores a los cuales se les agrega agua destilada por medio de un autoclave para obtener suspensiones con concentraciones de contenido seco de 60 g/L. La reacción hidrotérmica se pueden llevar a cabo en una atmósfera inerte con una presión parcial de oxígeno, la autoclave recibe un flujo de argón por varias horas, mientras el reactor recibe el flujo de argón la temperatura se incrementa a 90 °C para promover que los gases dejen la suspensión después que las válvulas cierran la temperatura se incrementa al valor del tratamiento hidrotérmico, el rango de calentamiento debe ser de 3°C/min.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las suspensiones son hidrotérmicamente tratadas a temperaturas de 220°-320°C a una presión de vapor en equilibrio, las suspensiones deben ser agitadas intensamente mientras el reactor recibe el argón así como durante el tratamiento hidrotérmico. Los productos son generalmente polvos finos con una composición de fase heterogénea. Este es un método adecuado para la síntesis de la ferrita de ZnMn.⁴⁹

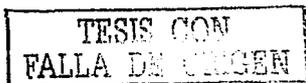
3.3 CO- PRECIPITACIÓN ELECTROLÍTICA

Este método realizado por Beer y Adams es basado sobre una producción continua de iones metálicos en solución, en este se requieren de concentraciones ajustando las corrientes que pasan por ánodos del metal en particular del que se desea la ferrita.

Con la ayuda de un electrolito que puede ser una solución de sulfato o cloruro de sodio los iones metálicos se oxidan y precipitan, estos pueden depositarse en el cátodo por el burbujeo de aire a través del electrolito. El tamaño de partícula varía dependiendo de la temperatura del electrolito y la magnitud de la corriente.

Una de las ferritas obtenidas por este método es la ferrita de Ni,Zn en el cual el Ni y el Zn utilizados como ánodos y utilizando el hierro como un tercer ánodo se colocan en una solución de sulfato de sodio a 5% a 80°C, usada como electrolito y circulando a través de un aspirador donde se fijan los óxidos, finalmente decanta, filtra y lava el producto. El contenido de sodio del producto lavado fue menor que 0.002%. En un filtrado normal se mueve bastante rápido y la filtración fue realizada usando una centrífuga continua.⁵⁰

Las temperaturas de secado del lodo filtrado va reduciendo su peso por ejemplo entre 200-400°C se pierde 17%, de 750 a 800 °C con un quemador a fuego directo al 8.6%(lo cual corresponde a tres moléculas de agua por molécula de ferrita) con este método se obtienen una alta pureza utilizando ánodos de metales tratados por diversas técnicas de pureza.



3.4 REACCIÓN FLAMA

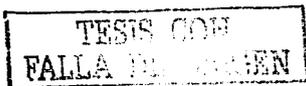
Esta técnica fue desarrollada por Wenckus, subsecuentemente usada por Malinofsky y Walters para la preparación de granos finos de ferritas de Ni-Zn con baja porosidad. Dicho método se basa en una solución que contiene una mezcla proporcional de nitratos en metanol o etanol, la cual es atomizada por medio gas flamable llamado oxi-carbón y el resultado final son polvos de ferrita.

Dado que se obtienen tamaños de partículas no deseadas del producto, se han propuesto métodos para la separación de estas mediante la utilización de un ciclón separador y un precipitador electrostático por el cual se obtiene un número de tamaño de partícula pequeño alrededor de $0.02 \mu\text{m}$.⁵¹

3.5 PROCESO DE VAPORIZACION

En este proceso se enfatiza la importancia de la pureza y reacción de óxidos y Guillaud fundamenta esto cuidadosamente calcinando oxalatos adquiriendo materia prima excelente para preparar alta calidad de ferritas de manganeso-zinc. En 1953 Buckley (teléfonos estándares y cables) desarrolla un proceso partiendo de polvos de hierro carbonilo y óxidos de níquel y zinc, el cual ha sido muy usado para la producción de ferritas de níquel y zinc de alta calidad. Manganeso electrolítico es usado en el equivalente de ferritas manganeso-zinc.

Este proceso comprende la combinación de metales y óxidos en una mezclador, calentando por 6-10 hr en vapor a 500° - 650°C en una charola de acero tal que al menos 98% de el hierro se convierte en magnetita, frotando de paso en un tamiz de malla-10. y en molino de bolas por 38-48 hr en una acería como una pasta acuosa.



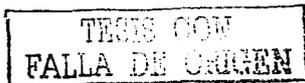
Esta es seguido por un filtrado, reduciendo el agua contenida por debajo de 20% , y secando a lo largo de una mezcla de pasta. La temperatura es aproximadamente a 275°C para convertir mas de el Fe_3O_4 a Fe_2O_3 , el resultado de la mezcla de oxidos es muy simple o por secado y pulverizado y presionando, pero las formas complejas requiere calcinación a 925°C seguido por una molienda.⁵²

La impureza principal es níquel,; otras impurezas ocurren en solo a nivel de trazas en espectrografia, la contaminación en el proceso es el hierro.

3.5 CO-PRECIPITACIÓN QUÍMICA.

Este método se lleva a cabo en mezcla homogénea de sales insolubles de un metal divalente particularmente del que se desea la ferrita; esto es mediante una precipitación simultanea de la mezcla de soluciones de iones, del cual el ión precipitado puede ser un oxalato, formato o acetato. Sin embargo, el oxalato es comúnmente usado debido a su baja solubilidad.

Mediante este método se obtienen partículas muy finas (0.03-0.2 μm). La absorción y oclusión de impurezas pueden ser minimizadas por precipitación bajo condiciones dadas de tamaño de partícula y ser reducidas por una adecuada técnica de lavado. Por otra parte una alta pureza de las ferritas, es característico de este método.⁵³

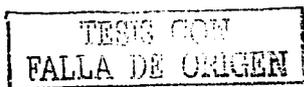


3.7 SÍNTESIS POR METODO PECHINI.

En este método se pueden usar los mismos precursores con con una variación en el procedimiento; se mezclan ácido cítrico y etilenglicol en solución acuosa y se agitan a 100°C hasta que la mezcla se vuelva transparente, al mismo tiempo se prepara una solución acuosa con sales y se añade a la solución de ácido cítrico-etilenglicol a la temperatura de 100°C. La solución así obtenida se sigue calentando hasta los 140°C para así promover la esterificación entre el ácido cítrico y el etilenglicol cuando se remueve el solvente la mezcla se concentra y se vuelve altamente viscosa y es cuando ocurre la gelatinización polimérica. El polímero viscosa se trata con calor 350°C aproximadamente, de aquí se obtiene un polvo negro(sistema precursor), que se calcina en aire a 450 °C por 1 hora de aquí se puede detectar un polvo en fase cristalina de color variable dependiendo la ferrita.⁵⁴

3.8 PROCESO PROPUESTO METODO SOL-GEL (Y POSTERIOR CALCINACIÓN)

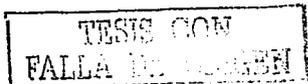
Para poder explicar el método propuesto comenzaremos por definir un sol, es una dispersión de partículas sólidas en una fase líquida, con las partículas siendo suficientemente pequeñas como para estar infinitamente en suspensión bajo movimiento browniano. Suelen ser menores de 1 μm . Gel es un sólido conteniendo líquido y una estructura interna tal que sólido y líquido se mantienen en un estado de alta dispersión. La relación superficie/ volumen es alta. La energía de Gibbs de los átomos en la superficie de las partículas es mayor que aquella de los átomos en el interior de los mismos, haciendo el sol termodinámicamente inestable con tendencia a flocular o coagular. Para evitarlo y estabilizar el sol, se desarrollan barreras de energía por cargas superficiales en medio acuoso o alcoxidos metálicos en bases de alcohol.



Los productos que se forman tienen granulometría fina controlada, crecimiento de fases controlado, gran área superficial, alta pureza química, máximas propiedades mecánicas.

Todavía no se ha expuesto una teoría completamente satisfactoria de la tixotropía. En muchos sistemas tixotrópicos, las partículas son anisométricas; esto es: tienen dimensiones muy diferentes en distintas direcciones; son elipsoides alargados, placas o discos. Por consiguiente, para formar un gel las partículas tendrían que disponerse de una manera más o menos ordenada. Al agitarlas o someterlas a tensiones internas, las partículas se desordenan y el gel se convierte en sol; al desaparecer la tensión, la reorientación gradual de las partículas las produce la lenta gelación. No es seguro que puedan explicarse de esta manera todos los sistemas tixotrópicos, pero la teoría expuesta es probablemente aplicable a los que muestran reopexia. Haciendo rodar o golpeando el recipiente que contiene el sol, se facilita la orientación de las partículas y la formación del gel.⁵⁵

Es necesaria una concentración más o menos definida del electrolito para que ciertos sistemas muestren un comportamiento tixotrópico. Los mismos electrolitos producirán una floculación irreversible si están en grandes cantidades, mientras que los soles permanecen relativamente estables si la concentración del electrolito es pequeña. De lo que se ha dicho antes se sigue que con una concentración creciente de electrolito las fuerzas repulsivas entre las partículas coloidales cargadas solo actúan a distancias cada vez menores, si bien las fuerzas de atracción (Van Der Waals) permanecen inafectadas. Cuando la concentración iónica es pequeña, las fuerzas repulsivas tienen valor considerable a grandes distancias; por consiguiente, el sol permanece estable. A concentraciones relativamente altas del electrolito, las partículas pueden acercarse más antes de que se produzca una repulsión importante; pero para entonces las fuerzas de atracción son tan grandes que las partículas se aglomeran y se precipitan.



En algún punto entre esos extremos existirá una región estrecha de concentración iónica en que las fuerzas de repulsión y atracción se equilibran aproximadamente y producen el comportamiento tixotrópico. En ausencia de la tensión interna, las partículas pueden acercarse lo suficiente para que las fuerzas atractivas permitan que se forme una estructura de gel, pero las fuerzas repulsivas impiden la formación de un precipitado. Si se aplica una tensión mecánica de cualquier clase, se perturba el equilibrio y se dispersa el gel, pero vuelve a formarse cuando desaparece la tensión y restablece el equilibrio entre las fuerzas de atracción y de repulsión.⁵⁶

La síntesis de las ferritas se realizó a nivel laboratorio llevando a cabo las siguientes etapas:

- 1) disolución y mezcla de sulfatos y cloruros
- 2) síntesis hidrotermica
- 3) gelación
- 4) lavado
- 5) secado y calcinado a 600°C
- 6) obtención de polvos



49-A

CAPITULO 4

TESIS CON
FALLA DE CARGEN

4.1 SINTESIS DE FERRITAS DE Zn Y Mn

EQUIPO:

Balanza analítica

Horno eléctrico (mufla)

Parrilla eléctrica

Difractometro de rayos X

Microscopio electrónico de barrido

MATERIAL

Mortero de ágata

Espátula

crisoles

vasos de precipitado

cristalizador

agitadores

papel pH

REACTIVOS

Sulfato férrico heptahidratado

Cloruro de manganeso

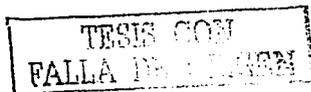
Acetato de manganeso

Ácido oxálico

Cloruro de Zn

Cloruro férrico

Hidróxido de amonio



Para la síntesis de estas ferritas se tomó como modelo a seguir el método de sol-gel.

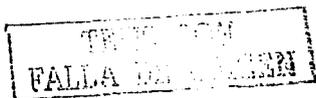
Se utilizaron precursores tales como sulfatos, acetatos y cloruros, ajustando el pH de la solución con hidróxido de amonio a un valor 8.5+-0.5 al cual se formó el gel.

Para la síntesis de la ferrita de Zinc, se partió de una solución acuosa, utilizando reactivos analíticos de FeSO_4 y ZnCl_2 .

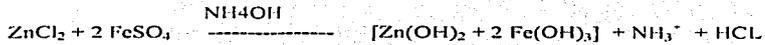
Precursores 1M de ZnCl_2 -----30ml
2M de FeSO_4 -----30ml
0.7M de NH_4OH

En un vaso de precipitado con agitación constante a una temperatura de 25 °C, se agregaron las soluciones de MnCl_2 y FeSO_4 transcurridos 30 minutos, se agregó poco a poco la solución de NH_4OH hasta obtener la formación máxima de gel que se forma a un pH de 8.5 +- 0.55. Se agito vigorosamente y se dejo sedimentar durante siete días después de transcurrido el tiempo, el producto se lavó con abundante agua destilada para retirar el exceso de azufre que pudiera estar presente, y se dejo sedimentar nuevamente; el producto obtenido se seco en un cristizador sin rebasar los 80°C.

El producto obtenido se calcinó a una temperatura de 600 °C durante 4 hrs.



Las reacciones propuestas para síntesis de la ferrita de zinc son:



Para la ferrita de manganeso



Para los diferentes reactivos

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

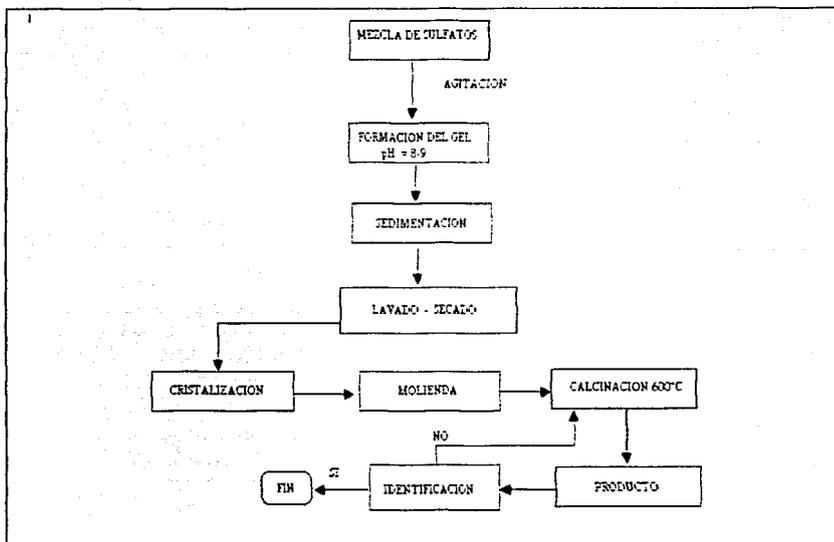


Fig. 4.1 Diagrama de flujo de proceso de síntesis de ferritas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2 OBTENCION DE DIFRACTOGRAMAS

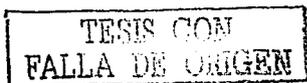
Al término de la calcinación , se realiza la molienda esta realizada en un mortero de ágata, obteniéndose partículas muy finas que nos ayuden a su identificación por medio de la difracción de rayos X.

Se obtuvieron los difractogramas de cada producto obtenido, para poder identificar las estructuras cristalinas, para lo cual se utilizó un difractor metro modelo D 5000 marca SIEMENS, el difractograma se obtuvo una $K\alpha$ Cu cuya $\lambda = 1.5446\text{\AA}$ a condiciones de operación de 30KV y 20 mA.

La figura 4.2 muestra el difractograma del compuesto $\text{Fe}_{0.34} \text{Mn}_{1.96} \text{O}_3$ partiendo de sulfatos.

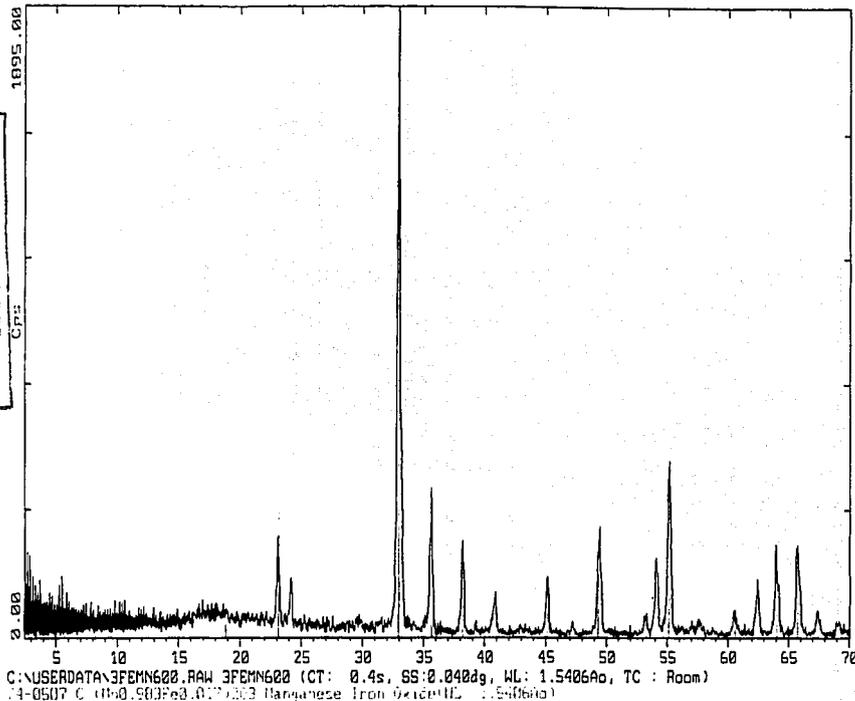
La figura 4.3 muestra el difractograma del compuesto $\text{Fe}_{0.34} \text{Mn}_{1.96} \text{O}_3$ partiendo de cloruros.

la figura 4.4 muestra el difractograma de ZnFe_2O_4 .



2-Theta - Scale

UNAM CAMPO 1. 26-Dec-2001 05:01

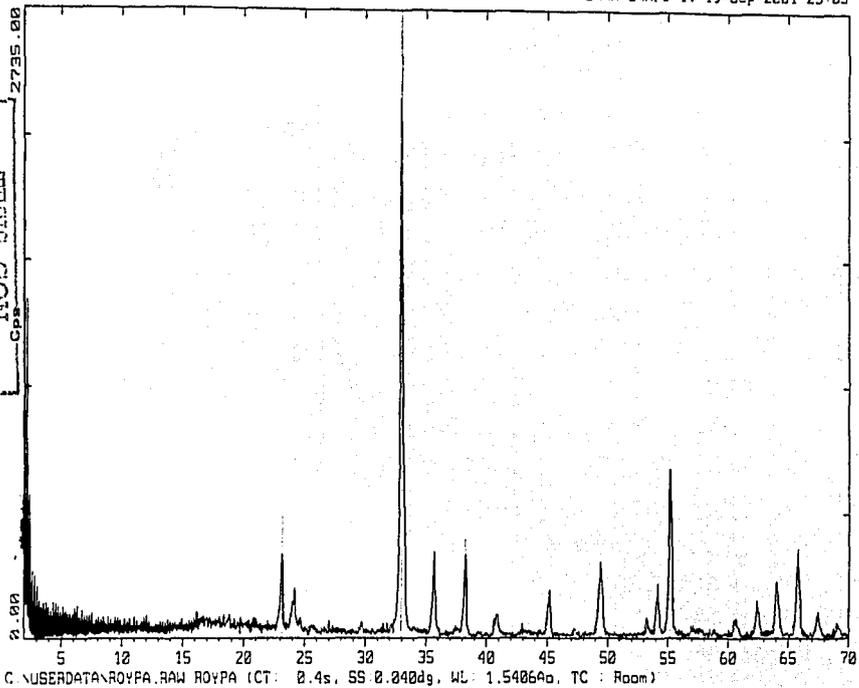


La figura 4.2 muestra el difractograma del compuesto $Fe_{0.94}Mn_{1.06}O_3$ partiendo de sulfatos

FALLA DE IMPRESION
 TESIS COM
 2001

UNAM CAMPO 1. 19-Sep-2021 23:03

Z-Theta - Scale

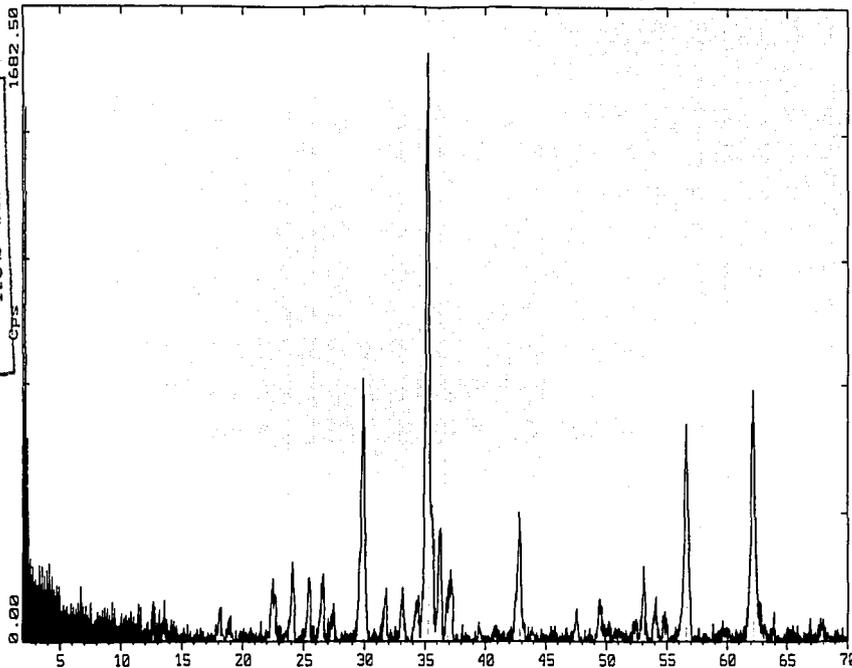


La figura 4.3 muestra el difractograma del compuesto $Fe_{0.4}Mn_{0.6}O$ partiendo de cloruros

2-Theta - Scale

UNAM CAMPO 1. 06-Oct-2001 13:33

PARTE EXPERIMENTAL



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

C:\USERDATA\ZNROVPA_RAW\ZNROVPA (CT: 0.4s, SS:0.040dg, WL: 1.5406Ao, TC : Room)
201012100Fe2O4 (Patt: JCPDS 01-070-0704)

CAPITULO 4

La figura 4.4 muestra el difractograma de $ZnFe_2O_4$.

4.3 DETERMINACION DE MICROGRAFIAS Y DEL TAMAÑO DE CRISTAL

Se obtuvieron micrografías utilizando un microscopio electrónico de barrido marca JEOL, para determinar la morfología de las ferritas. En las figuras 4.5 y 4.6 muestran las micrografías de la ferrita de Zinc y la del óxido de Manganeso respectivamente.

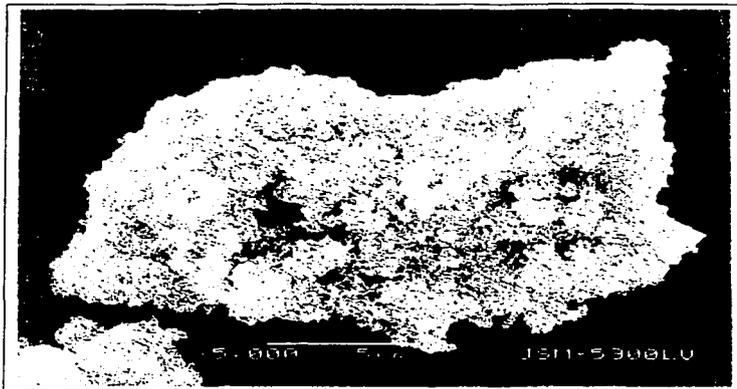
4.5 Micrografía de $ZnFe_2O_4$ obtenida a 600°C



Fig. 4.6 Micrografia del oxido de hierro y manganeso.

TESTACION
FALLA DE ORIGEN

4.4 MICROANÁLISIS QUÍMICO POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.

El microanálisis químico , se realizó en un SEM la cual se basa en una sonda electrónica que produce fluorescencia de rayos X, los resultados se presentan a continuación con su gráfica respectivamente.

SEMQUANT RESULTS

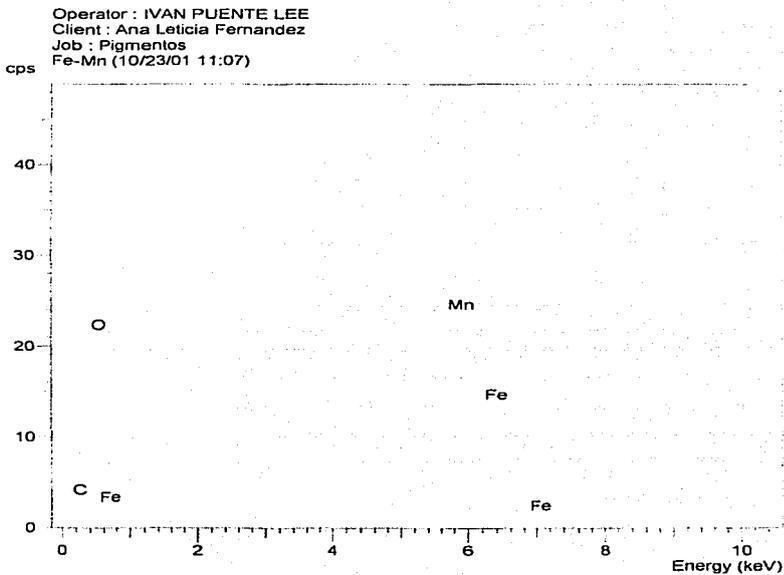
Spectrum label : Fe-Mn

System resolution = 62 eV

Standards:	
O K	Quartz 01/12/93
Mn K	Mn 01/12/93
Fe K	Fe 01/ 12/ 93

Elemento	% de Elemento	% Atómico
O K	26.17	55.05
Mn K	46.54	28.51
Fe K	27.29	16.45
TOTAL	100.00	100.00

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Microanálisis químico de $(\text{Mn}_{0.017}\text{Fe}_{0.983})_2\text{O}_3$.

TESIS CON
FALLA DE CALIBRACION

SEMQUANT RESULTS

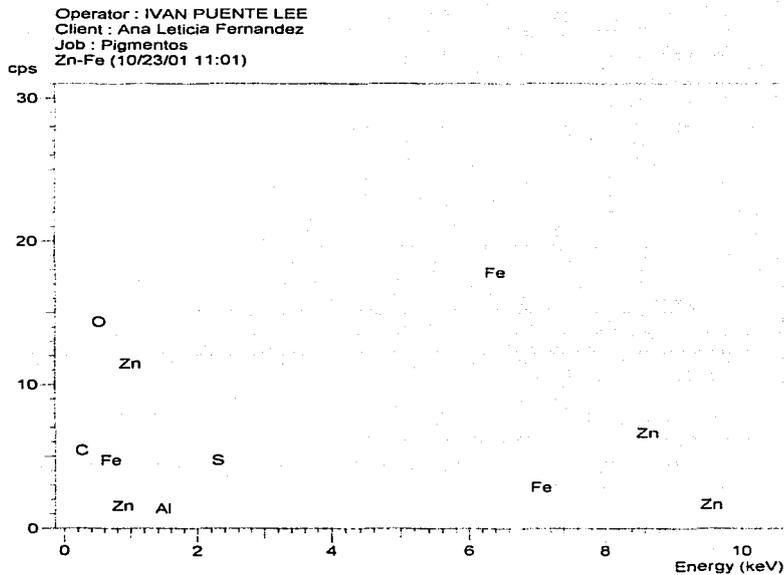
Spectrum label : Zn- Fe

System resolution = 61 eV

Standards:	
O K	Quartz 01/12/93
Al K	Al ₂ O ₃ 23/11/93
Fe K	Fe 01/12/93
S K	FeS ₂ 01/12/93
Zn K	Zn 01/12/93

Elemento	% de elemento	% atómico
O K	23.75	53.07
Al K	0.44	0.58
Fe K	36.93	16.45
Zn K	36.32	19.86
S K	2.56	2.86
TOTAL	100.00	100.00

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Microanálisis de la ferrita de zinc

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.5 MEDICIONES DE MAGNETIZACIÓN EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

El método usado experimentalmente para medir la susceptibilidad magnética es el método de Gouy el cual se basa en la determinación de una fuerza ejercida sobre una muestra por un campo magnético e implica el medir el peso de una sustancia en presencia y ausencia de un campo magnético, la diferencia de entre los dos pesos es igual a f , el experimento se desarrolla midiendo la fuerza ejercida sobre una muestra estándar de susceptibilidad magnética conocida, si el mismo campo se aplica sobre la muestra estándar y sobre la muestra a determinar; es decir

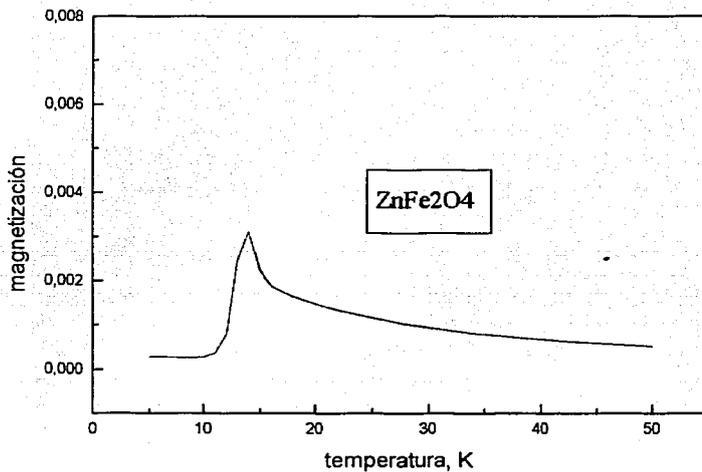
$$\chi_u = f_u m_s \chi_s / f_s m_s$$

donde los subíndices "s" corresponden al estándar y los "u" a la muestra.

Estas mediciones se obtuvieron en un equipo criogénico marca Jains que utiliza helio líquido, las mediciones se llevaron a cabo en un intervalo de temperatura comprendido entre 20-300°K dentro del campo de 20 gauss.

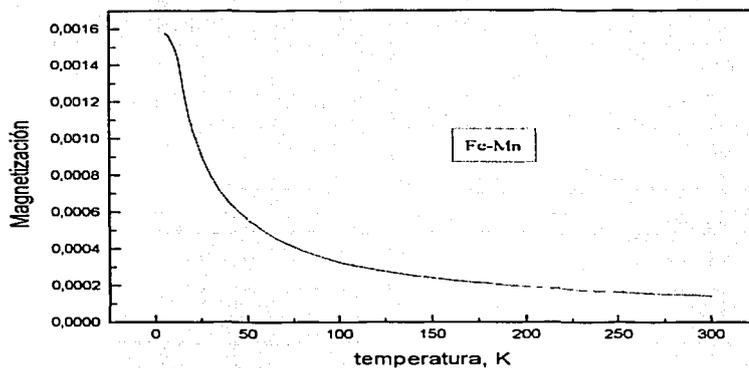
los resultados obtenidos se presentan en las graficas 4.5.1 para la ferrita de zinc y 4.5.1 para el óxido de manganeso obtenido.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



4.5.1 Resultados gráficos de magnetización vs temperatura de la ferrita de zinc

TEMA 4
FALLA DE ORIGEN



4.5.2 Resultados gráficos de magnetización vs temperatura del óxido de Fe y Mn obtenido.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

66-A

CAPITULO 5

TESIS CON
FALLA DE SCREEN

5.1 De síntesis

En la síntesis de la ferrita de zinc a partir de precursores de FeSO_4 y ZnCl_2 se obtuvo un gel a un $\text{pH} = 8.0 \pm 0.5$ el cual se lavó tres veces con agua destilada para eliminar iones cloruro y sulfato, mostró ser la más efectiva ya que se formó a una temperatura de calcinación de 600°C .

La ferrita de zinc, ZnFe_2O_4 en el difractograma se observa fase única, se identificó en el Power File Difraction, a la cual le corresponde un parámetro de red, $a_0 = 8.4 \text{ \AA}$.

Sin embargo el microanálisis químico revela impurezas de azufre cuantificadas en un 2.56%, esto se debe a que faltó lavar el gel y a la temperatura baja de calcinación a 600°C .

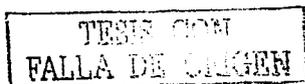
No así en el caso de la ferrita de manganeso, en la cual se formó un óxido de hierro y manganeso con estequiometría diferente a la ferrita, el $\text{Fe}_{0.034} \text{Mn}_{1.96} \text{O}_3$

Se intentaron 4 síntesis con diferentes precursores y en todos los casos se obtuvo el mismo tipo de óxido.

5.2 De estructura cristalina

En una espinela normal, es la única ferrita con distribución normal de cationes, esto debido a la alta preferencia del Zn^{2+} a formar coordinación tetraédrica. Zn^{2+} prefiere ubicarse sitios tetraédricos porque su configuración electrónica es favorable para formar cuatro enlaces con cuatro iones O^{2-} . la cual presenta una estructura cúbica centrada en caras, estructura de empaquetamiento compacto, y el grupo espacial que la representa es el $\text{Fd}3\text{m}$, conocida la estructura como espinela, con parámetro de red de 8.4411 \AA

En las espinelas normales el parámetro de inversión, x , es cero, mientras que en las inversas es uno, sin embargo algunas espinelas presentan valores intermedios que se atribuyen a las energías preferenciales de cationes de transición para cada sistema.



A pesar de que existe un número considerable de investigaciones sobre el fenómeno de campo cristalino en espinelas, no queda claro el comportamiento cuando dos de los constituyentes de la espinela son metales de transición, y uno de ellos presenta una alta energía de estabilización de campo cristalino (E.E.C.C.) la cual es la fracción de energía de desdoblamiento de campo cristalino en coordinación octaédrica, este ión competirá para ocupar sitios B, no importa que la energía electrostática aumente.⁵⁸

En óxidos con estructura de espinela, se puede mostrar que los iones oxígeno son ligandos de campo débil por mostrar energías de desdoblamiento de campo cristalino octaédrico muy pequeñas.

Casi todos los metales de transición obedecen la regla de Hund y adoptan configuraciones de alto espín, sin embargo Mn^{2+} , Fe^{3+} , y Zn^{2+} en su configuración de alto espín no exhiben energía de estabilización de campo cristalino y entonces no tienen preferencia para sitios B.

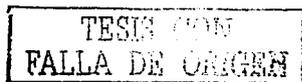
El Cr^{3+} y Ni^{2+} (ambos muestran E.E.C.C. = $6/5 \Delta_{oct}$)

En $(Fe^{2+})[Cr^{3+}]O_4$ Fe^{2+} posee E.E.C.C. = $2/5 \Delta_{oct}$, y Fe^{2+} es relegado a sitios A (tetraédrico) generando una espinela normal.

En cambio en magnetita Fe_3O_4 Fe^{2+} adopta sitio B: $(Fe^{3+})[Fe^{2+}, Fe^{3+}]O_4$ generando una espinela inversa.⁵⁹

La ferrita de manganeso es una espinela inversa, en la cual la mitad de Fe^{3+} está en sitios tetraédricos y el resto junto con Mn^{2+} está en sitios octaédricos.

En ferritas, las mediciones de difracción de rayos X son inconclusas debido a la gran similitud que existe en factores de dispersión entre el metal divalente y el trivalente, la técnica de difracción de neutrones ofrece ventajas cuando no hay suficiente diferencia entre los números atómicos entre los cationes presentes en espinelas.



El Fe^{3+} cuya configuración es $3d^5$ y su estado de ion libre es $6S$ presenta transiciones prohibidas de espín y por lo tanto son muy débiles, tanto en coordinación tetraédrica como en octaédrica, en la región visible, sin embargo presenta una banda muy intensa de transiciones permitidas de espín en la región ultravioleta, a esta banda se deben los colores oscuros y negros en ferritas.

5.3 De propiedades magnéticas

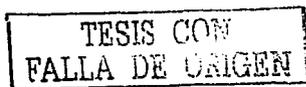
Las ferritas se caracterizan por mostrar un comportamiento ferrimagnético es decir son magnetizadas espontáneamente a temperaturas inferiores a la de Curie y son paramagnéticas a temperaturas superiores a la Curie. Se forman dominios y las curvas de histéresis ocurren en fases ferrimagnéticas.

El ferrimagnetismo en ferritas se explica en términos de distribución de cationes, a excepción de la ZnFe_2O_4 que es de tipo normal, las demás son inversas, es decir los 8 sitios tetraédricos están ocupados por 8Fe^{3+} y los 16 sitios octaédricos están ocupados por 8Fe^{3+} y 8Mn^{2+} en sitios octaédricos.

Sin embargo quedan los momentos de espín de los 8Mn^{2+} en sitios octaédricos que no están compensados, son estos momentos los que originan el ferrimagnetismo en las ferritas.

A bajas temperaturas los iones de sitios tetraédricos tienen espines alineados a lo largo de una de las aristas del cubo, y en sitios octaédricos tienen espines alineados en direcciones opuestas.

Los iones con espines que tienden a alinearse uno con otro están en la misma subred, las dos subredes están enlazadas así que los vecinos magnéticos cercanos a un ion en una subred pertenecen también a la otra subred.



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE LA BIENESTAR

Para que exista ferrimagnetismo, el intercambio de energía para dos vecinos magnéticos cercanos debe ser negativa, la energía es mínima cuando espines sobre diferentes subredes son antiparalelos.

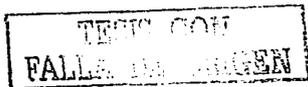
La magnetización en un ferrimagneto se entiende mejor suponiendo espines de la subred A están predominantemente orientados en la dirección positiva de z y los espines de la subred B están orientados en la dirección negativa de z, como MA y MB representan componentes z de la magnetización de subredes individuales.

Todas las ferritas presentan estructura inversa y por lo tanto son ferrimagnéticas a excepción de las ferritas de Zinc que presenta estructura de espinela normal y por lo tanto comportamiento ferromagnético debido a la alta preferencia por el ion Zn^{2+} de coordinarse tetraedricamente además de presentar configuración electrónica $3d^{10}$

La gráfica de magnetización en función de la temperatura para $ZnFe_2O_4$ la cual es una espinela normal, en donde el Zn^{2+} presenta configuración $3d^{10}$ con los orbitales d totalmente llenos muestra un comportamiento antiferromagnético a bajas temperaturas $T_N = 14$ °K, después de está muestra un comportamiento ferrimagnético debido a que presenta vacantes en su estructura. Al analizar la segunda gráfica observamos que esta presenta un comportamiento ferrimagnético, este se puede explicar debido a el comportamiento no es estequiométrico, en donde los sitios tetraedricos y octaedricos no están totalmente llenos, lo que nos lleva a decir que el producto obtenido es una ferrita de manganeso con deficiencia del elemento hierro y manganeso.

5.4 De microestructura

Las micrografías muestran en la ferrita de zinc un aglomerado intenso, con tamaños de partícula de 0.8 μm .



CAPITULO 6

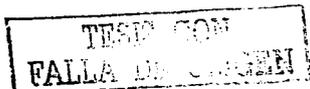
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados; podemos decir que las ferritas se perfilan como un material importante para la industria. En este trabajo la ferrita obtenida experimentalmente por el método propuesto de sol-gel y posterior calcinación, resultado ser apropiado bajo las condiciones manejadas(condiciones de laboratorio),ya que esta se identifico en fase única de $ZnFe_2O_4$ del banco de datos del microanálisis químico realizado por fluorescencia de rayos X (Powder File Diffraction). Dicho procedimiento es práctico y económico comparado con la diversidad y complejidad de procesos existentes para la producción de la ferrita de zinc.

No así con la ferrita de Manganeso ya que para la síntesis de esta se necesitan otras condiciones debido a las características del manganeso, ya que a diferencia de la ferrita de zinc, la ferrita de manganeso es 20 % de espinela inversa, es decir que los huecos tetraédricos son mas pequeños que los octaédricos y los cationes tripositivos son mas pequeños que los dipositivos , además de considerar los factores energéticos. Para todo esto las condiciones de producción se hacen complicadas y por consiguiente se deben mantener otros parámetros; tales como una atmósfera inerte y altas temperaturas , para niveles de laboratorio el controlar estos y otros parámetros para poder obtener el producto resulta ser complejo.

Con todo lo expuesto en este trabajo se ha intentado presentar una muy general panorámica de la cerámica magnética, sin penetrar a la muy amplia y compleja gama de especialidades de las ferritas. En México, la industria cerámica, con una fuerte inversión de capital, opera en la producción de materias primas, en algunas áreas se exportan productos y en otras se importan.



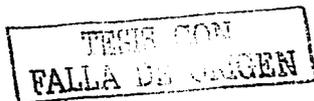
La investigación y desarrollo asociados van de escaso a prácticamente inexistentes. Por ello el interés de presentar la cerámica magnética como una material importante para nuestra industria.

A pesar de ello no cabe duda que el futuro las ferritas experimentarán un avance constante en ciencia y tecnología, creciendo así mas su producción en el futuro.

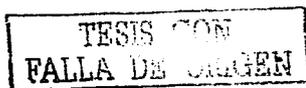
TRABAJE CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

1. E. Morales, Microwave ferritas, Chaman & Hall . Londres 1963
2. Owens "A Survey of proprieties and applications of ferrites microwave frequencies" proc. IRE, 44, 1234-48 (1956)
3. I. Wijin "Some Ramarkers on the history of ferrite research in wrote. XIX-XXiii in proceeding of the ICF(Japan, july 1970). Edited by Y. Hoshino, S. Iida and M Sugimoto Japan 1971.
4. Hilpert , "Correspondence as to structure and Origin in magnetic Proprieties ferrite and Iron Oxido" (in Ger.).Ber. Dtsh.Chem.Ges.,42,2248-61.
5. Hilpert and A. Wille, " Connection between Ferromagnetism and ferrites" (in Ger.) Z. Phys. Chem.,B18,291-315(1932)
6. Murayama, M. Kumagain, and Y. Ikeda, " High- Strength Ni-Cu-Zn ferrite for Surface Mount Devices" ;pp. 366-69 in Proceedings of 6th ICF(Tokyo,Japan. Sep.-Oct. 1992)Edited by T. Yamaguchi and M. Abe. Japan Society for Powder Metallurgy, Kyoto, Japan. 1992.
7. Mitsuo Sugimoto. The past, presebt and future of ferrites. J. Am.Ceram. Soc. 82(2)-80 (1999).
8. H. Forestier and G. Guiot-Guillan "New series Ferromagnetic substance: Ferrites of rare Earths(in Fr.) Comp. Red.,230, 1844-45(1950)
9. F.J.Bertaut and F. Forrat, "Structure of Ferrimagnetic rare- earths Ferites with two ferromagnetic" (in Fr.) Compt. Red., 242,382-84(1956)
10. J.L. Snoek "Magnetic and Electrical Properties of the binary Systems $MO^*Fe_2O_3$. "Physica(Holland),3, 463-83(1947)
11. J.L. Went. G: W. Gorter, and G.Ratenau, E. W. Gorter, and G. W. van Oosterhout. "Ferroxidure. A Class of New Permanent Magnet Materials." Philips Tech. Rev.,13,194-208 (1951)



12. G. H. Jonker, H.P.J. Wijn , and P.B. Braum, "Ferroxplana, Hexagonal Ferromagnetic Iron-Oxide Compounds for very High Frequency." Philips Tech. Rev., 18, 145-57(1957)
13. C. L. Hogan, "The Ferromagnetic Faraday Effect at Microwave Frequency and its applications- The Microwave Gyrtator," Bell Syst. Tech. J., 31, 1-31(1952)
14. E. Albers-Schoenberg. " Ferritas for Microwave Circuit and Digital Computer." J. Appl. Phys., 25, 152-54 (1954).
15. A. H. Bobeck, "Properties and Device Applications of Magnetic Domain in Orthoferrites." Bell Syst. Tech. J., 46, 1901-25(1967).
16. J. F. Dillion Jr., E. M. Gyorgy, and J. P. Remeika , "Photoinduced Magnetic Anisotropy and Optical Dichroism in Silicon-Doped Ytrium Iron Garnet." Phys. Rev. Lett., 22, 643-45 (1969).
17. Cira Piña Perez . Química Inorgánica Cerámica -I. Cuadernos de posgrado UNAM Mex. 1995 p. 61-70.
18. Siekatus K.E., Willis J.M. " structure of spinel" Journal of American Ceramic Society, 82(12) 3279-92(1999).
19. Goldamn. Modern Ferrite Technology. Van Nostrad R. (1990)
20. Guy. Fundamentos de ciencia de materiales Ed. Price may pp272-278.
21. Anthony West. Wiley Solid State Chemistry 1990.
22. Bozorth. R. M., "Ferromagnetism", p. 253-2291, de Recent Advances in Science. New York University 1956.
23. Robert M. Rose Lawrence A. Shepand Propiedades electrónicas, ciencia de los materiales 204-206
24. Bozorth R.M. " The physics of Magnetic Materials" pp. 202 The science of engineering materials" Ed. J. E Godman 1957.
25. Charles Kittel Introducción a la física del estado sólido, Editorial . Reverté 1976, cap 16.
26. Mendel Sachs Solids Theory. Mc. Graw Hill N.Y. 1963. sec 5.2 p. 131.



27. Nécl Ann. Phys. 3.137(1948)
28. J. Smith and H.P.J. Wijn Ferrites Wiley 1959
29. P. I. Slick, In Ferromagnetic Materials. Vol. 2 E. P. Wohlfarth, ed. North-Holland N. Y. 1980p. 189.
30. Química inorgánica Cap. 19 p. 480-1
31. Sickatus K. E., Hughes R. "Spinel Compounds: structure and property relations Journal of American Ceramic Society. 82(12)3277-3278 (1999)
32. A. J. Moulson and J. M. Herbert Electroceramics Materials, Properties and application. Ed. Chapman 1995.
33. Ref. 32 p.p. 30-37.
34. Ref. 25. pag. 572
35. Elsevier Applied Science Electron ceramic 1991
36. L.L. Hench Ed. Wiley. Principles of electronic ceramics 1989 p. 214
37. Buschow, K H. J. (1990) New Developments in Hard magnetic materials Report of Progress in Physics. 54,1123-213
38. Manual de componentes electrónicos APESA 1980.
39. Ref. 07
40. J.M. Herbert Applications of Ferrites Chapman, London 1990 p. 192.
41. Raúl Valenzuela Magnetic Ceramics, Instituto de Investigación de Materiales UNAM. Ed. Cambridge de University Press 1994 sec 9. p.p. 933.
42. Alex Goldman . Ferrite Technology ,Worldwide. Pittsburgh Pennsylvania; Electronic Ceramic 1991.
43. Heck C. (1974) Magnetic Materials and Their applications, Butterworths London.
44. T. Nomura and T. Ochian . "Current Topic in the Fields of Materials Technology of Soft Ferites" Vol. 47 Magnetic Ceramic. Ed. By B.B. American Ceramic Society 1995.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

45. Thomas G. Reynolds III Philips Components . Relva Buchanan
Ferrite(Magnetic) Ceramics.
46. R. M. Glaister, N.A. Allen and N. J. Hellicar Standard Telecommunications
Laboratories, Ltd. Harlow, Essex sec 6-A Comparison of Methods for
Preparing Fine Ferrite Powders.
47. Cantaguel M. 1986 Development of Ceramics for Electronics American
Ceramic Society Bulletin 65, 1248-9.
48. Glaister, Allen Preparing fine Ferrite Powdersp. 68.
49. Makovec, Drofenik M. Znidarsic A. "Hydrothermal Synthesis of
Manganese Zinc Ferrite Powders From Oxides" Journal of American
Ceramic Society 82(5) 1113-20(1999)
50. Stuijts A.L. Proc. Brit. Ceramic Society(2) 73, 1964.
51. Guaita F.J. Beltran H., Cordocillo E. Carda J. B. Escribano P. " Influence
of the Precursors on the Formation and the Properties of $ZnFe_2O_4$ " Journal
of the European Ceramic Society 19 363-372(1999)
52. Malinowsky W.W. Babbitt R. W. and Sands J. Appl. Phys. 33 supp.
1206, 1962
53. Visser E. G. Roelofsma J.J. Domain wall loss and rotational loss in high
frequency power ferrites. Advances in ferrites, proc. 5th Int. Conf. On
Ferrites Oxford Bombay 1989 p.605.
54. Noordermeer. A. M.M. E. Wet. Chemical Preparation and wet.
Consideration of ferrites proc. Second Int. Conf on Power Processing
Science Germany 1988.
55. Compedio Físicoquímica.
56. Enciclopedia Kir-Holmer
57. Anthony West. Solid State Chemistry Wiley 1990.
58. A. K. Cheetham and P. Day Solid State Chemistry Techniques,
Publications Oxford Science 1990.
59. Hyde B.G. Anderson S. Inorganic Cristal structure p. 30-44 Wiley 1989.

TESIS CONT
FALLA DE ORIGEN