

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Quimica



ESTUDIO SOBRE EL APRENDIZAJE EN UNIVERSIDAD
ABIERTA PARA LA MATERIA DE INGENIERIA
ELECTRICA II

355

EDUARDO HIRAM PEÑA ROJA ABRAHAM
BENJAMIN ALFREDO PEREZ GRANADOS

INGENIERIA QUIMICA

1976



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.

CLAS: 2511
EQ. 1976
HA 677
PROC. 677
339



QUIMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

A N E X O II

TITULO DEL TEMA : ESTUDIO SOBRE EL APRENDIZAJE EN UNIVER-
SIDAD ABIERTA, PARA LA MATERIA DE INGENIERIA ELECTRICA.

NOMBRE DEL SUSTENTANTE : Benjamín Alfredo Pérez Granados.

CARRERA : Ingeniero Químico

AÑO : 1 9 7 6

PRESIDENTE : Prof. Victor Pérez Amador 

VOCAL : Prof. Tomás Fargas

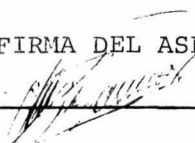
SECRETARIO : Prof. Eugenio Roldán

1er. SUPLENTE : Prof. Erick Maisner

2do. SUPLENTE : Prof. J. Morales

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA : Facultad de Química

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL SUSTENTANTE : Benjamín Alfre-
do Pérez Granados.

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL ASESOR DEL TEMA : Ing. Victor
Pérez Amador 

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

A N E X O II

TITULO DEL TEMA : ESTUDIO SOBRE EL APRENDIZAJE EN UNIVER-
SIDAD ABIERTA, PARA LA MATERIA DE INGENIERIA ELECTRICA.

NOMBRE DEL SUSTENTANTE : Eduardo Hiram Peña Roja Abraham

CARRERA : Ingeniero Químico

AÑO : 1 9 7 6

PRESIDENTE : Prof. Victor Pérez Amador

VOCAL : Prof. Tomás Fargas

SECRETARIO : Prof. Eugenio Roldán

1er. SUPLENTE : Prof. Erick Maisner

2do. SUPLENTE : Prof. J. Morales

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA : Facultad de Química

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL SUSTENTANTE : Eduardo Hiram
Peña Roja Habram

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL ASESOR DEL TEMA : Ing. Victor
Pérez Amador

A nuestros padres con
gratitud y cariño.

A nuestros hermanos
con cariño.

Al Ing. Víctor Pérez Amador
Por su valiosa colaboración
y paciencia.

A nuestros maestros
con respeto.

A Reina con cariño

A Mayte con cariño

I N D I C E

CAPITULO 1

INTRODUCCION

CAPITULO 2

TRANSFORMADORES

CAPITULO 3

GENERADORES

CAPITULO 4

MOTORES

BIBLIOGRAFIA

PROLOGO

En los ultimos años la población universitaria se ha incrementado en grandes cantidades, habiendo problemas de espacio para albergar a todos los estudiantes es por esa razón que se pensó desarrollar una gufa - de estudio para seguir el sistema de Universidaa A - bierta, que como se explicará más adelante éste sistema no implica la utilización de las aulas de clases 3 ó 4 veces por semana sino solamente 1, además se - tiene la ventaja de que es un sistema muy fácil de seguir y logrando resultados muy positivos en el a - prendizaje de los alumnos.

INTRODUCCION .

PSICOLOGIA DEL APRENDIZAJE

En cualquier idioma, el término aprendizaje es bastante equívoco e implica dos significados diferentes, aunque éstos están íntimamente relacionados: uno de ellos es la adquisición de información o de habilidades motoras, como por ejemplo: aprender matemáticas o aprender a conducir un auto, y el otro es el aprendizaje como modificación del comportamiento por la experiencia previa, y éste es el significado que se acopla más al enfoque que se pretende dar, se necesita saber qué es el aprendizaje en sí, ya que éste concepto será básico para poder desarrollar el sistema a seguir.

Se dice que el aprendizaje ha ocurrido "cuando se ha observado un cambio en la conducta". Cada acto manifestado del ser humano en sí mismo refleja una conducta. Ahora bien, cabe la pregunta ¿Que es la Conducta?

"Conducta es la facultad de gobernar las funciones y actos de cada uno de los seres". Ambos están controlados en determinada forma, que está supeditada a la idiosincrasia y personalidad de cada individuo.

En la sección primera, se trata el punto sobre la Psicología del Aprendizaje, su definición, su área de trabajo y su relación con otros tecnicismos como son: la Conducta, el Comportamiento o Condicionamiento, la Motivación, el Refuer-

zo y la Respuesta. En la última parte, se encuentra el proceso de aprendizaje utilizado en la segunda sección, tomando en cuenta todo lo anterior.

La presente tesis está destinada a servir como guía en cursos universitarios de Ingeniería Eléctrica II.

Consta de dos partes fundamentales, la primera es una pequeña introducción de la Psicología del Aprendizaje y está dirigida especialmente a los maestros y asesores, ya que con ella se pretende dar una idea de cómo y por qué se seleccionó este sistema.

La segunda parte consta esencialmente de Ingeniería Eléctrica y es la parte más importante de la tesis, ya que fue elaborada con el fin de facilitar el estudio y el aprendizaje del curso de Ingeniería Eléctrica II. Debido a que toda la información necesaria acerca de esta ciencia se encuentra diseminada en varios libros y muchos de ellos son difíciles de consultar por varias razones, como son: la diversificación de los temas, poca existencia de volúmenes, etc., por lo tanto, se trató de recopilar en este curso la mayoría de la información con la ayuda de algunos problemas supuestos de una manera eficaz, concisa e interesante para el alumno o lector.

Cada ciencia posee un conjunto de fenómenos, una serie de hallazgos, un conjunto de métodos de investigación y estructura teórica que la caracterizan y distinguen de las demás ciencias.

Como todas las áreas de la ciencia, la Psicología del a-

aprendizaje se caracteriza por los 4 rasgos definitivos antes mencionados.

1. Un conjunto de fenómenos, o sea un campo específico de trabajo, en este caso, los fenómenos relacionados con la modificación del comportamiento.
2. Una serie de hallazgos acumulados, que son el resultado de la investigación llevada a cabo durante muchos años.
3. Un conjunto de métodos de investigación para obtener datos experimentales y testimonios sobre los fenómenos que forman su campo de acción. Los métodos de la Psicología del Aprendizaje son, en parte, los mismos de la Psicología Experimental, y además, por otra parte, ciertos métodos específicos, así como, instrumentos que se usan sólo en el área del aprendizaje, como son los de condicionamiento clásico y operante.
4. Una estructura teórica. Ciencia no es simplemente la acumulación de hechos, sino también su organización y explicación. Las teorías del aprendizaje han alcanzado un altísimo nivel de refinamiento y van desde la simple descripción de hechos dentro de un marco sencillo, hasta las más complejas teorías.

Una vez que se ha definido lo que es el área del aprendizaje, es conveniente saber cuáles son los términos que son aplicables dentro de ésta área.

Los términos son los siguientes: Motivación, Estímulo, Respuesta, Aprendizaje y Educación.

El concepto de "Motivación", es una variable intermedia como lo es también el concepto de aprendizaje, éstos conceptos hipotéticos, existen en todas las ciencias y no únicamente en la Psicología, ahora bien, "nunca se observa la motivación, sino, que se observa el comportamiento motivado y, de ahí, se infiere la motivación". La motivación se puede manipular, es decir, se crea una necesidad, la cual está supeditada a una serie de factores que van a servir como condicionantes para obtener los fines deseados.

La motivación lleva a iniciar el comportamiento o sostenerlo, a adquirir ciertas respuestas y a activar respuestas aprendidas anteriormente. El comportamiento, consecuentemente se observa los condicionantes antecedentes se manipulan y la variable intermedia se infiere.

El estímulo y la respuesta.- El estímulo es un cambio de energía en el ambiente físico que actúa sobre el organismo y desencadena una respuesta.

Esta es una contracción muscular o una secreción glandular

que puede conectarse en forma funcional con un estímulo antecedente.

Conociendo ya todos éstos términos, se puede entrar de lleno a los métodos de condicionamiento, como son el clásico y el operante. Una gran parte de la conducta humana es aprendida o adquirida y, por eso, el aprendizaje es algo básico en la psicología humana. Se ha estudiado mucho sobre la psicología del aprendizaje, aún hay muchos puntos que todavía se discuten. Es importante, enumerar y comentar los puntos comúnmente aceptados.

1. El comportamiento que se refuerza tiene más probabilidad de repetirse, que el que no se refuerza, es decir, en un caso concreto, si a un animalito se le premia con comida por haber movido una palanca, éste tenderá a moverla motivado por la recompensa. En este caso, el alimento, aunque el comportamiento ocurre al comienzo por azar, si se refuerza, tenderá a repetirse. "Refuerzo no es exactamente sinónimo de PREMIO, pero puede entenderse en esta forma sin caer en un error".
2. El refuerzo más efectivo en el proceso del aprendizaje es aquel que sigue a la acción con un mínimo de tiempo. En realidad, el más efectivo es el refuerzo inmediato. La efectividad del refuerzo disminuye con el tiempo y muy pronto pierde su eficacia.
3. El castigo no lleva a aprender nada, hace que la conduc-

ta castigada desaparezca temporalmente, pero puede reaparecer más adelante. "Este es ineficaz, ya que sus consecuencias secundarias, por ejemplo, frustración, agresión, evitación de la situación, pueden hacer que se detenga el proceso de aprendizaje.

4. La repetición no lleva a aprender si no existe ningún tipo de refuerzo.
5. La oportunidad de lograr nuevas experiencias, de explorar, de estimularse, es una clase de refuerzo que es sumamente eficaz en el hombre.
6. El sentido de la satisfacción que ocurre como consecuencia de una acción bien hecha, es un importante refuerzo mucho más que los refuerzos externos a la acción.
7. "La máxima motivación para el aprendizaje, se logra cuando la tarea no es demasiado fácil ni demasiado difícil para el individuo", por ejemplo, cuando se permite explorar proponer variaciones, aunque puedan parecer sin sentido, criticar, cuando hay posibilidad de hallar nuevas soluciones, etc.
8. El aprendizaje por medio de "Comprensión" se logra solamente cuando ha habido suficiente preparación previa, cuando se pone atención a la situación total y a todas

las relaciones entre las partes, cuando la tarea tiene sentido y está dentro de la capacidad del sujeto, y cuando la percepción permite combinaciones nuevas de los elementos.

9. El olvido ocurre rápidamente al principio, lentamente después, es decir, durante el primer día se olvida la mayor parte del material aprendido y después se va olvidando poco a poco, pero no se olvida totalmente.
10. El aprendizaje no es un proceso simplemente intelectual, sino, también emocional. El individuo debe tener metas en el proceso de aprender y deben ser claras y precisas para que sean efectivas.

Después de esto, se plantea la siguiente interrogante: ¿Qué es lo que se va a medir del aprendizaje?. Existen algunas variables, como es el tiempo, es decir, cuántos días requiere un alumno para aprender un capítulo; otra variable puede ser el número de errores que se comete en un examen, o bien medir la cantidad de respuestas en el mismo. Resumiendo, son de tres tipos.

1. Medidas de amplitud o magnitud
2. Medidas de tiempo
3. Medidas de probabilidad

La primera, es la medición de la cantidad aprendida; la segunda, el tiempo en que se aprendió esta cantidad; y la tercera,

el número de errores o aciertos obtenidos durante el aprendizaje.

Con todos los tecnicismos y definiciones anteriores, ahora si es posible explicar las diferencias y que son, en sí, los condicionamientos clásico y operante.

En ambos tipos de condicionamiento lo esencial es el procedimiento; en lo clásico, el refuerzo se otorga siempre, sea cual fuere el comportamiento, y en el operante, cuando el comportamiento es el adecuado. Además de este procedimiento, los especialistas dicen que estos dos tipos de aprendizaje correspondían a la acción del sistema nervioso autónomo (Simpático y Parasimpático) en el caso del condicionamiento clásico, y a la acción del sistema nervioso central, en el caso del condicionamiento operante, por lo anterior, en el primer caso sería "involuntario" y en el segundo, "voluntario", aunque, éste realmente no es comprobable.

Otra diferencia, es la relacionada con el refuerzo parcial, y es la más importante de todas; es una diferencia de carácter operacional y nos lleva a afirmar que, en el estado actual de nuestros acontecimientos, hay dos tipos de aprendizaje: clásico e instrumental. No importando si uno está mediado por el sistema nervioso central o por el sistema nervioso autónomo o si es voluntario o no.

La diferencia básica es lo siguiente: el refuerzo parcial disminuye la fuerza de la respuesta en el condicionamiento clásico y la aumenta en el condicionamiento instrumental; todos estos razonamientos fueron descubiertos por Pavlov, el clásico; y por Skinner, el

operante, ya que ellos realizaron todos los experimentos y llegaron a estas conclusiones.

Para entender un poco mejor lo anterior, es necesario introducir lo siguiente:

1. Principio del Refuerzo o de la Recompensa. Se ha visto como a través de varias situaciones que se le han presentado al hombre, para que se adquirieran los efectos deseados, se requiere de un estímulo: el refuerzo, y con éste, se obtiene una respuesta, la cual es premiada (refuerzo). Después de obtener una respuesta y una recompensa varias veces, se formará un fuerte hábito; por lo tanto, la misma aumenta en frecuencia, y las respuestas que nunca son recompensadas tienden a desaparecer.
2. Principio de las Recompensas Secundarias. Cuando se ha aprendido a discriminar, el estímulo que sirve de señal para responder, "puede ser usado como una recompensa secundaria, para entender en una respuesta diferente". La respuesta que acarrea o produce la señal, tenderá a repetirse, de la misma forma que la respuesta original se convirtió en un hábito poderoso.
3. Principio del Moldeamiento de la Conducta. Se puede entrenar una respuesta nueva o desusada, conduciendo a la persona mediante recompensas en el curso de una serie de actos, los cuales se irán aproximando cada vez más al resultado que se desea.

PROCESO DE APRENDIZAJE UTILIZADO

Todo aprendizaje requiere de ciertos estímulos para que este aprovechamiento se manifieste de una manera efectiva, ya que el mismo, va a permitir al profesor evaluar el aprendizaje del alumno en forma más exacta. Dentro del programa se va a necesitar de una serie de implementos, los cuales van a servir como condicionantes para que el alumno se motive de una mejor forma.

Para esto, se proporcionará un enfoque sobre la instrucción que se va a tratar de implantar. Es conveniente procurar que "el hecho de que el alumno sea la parte más activa del curso", ya que éste, al dar una serie de pasos para obtener resultados, va a ser, en última instancia, el que delimite su poder de asimilación y aprendizaje.

Para que se logren los fines deseados, se va a provocar el estado anímico del alumno dentro del curso, ya que al estar motivado tenderá a obtener la meta planteada, (objetivos que se describirán a continuación).

El alumno, al ingresar a este nuevo método, va a verse su-peditado a una serie de condicionantes, los cuales están unidos a variables dependientes, como son: objetivos, refuerzos y motivaciones. A continuación, se describen una serie de estos condicionantes que serán de gran utilidad.

I. OBJETIVOS

- a. Que el alumno acredite la materia.
- b. Que tenga el máximo de aprovechamiento posible.
- c. Que consecuentemente, obtenga una mejor calificación durante el transcurso del curso.
- d. Que tenga una visión más real de lo que es la Ingeniería Eléctrica aplicada a la Ingeniería Química en plantas y fábricas.

II. Refuerzos

- a. La asistencia a seminarios o a mesas redondas con los asesores.
- b. La elaboración de problemas de examen, en un plazo determinado.
- c. La ayuda de los asesores y bibliografía para los temas que se desarrollan.
- d. La ubicación en el tema, de manera que los alumnos tengan una mejor idea, tanto física como teórica.
- e. La consultoría a fábricas acerca de las conveniencias o

desavenencias que podrían provocar ciertos implementos eléctricos.

III. MOTIVACIONES

- a. La investigación de temas a desarrollar y de investigación.
- b. Provocar que el alumno se interese por los temas de desarrollo, con la ayuda de las guías de estudio.
- c. La estimulación de parte del asesor para que el alumno tenga un mayor aprovechamiento. Esta consistirá en puntos que lo ayuden a obtener una mejor calificación, o bien, eximir posibles entrevistas o exámenes.

Esto concierne a ambos, pero usamos una palabra que aún no hemos definido: "Objetivo". Esta palabra se usa "para denotar los fines últimos de la instrucción, así como los medios con los que se quieren alcanzar las metas concretas del aprendizaje". Con esta definición, se busca que éstos no se presenten a múltiples interpretaciones, sino por el contrario, que comuniquen claramente lo que se desea alcanzar con el curso.

Es conveniente definir "los objetivos, porque una acción eficaz es aquella que alcanza sus objetivos propuestos". Para que éstos puedan ser alcanzados con eficacia, se necesita que definidos claramente, permitiendo al profesor obtener evidencias de los resultados alcanza-

dos como dice Robert Mayer " Ya que nadie es capaz de penetrar en la mente ajena para determinar lo que otros saben, la única manera de detectar la situación del estudiante respecto de su aprendizaje es observar los aspectos de su conducta o ejecución, o sea la manifestación de las mismas."

Se desea que la manifestación sea de conducta oral y escrita primordialmente quedando ratificada por un examen que puede ser también oral o escrito, en el cual el alumno de manifestaciones claras de su conducta de aprendizaje.

Los objetivos que se propondrán, se desean alcanzar de la siguiente forma :

" Dadas ciertas bases", en este caso, las Físicas, III, IV ; así como la Ingeniería Eléctrica I, con la ayuda de la bibliografía correspondiente y la guía de estudio , sin hacer un trabajo exhaustivo el alumno al final del semestre debe:

IDENTIFICAR, INTERPRETAR,
ANALIZAR, DIFERENCIAR Y
RESOLVER,

un problema que se le dará al inicio del curso.

TRANSFORMADORES

Teniendo en cuenta el uso tan extendido de los transformadores en la transmisión de energía a larga distancia, es -- conveniente analizarlo a fondo. "Un transformador es un dispositivo eléctrico por medio del cual se puede aumentar o disminuir la fuerza electromotriz de una fuente de corriente alterna".

Esto proporciona una gran ventaja ya que como puede aumentar o disminuir el potencial, entonces, la electricidad se puede transmitir con alto voltaje y baja intensidad, porque - la caída IR debido a la resistencia de la líneas de transmisión se reduce considerablemente.

Para entender los principios y generalidades de un transformador se deben tener presentes ciertas bases, por lo tanto, se empezará a recordar qué es un solenoide.

"Un solenoide es el arrollamiento de alambre en forma de hélice - sobre un cilindro que atravesado por una corriente crea un campo magnético comparable al de un -- imán recto". (Fig. 1)

En ambos casos las líneas de fuerza magnéticas, son tales que un lado extremo de la bobina actúa como polo - norte magnético y el otro como polo sur magnético. Ahora bien, si en el centro se coloca una barra de hierro se obtendrá un imán poderoso llamado electroimán. (Fig. 2)

Analizando este fenómeno por partes se podrá entender mejor de acuerdo a la (Fig. 3). Si el interruptor - está abierto no habrá paso de corriente eléctrica, por - lo tanto, no habrá campo magnético, (Fig. 4) pero si el interruptor cierra el circuito, empezará a circular una corriente eléctrica la cual alcanza su valor máximo después de un cierto tiempo, (Fig. 5) entonces se encontrará fortalecida, lógicamente este ascenso comienza desde un valor igual a cero, al cerrar el interruptor subirá - con rapidéz al principio, y después con lentitud hasta - alcanzar el valor dado por la Ley de Ohm. Durante el -- tiempo que está subiendo el valor de la intensidad de -- corriente, el campo magnético va en incremento poco a poco hasta que ambos alcanzan su valor máximo y se mantienen constantes.

En la mayoría de los circuitos este proceso completo requiere solo una pequeña fracción de segundo. Por - lo tanto una corriente constante indica un campo magnético constante e invariable como se indica en la (Fig. 6).

De la misma manera cuando se abre el interruptor, el valor de la corriente va decreciendo rápidamente al igual que el campo. (Fig. 7)

Si una espira se coloca alrededor de un electroimán (Fig 8) al cerrar el circuito se creará una fuerza electromotriz inducida. Lógicamente cuando la corriente alcanza un valor máximo en la bobina, consiguientemente en la espira la fuerza electromotriz también alcanza su valor máximo. Si se abre nuevamente el interruptor, la corriente en la bobina disminuirá e induce una fuerza electromotriz en sentido contrario, entonces es posible deducir que si se abre y se cierra el interruptor de manera sincronizada, se puede por lo tanto, inducir un ciclo completo de corriente alterna (Fig. 8). Si aumenta el número de espiras aumenta el valor de la fuerza electromotriz.

El devanado del transformador que se encuentra conectado a la fuente de energía se le denomina "devanado primario" y el correspondiente al circuito que se va a alimentar se le llama "devanado secundario", (Fig. 9) es muy importante tener en cuenta ésta definición porque -- constantemente se comete el error de llamar devanado primario al que recibe mayor voltaje y devanado secundario al de menor voltaje. Ahora bien, ya que, las espiras es tán unidas en serie una con otra, el valor de la fuerza electromotriz entre las terminales exteriores es exacta-

-mente igual a la suma de las fuerzas electromotrices individuales de cada vuelta. Ambos devanados son fabricados con -- alambre de cobre aislado, esto es debido a que los devanados deberán estar aislados uno del otro, suponiendo que todas -- las líneas de fuerza magnética del primario atraviesen todas la espiras del secundario, la diferencia de potencial en el secundario dependerá de la relación entre el número de espiras del secundario y el número de espiras del primario.

Si por ejemplo, hubiese cien espiras en el secundario - y solo diez en el primario, la diferencia de potencial en el secundario sería diez veces la aplicada al primario. Como en el secundario hay más vueltas que en el primario a este dispositivo se le llama "transformador elevador" (Fig. 10), si por el contrario hubiese cien espiras en el primario y diez en el secundario la diferencia de potencial inducida a éste sería la décima parte del primario en este caso existen menos vueltas en el secundario que en el primario por lo tanto este dispositivo es denominado "Transformador reductor" --- (Fig. 11).

La potencia gastada en un circuito que contiene inductancia y capacitancia no se puede medir con un voltímetro y amperímetro. Para medir la potencia se usa un wattímetro. Tal - instrumento toma en cuenta la fuerza electromotriz, la co---- rriente y el factor de potencia dando lecturas directas de la potencia.

Leyendo un wattímetro, un amperímetro y un voltímetro se puede determinar el factor de potencia de un circuito por medio de la siguiente ecuación:

$$P = VI \cos \theta \quad \dots\dots\dots(1)$$

Se podría pensar que un transformador al elevar el voltaje de una corriente alterna violaría la "Ley de la Conservación de la Energía", es decir, aparenta que se puede obtener una gran cantidad de energía con el consumo de una cantidad más pequeña, pero en realidad esto no sucede, ya que al aumentar el voltaje, la corriente disminuye en la misma proporción. Por ejemplo, si un transformador eleva el voltaje diez veces más del original, la corriente recibida será de un décimo, esto nos indica, que la potencia transmitida es exactamente la misma, aunque en realidad el rendimiento de los transformadores no es el cien por ciento pero se acerca bastante. Ahora bien, como la potencia es igual al producto del voltaje por la intensidad se tiene:

$$\begin{aligned} E_p I_p &= P_1 && \text{en el primario} \\ E_s I_s &= P_2 && \text{en el secundario} \end{aligned}$$

suponiendo una **eficiencia** del 100% se tendrá:

$$P_1 = P_2$$

o sea:

$$E_p I_p = E_s I_s \quad \text{donde:}$$

E_p = Voltaje en la bobina primaria

E_s = Voltaje en la bobina secundaria

I_p = Intensidad en la bobina primaria

I_s = Intensidad en la bobina secundaria

de aquí se deduce que:

$$\frac{\text{Número de vueltas en el primario}}{\text{Número de vueltas en el secundario}} = \frac{\text{Voltaje en el primario}}{\text{Voltaje en el secundario}}$$

viendo esto de una manera esquemática quedaría como la (Fig. 12). Para la construcción de los transformadores se debe conocer cuales son sus partes y como están colocadas, como se vió antes, es semejante a un electroimán, ya que ambos tienen un núcleo de hierro y embobinado. - Como el hierro ofrece poca resistencia a las líneas de fuerza magnéticas, casi todo el campo magnético del primario pasa por el núcleo de hierro y atraviesa el secundario, el núcleo de hierro aumenta la eficiencia del transformador a casi un cien por ciento, por lo tanto podemos decir que la pérdida es nula.

Los núcleos de hierro se fabrican principalmente de tres formas:

- A. Núcleo abierto
- B. Núcleo cerrado
- C. Núcleo en armadura o casco.

el más económico de los tres es el de núcleo abierto, ya que ambos embobinados van en el mismo núcleo (Figs. 13 y 14). El flujo magnético en los de núcleo abierto se hace en parte por el núcleo de hierro y parte en el aire, por lo tanto, la interacción o unión magnética se debilitará debido a que el aire se opone al campo magnético. Este tiene poco rendimiento consecuentemente no se usa para transformar energía eléctrica.

El transformador de núcleo cerrado (Figs. 15, 16, 17), mejora la eficiencia del transformador, ya que, la mayoría de las líneas de fuerza magnética viajan a través del núcleo de hierro y pocas de estas líneas viajan por el aire, mejorando así la unión o acoplamiento magnético.

En la (Fig. 18) se tiene un transformador con un bobinado secundario, el cual tiene varias derivaciones que van desde S_0 hasta S_4 , si se hacen primero las conexiones en S_0 y S_1 se obtendrá un voltaje bajo, pero

si se va recorriendo a S_2 , S_3 , etc. incluyendo más espiras lógicamente el voltaje aumentará. Actualmente el tipo de transformadores que se usan más comunmente son aquellos en los cuales se tienen dos o más devanados secundarios independientes y aislados entre sí. (Fig 19) . Los bobinados vienen identificados de fábrica mediante colores para indicar los bobinados secundarios, su empleo y la forma en que se les debe conectar (Fig. 20).

Los transformadores de núcleo en armadura o casco aumentan mas el acoplamiento magnético o unión, ya que, ofrecen dos caminos magnéticos paralelos al campo, por lo tanto, se logra un acoplamiento al máximo entre el primario y el secundario. (Fig. 21).

Como se vió antes, no toda la energía se transmite del bobinado primario al bobinado secundario, es decir, existen pérdidas y tienen lugar de acuerdo al origen del funcionamiento de un transformador, o sea, éstas parten desde el momento en que se establece la imanación de su núcleo, lo que implica el consumo de una parte de la energía que recibe, y a esta pérdida se le denomina "Pérdida en el vacio", las cuales comprenden además, aquellas que por efecto de la histéresis o corrientes llamadas "Focault" provocan el calentamiento del núcleo, lógicamente si se lamina el núcleo, la resistencia será mayor y las pérdidas de potencia serán

menores , esto comúnmente se hace de la siguiente manera: el núcleo se lamina en varias placas, la cuales estarán - aisladas entre sí por medio de un barniz, así se disminuye la sección del camino ofrecido y la resistencia a las corrientes de "Focault" aumentará. (Fig. 22).

Existe además, otra clase de pérdidas originadas por el efecto de "Joule", refiriéndose éstas al natural calor que se desarrolla dentro de los devanados al ser atravesados por una corriente eléctrica, a éstas se les denomina - "Pérdidas en el Cobre o en los Devanados" (Fig. 22a) y se puede calcular de la siguiente manera:

$$Q = P = I^2 R \text{ donde:}$$

I = intensidad en la bobina

R = resistencia en el alambre

Q = potencia perdida en forma de calor

Debido a la gran cantidad de frecuencias y usos distintos los transformadores se diseñan de muchos tipos pero debemos distinguir dos clases o tipos, los llamados transformadores de potencia o fuerza que se emplean en las estaciones o subestaciones de energía y cuya capacidad es superior a 300 KVA (Kilovolts-ampere) y los denominados transformadores de distribución, cuya capacidad es inferior de 300 KVA.

Aparte de los dos tipos señalados los transformadores pueden ser:

A. Monofásicos

B. Bifásicos

C. Trifásicos

dependiendo ésto del sistema de corriente que alimenta el aparato. Ahora bien, dependiendo de la construcción se clasifican de dos tipos: los de columnas y los acorazados, siendo los primeros aquéllos cuyas bobinas o devanados van colocados envolviendo el núcleo de hierro, y los segundos aquéllos cuyos devanados se encuentran cubiertos por el mismo, para aclarar esto se dirá que los transformadores de columnas se diseñan con el arrollamiento o devanado de baja tensión en primer lugar y sobre este el devanado de alta tensión, con el objeto de que el bajo voltaje quede más próximo al hierro del núcleo, alejando la posibilidad de contacto o arco entre arcos, teniendo a la vez la mayor facilidad para aislar debidamente las bobinas de alta tensión, en cambio los transformadores acorazados se construyen de manera muy diferente, pues en ellos se busca sobre todo la disminución de la caída de voltaje por reactancia consiguiendo esto de la siguiente manera: como ya se dijo primero, el hierro que forma el núcleo, envuelve por igual a los devanados de alta y baja tensión, segundo, los devanados pueden ir colocados en forma alterna, es decir se coloca una bobina de baja--

tensión cerca del hierro, después una de alta y así sucesivamente, procurando quede al final otra bobina de baja, tercero, también pueden colocarse los devanados dejando abajo uno de baja -- tensión, después se colocan los de alta y por último, otra porción del devanado de baja.

REGULACION

Tanto para los cálculos, como para las medidas del voltaje secundario de los transformadores en sus diferentes cargas, se utiliza el término "Regulación", que viene a ser la diferencia en volts cuando el transformador se encuentra conectado sin carga a los momentos en que se encuentra carga; ejemplo:

Un transformador ha sido conectado en el lado de alta tensión a una red de 10,000 volts; antes de conectarlo a la carga, el vóltmetro marca en el lado de baja tensión 220 volts. Más tarde, la carga ha sido colocada y ahora el vóltmetro acusa solamente 208 volts; la diferencia entre la primera lectura y la segunda, es lo que comúnmente se conoce con el término señalado de: REGULACION, pudiendo determinarse dicho coeficiente, por ensayos previos en corto circuito.

DETALLES GENERALES DE CONSTRUCCION

MATERIALES DEL NUCLEO

El material empleado para la construcción del núcleo de los transformadores es el acero del silicio, debido principalmente,-

a la resistencia que ofrece al envejecimiento, y a las bajas pérdidas por histéresis, siempre y cuando, el ensamble de las láminas se haga con la máxima perfección.

En los últimos años, las fábricas de láminas magnéticas de silicio, han lanzado al mercado después de investigaciones laboriosas, un nuevo material llamado HIPERSIL de grano orientado, que representa una mejora notable en los aceros al silicio; con este nuevo material, el tamaño de los transformadores se ha reducido, pues dicho material puede trabajarse a elevadas inducciones debido a su alta permeabilidad y muy bajas pérdidas. Hay que hacer notar que para hacer uso de este material se requiere el uso de hornos especiales de tratamiento.

Hay otras aleaciones compuestas de silicio, acero y níquel, cuyas aplicaciones están reservadas especialmente para transformadores de precisión para equipos electrónicos y transformadores de medida.

De acuerdo con los diseños de cada fabricante, los núcleos de los transformadores están contruidos con una gran cantidad de láminas de muy diversas formas como podemos observar en las figuras No's. 23, 24, 25, 26, 27, 28.

AISLAMIENTO Y REFRIGERACION

Estos dos factores complementan el buen servicio que va a prestar un transformador de acuerdo con el tipo que se adapte en el servicio, así pues se dirá en primer lugar, que hay tres clases o especies principales de aislamiento que se emplean en los transformadores:

1. Los gases;
2. Los líquidos; y
3. Los sólidos

Sobre los primeros gases, el aire es el más comúnmente empleado para la refrigeración de los transformadores de construcción seca, pudiendo forzarse dicho elemento por medio de sopladores o ventiladores, o bien, dejando que penetre por medios naturales. Otros gases empleados son el hidrógeno, el nitrógeno y el helio.

Los aislantes líquidos se emplean en gran escala para conseguir en los transformadores aparte de un buen aislamiento, la disipación del calor generado en el servicio, ocupando el primer lugar el aceite mineral, debido al bajo costo, comparado con los líquidos sintéticos conocidos con los nombres de: Pyranol, Askarel, etc., que sólo se emplean para transformadores de grandes potencias o en aquellos otros que tra-

bajan en lugares peligrosos como refinerías petroleras, fábricas de explosivos, tiros profundos de minas, etc., pues debido a su calidad no inflamable, en el caso de cortos circuitos internos, son preferidos al aceite mineral de transformador.

Los aislantes sólidos que más se emplean en la construcción o reparación de transformadores, están constituidos por estructuras laminadas de papel, fibra de vidrio, prespan, y otras composiciones químicas modernas; las telas barnizadas y de vidrio, así como varias clases de cartones especiales y papeles. En los últimos años, se emplean con frecuencia algunos aislantes termoplásticos, cuya rigidez dieléctrica es muy elevada, aún cuando el constructor, deberá tener siempre presente, que estos materiales son afectados por temperaturas mayores de 100°C .

RIGIDEZ DIELECTRICA DE LOS AISLANTES

En el diseño práctico de transformadores, debe buscarse siempre el equilibrio de las cualidades de los materiales aislantes, pues debe tenerse en cuenta siempre, que éstos van a trabajar en un campo electrostático no uniforme y por lo tanto, su rigidez dieléctrica varía de acuerdo con la clase de aislamiento.

En todos los aislantes sólidos, la rigidez dieléctrica es afectada muy seriamente por la frecuencia de la

corriente, pues si ésta se aumenta, la rigidez disminuye en la siguiente forma:

RIGIDEZ DIELECTRICA A 100 %
EN 60 CICLOS

FRECUENCIA	RIGIDEZ DIELECTRICA
60	100%
120	91%
200	85%
300	81%
400	77%
500	72%

Lo que quiere decir que entre estos límites la rigidez de ruptura en ensayos de un minuto de duración, varía inversamente con la frecuencia elevada al exponente: 0.137.

En los aislantes líquidos, la rigidez dieléctrica dentro de los límites de la frecuencia que tenemos señalada en la tabla anterior no es afectada.

Para la prueba de rigidez dieléctrica se hace uso de la aplicación de un voltaje en un tiempo determinado, sien-

do para los aislantes sólidos superior que para los aceites, pues éstos, se afectan más fácilmente por el efecto TIEMPO.

Como vemos por las razones anteriores, hay dos factores que deben tomarse en cuenta al diseñar los transformadores y es a ellos, por lo que las normas establecidas para las pruebas de estos aparatos, recomiendan una disminución del tiempo de aplicación en las pruebas con "Voltaje Inducido", cuando la frecuencia de éste es superior a 60 ciclos por segundo. Veamos en seguida la tabla relativa a esta prueba:

CICLOS	DURACION EN SEGUNDOS.
120 o menos	60
180	40
240	30
360	20
400	18

ENVEJECIMIENTO DE LOS AISLANTES

EN TRANSFORMADORES

Todos los materiales aislantes tiende naturalmente a envejecerse por efecto del tiempo; su resistencia mecánica se altera, su rigidez dieléctrica disminuye y en fin, llega el momento en que es necesario reponerlos; pero hay que tomar en cuenta otro factor importante que se relaciona directamente con las causas que provocan este envejecimiento en una forma prematura y que podrá evitarse si se toman en cuenta las siguientes indicaciones:

PRIMERA: Que el transformador no sobrepase una temperatura de 55°C sobre la del ambiente, pues se ha comprobado que la rapidez del envejecimiento aumenta al doble por cada 8°C que sobrepase a la temperatura señalada.

SEGUNDA: Que se evite en lo posible la introducción o acumulación de materias nocivas a los aislamientos, construyendo los transformadores de acuerdo con las indicaciones técnicas requeridas para cada tipo o clase de los mismos.

DETALLES DE CONSTRUCCION DE LOS BOBINADOS

Los materiales que se emplean para la construcción de

las bobinas tanto primarias como secundarias, varían de acuerdo con las características de servicio a que se van a destinar los transformadores. Se tiene en primer lugar, los transformadores que trabajarán sumergidos en aceite y cuyo servicio será la distribución de energía eléctrica en industrias comunes y corrientes, compañías suministradoras y para usos generales simples.

Las bobinas de estos transformadores, serán construidas con alambres de cobre electrolítico forrado de papel, algodón o esmalte doble "formex".

Estas mismas clases de alambres se usarán en la construcción de transformadores de tipo seco común y corriente.

Cuando por la naturaleza del lugar en que va a ponerse en servicio un transformador, se requieran características especiales como:

1. En los lugares peligrosos por existir materias inflamables.
2. Lugares con temperaturas superiores a 60°C.
3. Transformadores cuyo servicio de carga se altera por fluctuaciones en la misma en porcentajes considerables por más de dos horas, se emplean

los alambres con forros de vidrio o asbesto, utilizándose a la vez como aislamientos generales del transformador: la mica, la tela de vidrio, los tubos aislantes hechos a base de estas mismas materias y el barniz a base de resinas silicón.

De acuerdo con los diseños especiales de cada fabricante, los devanados de los transformadores se hacen por diferentes métodos y formas, tendiendo todos, como es natural, a buscar como fines principales: la eficiencia, bajas pérdidas y larga duración de las máquinas, dentro de un campo lo más económico posible, a fin de conseguir un costo menor.

CARACTERISTICAS TERMICAS DE LOS TRANSFORMADORES

Las características térmicas de los transformadores corresponden a cinco puntos principales que deben tenerse en cuenta:

1. A la disipación que se produce como ya se vió por efecto de las pérdidas en el hierro del núcleo y las bobinas primarias y secundarias.
2. Por aumento de temperatura originado por sobrecarga que origina la variación en capacidad del

transformador en KVA.

3. Los aumentos de temperatura por condiciones transitorias que originan tanto el calentamiento como el enfriamiento.
4. Los factores de altura sobre el nivel del mar, los rayos solares cuando el transformador trabaja a la intemperie, el cambio de frecuencia en la corriente y los fenómenos transitorios de la misma.
5. Por último, se mencionará el cambio de temperatura originado por el envejecimiento de los materiales aislantes en general que, determina la vida del aparato.

Se sabe que las pérdidas naturales de los transformadores, se convierten en calor el cual es transmitido al tanque de tres maneras, a saber:

- a) CONDUCCION
- b) RADIACION
- c) CONVECCION

La Conducción se refiere a transmitir cierta cantidad de calor a través de una determinada sustancia; la Radiación se refiere a que cuando un cuerpo tiene una temperatura mayor que la del ambiente que lo rodea, irradia su ener-

gía calórica en forma de ondas y, la Convección, es la circulación que se provoca al medio empleado para refrigerar el transformador (ya sea aire, agua, aceite, etc.) debido a la transmisión del calor que se genera en su núcleo y bobinas, lo que produce que el fluido menos denso suba y sea reemplazado por otra más pesado a fin de establecer el ciclo de circulación.

EFFECTOS DEL CALOR EN LOS TRANSFORMADORES

La carga máxima de un transformador está determinada por la elevación de temperatura de sus bobinas que, como se sabe, al ser atravesadas por la corriente en primer lugar y, en segundo, por la carga que se encuentran alimentando, producen cierta cantidad de calor, cuyo límite puede apreciarse prácticamente en la caída de tensión que se observa al cargarse el transformador, lo cual, indica claramente si la capacidad en KVA del transformador ha sido sobrepasada.

LOS TANQUES Y ACCESORIOS NORMALES Y ESPECIALES

DE LOS TRANSFORMADORES

En la construcción moderna de transformadores, los tanques se fabrican con lámina de acero del grueso apropiado para cada capacidad; las uniones se sueldan por medio de soldadura eléctrica y una vez terminados se prueban por medio de un compresor de aire para localizar los poros y defectos de

la soldadura.

Según el tamaño de la máquina, el tanque se dota de medios apropiados de disipación, consistiendo éstos generalmente en las siguientes formas:

1. Baterías de tubos disipadores, con dos, tres, o más tubos cada batería.
2. Ventiladores eléctricos adosados a las baterías de tubos disipadores, para el enfriamiento de las mismas.
3. Serpentes de cobre interiores por los cuales se hace circular agua o gases refrigerantes.
4. Ductos para forzar aire al interior.

Cuando los tanques han sido terminados, se procede a limpiarlos de asperezas y materias extrañas por medio de raspado o chorros de arena lanzados con herramientas especiales; después se procede a dar una mano de pintura base como revestimiento y sobre ésta se dan dos o tres manos de pintura anticorrosiva, con objeto de proteger el tanque de las inclemencias del tiempo.

Respecto a los accesorios normales que deben tener los transformadores de acuerdo con su capacidad, damos en segui-

da dos cuadros de los mismos, correspondientes a transformadores monofásicos y transformadores trifásicos.

La corriente eléctrica entrará y saldrá del transformador, por medio de aisladores especiales de porcelana de acuerdo con las tensiones del transformador, cuyas figuras son: 29, 30, 31, 32.

Los aisladores, van provistos de conectadoras de bronce o cobre con los aditamentos necesarios para hacerse la conexión respectiva con la mayor facilidad. En otros tiempos, los fabricantes sacaban al exterior los cables para las conexiones, protegiendo la entrada de materias nocivas o la salida del aceite, por medio de una pasta que se fundía al introducir el cable al aislador de salida. Como se comprenderá, en las primeras veces que se hacían conexiones al transformador, los cables se iban desgastando y quedando más cortos cada día, de manera que llegaba la ocasión en que era necesario cambiarlos por otros nuevos, sin contar desde luego con las dificultades de la operación y de la imposibilidad de conseguir cables exactamente iguales a los originales del aparato.

LOS CAMBIADORES DE TENSION SIN CARGA

Con objeto de ajustar el voltaje de línea, los transformadores modernos vienen provistos de variaciones en el lado

de alta tensión, con valores que fluctúan del 2.5% al 10% arriba y abajo del voltaje nominal del transformador, con objeto de facilitar la operación de ajuste. Estas derivaciones se conectan a unos aparatos que se denominan CAMBIADORES DE TAPS; los cuales consisten en un disco con cinco posiciones provisto de una manivela para accionarlo.

Cuando la tensión del transformador es menor o mayor y se desea variar, se mueve la manivela del cambiador a la posición deseada, para lo cual, es necesario:

PRIMERO. Que el transformador se encuentre desconectado.

SEGUNDO. Quitar la tapa o tapas superiores que tienen todos los transformadores para inspeccionarlos.

TERCERO. Introducir la mano limpia y seca hasta llegar a la manivela del cambiador para darle el movimiento requerido.

CUARTO. Restablecer la corriente y en caso de no alcanzarse el valor requerido, volver a verificar la operación en los tiempos que se han señalado.

En los transformadores que llevan cambiadores de Taps al exterior, bastará con quitar la corriente alimentadora y mover la manija a la posición deseada cuyo valor se encuentra expresado en la placa de características del transformador.

CONEXIONES A TIERRA

Todos los transformadores deben ir provistos de una pieza de cobre o latón conectada sólidamente al tanque del mismo, para conectarse de la misma un cable o alambre que se encuentre en contacto con la tierra; este accesorio se coloca por lo regular en la base del transformador provisto de una zapata o tornillo para la conexión.

LAS VALVULAS PARA CARGA, DESCARGA

Y PRUEBA DE ACEITE

Con objeto de cargar, descargar y sacar muestras para analizar el estado que guarda el aceite aislante de los transformadores, deben proveerse de tres válvulas colocadas como sigue:

En la base del transformador se colocan la válvula de descarga y la de prueba, la primera debe tener un diámetro de 13 a 25 milímetros empleándose por lo general las llamadas válvulas de globo y la segunda, debe ser una pequeña con un adi-

tamiento especial para que al abrirse, deje salir una pequeña cantidad de aceite por un orificio que se encuentra en la parte baja de la misma. Su lugar es también en la base del transformador, con objeto de recoger precisamente el aceite que se encuentra en el fondo del tanque.

La válvula de carga se coloca en la parte superior del tanque ya sea al frente o a un costado y a una altura que corresponda al nivel superior del aceite que debe llevar el transformador.

ACCESORIOS ESPECIALES

Los accesorios especiales de los transformadores corresponden a las ocasiones en que estos van a trabajar en condiciones en que se requieren determinados dispositivos para obtener mayor facilidad de operación, protección o diseño especial para el trabajo a que se ha destinado la máquina.

Se toman como accesorios especiales los siguientes:

- Cambiadores de Taps con carga.
- Relays de protección.
- Reactancias o autotransformadores adicionales.
- Tanques de conservación.
- Ventiladores o compresores para enfriamiento.

CONEXION DE TRANSFORMADORES DE VARIAS FASES

El tipo de conexión de transformadores para transformar los voltajes de un sistema de varias fases depende de los requerimientos del circuito que será conectado al secundario.

En vista de que el bobinado primario de un transformador en un receptor de energía eléctrica, la conexión de los embobinados primarios de algunos transformadores del rango apropiado no causan daño al transformador o el sistema. Una conexión impropia de los embobinados secundarios de estos mismos transformadores puede sin embargo dañar los transformadores y el sistema o esto puede resultar en un sistema secundario que no tenga las características de varias fases del primario.

CONEXION ESTRELLA - ESTRELLA

La figura(33) se muestra la conexión Wye - Wye apropiada para un transformador de triple fase simple en un sistema de triple fase fourwire. Los embobinados primario y secundario del mismo transformador son marcados con el mismo número. Los símbolos \pm asociados con los embobinados primario y secundario de un transformador dado son las terminales que tienen la misma polaridad relativa. Si la secuencia de fase del primario

es asumido que es a-b-c, el diagrama vectorial aplicado a los voltajes secundarios se indica en la (Fig. 33b).

Si el enbobinado secundario de uno de los transformadores es invertido, por ejemplo, el número 2, el diagrama vectorial para el voltaje secundario se indica en la (Fig. 33). Como se ve el sistema resultante no es un sistema de fase triple balanceada.

El tipo de conexión mostrada en la (Fig. 33) es usada donde el alumbrado y el poder de carga son para ser proveídos del mismo grupo o transformadores. Así los voltajes de carga para alumbrado de 120 volts se conectan entre línea y neutral del secundario; y los voltajes de 208 volts para carga de potencia (motores) entre líneas.

CONEXION DELTA - DELTA

La figura 34 muestra la conexión delta apropiada de tres transformados en un sistema de 3 fases. El diagrama vectorial aplicado a los voltajes secundarios se muestra en la (Fig. 34) (La secuencia de fase se asume es a-b-c).

Si en la conexión de los enbobinados secundarios uno es omitido, el voltaje entre las 2 terminales para ser conectadas no es cero, como debería ser, pero es considerablemente grande.

Si la conexión es hecha bajo estas condiciones, los transformadores serían dañados si no se protegieran con los adecuados interruptores o fusibles. La conexión delta incorrecta de los embobinados secundarios se muestra en la Fig. 35 con la delta si cerrar. El voltaje entre las terminales abiertas, las cuales serían normalmente juntadas para completar la conexión delta, está indicada en el diagrama vectorial de la (Fig. 35) para ser 2 veces el voltaje del transformador simple secundario. La conexión de las terminales sería equivalente a poner un corto circuito a través de la fuente teniendo este el valor del voltaje.

Debido a la posibilidad de daño de los transformadores es muy común practicar la medición del voltaje entre las 2 últimas terminales para ser juntadas para asegurarse que la conexión es la apropiada.

CONEXION DELTA - ABIERTA

Una de las ventajas de usar la conexión delta - delta es la posibilidad de convertir esta a la conversión delta - abierto, en el caso en que uno de los transformadores se dañe y haya necesidad de quitarlo de servicio. La conexión del-

ta - abierta se muestra en la (figura 36) y en forma punteada se encuentra el transformador que ha sido quitado de servicio.

La base del funcionamiento de la conexión delta - abierta está en el hecho de que el vector suma de cualesquiera de dos líneas de voltaje en un sistema balanceado de tres fases es igual a la tercera línea de voltaje. Así aun cuando un transformador haya sido quitado, el voltaje entre las terminales que se conecten permanecerá invariable. El diagrama vectorial aplicado a los voltajes secundarios en la conexión delta- abierta se muestra en la (Fig. 36).

GENERADORES

En la técnica de la alta tensión se utiliza corriente alterna por ser más fácil de producir y más económicamente transportable a grandes distancias que la corriente continua. La naturaleza de la corriente alterna como movimiento oscilante de los electrones en el conductor en contraste con el flujo de electrones en una sola dirección de la corriente continua implica, que los procesos internos en el circuito de corriente alterna difieran de un modo sensible de los del circuito de corriente continua.

El fundamento de la forma actual de la dinamo está representado en la (Fig. 1.) Esta consiste de lo siguiente: Un cuadro rectangular abcd de N espiras muy cercanas gira alrededor de un eje OO perpendicular a un campo magnético uniforme cuya densidad de flujo es \mathbf{I} . El comienzo A y el Extremo E (Fig. 2) de la espira hacen contacto con 2 anillos rozantes, y las escobillas que rozan con los anillos están conectadas al cuadro o espira. La tensión inducida en la espira depende de la velocidad con que varíe el flujo magnético \mathbf{I} que penetra en ella. Si esta espira comienza a girar (Fig. 3) se producirá una variación de flujo teniendo éste su valor máximo cuando la espira se encuentre en posición horizontal (OO') y su valor mínimo cuando esté en posición vertical (3,3). Durante el trayecto de la posición vertical a la horizontal va variando de una manera proporcional, es

decir, para este efecto la(Fig. 4)da una idea más clara, y para distintas posiciones de la espira conductora, se representa su velocidad tangencial V que señala la magnitud y dirección de la velocidad tangencial de la espira, desde la posición (0,0) hasta la (3,3).

Como se ve en la(Fig. 4)permanece invariable la magnitud de la velocidad, por ser constante el régimen de giro, en cambio su dirección varía constantemente. En la posición (0,0), el vector de velocidad V es de sentido contrario al de las líneas de campo, y se dirige perpendicularmente hacia arriba. En la posición 3-3, la flecha de velocidad se halla en ángulo recto respecto a las líneas de campo, o sea, horizontal. En las posiciones intermedias 1-1 y 2-2, el vector pasa progresivamente de la dirección vertical a la horizontal. Su dirección corresponde, en cada caso a las de las tangentes en los puntos 0 a 3, o sea, a las perpendiculares levantadas sobre los radios en esos puntos.

La velocidad tangencial V se puede descomponer en 2 componentes perpendiculares entre sí; en este caso, en la componente horizontal de velocidad V_x y la vertical V_y . La variación de flujo en la espira depende solo de la componente horizontal V_x , pues solo esta produce variaciones de flujo a través de la misma, sin que influya la componente vertical V_y . En la posición horizontal (0-0), la componen-

te horizontal de velocidad es $V_{x0} = 0$; por lo tanto la tensión inducida es igual a cero. De aquí que el plano situado en la dirección de la línea (0-0) se denomina zona neutra. En la posición 3-3 es $V_{x3} = V$. La componente horizontal de velocidad y la tensión inducida alcanzan, pues, aquí su valor máximo. En todas las posiciones intermedias entre las 0-0 y 3-3, aumentan progresivamente la componente horizontal de velocidad V_x y, por tanto, la tensión inducida U en función del creciente ángulo de giro.

Si se registrara en un eje horizontal los ángulos de giro α de 0 a 360° y perpendicularmente a ellos hacia arriba y abajo, los valores correspondientes de V_x se obtendrá un diagrama. (Fig. 5). Los vectores de V_x en la Fig. 4 son para los siguientes ángulos α , de la misma magnitud, pero de dirección contraria.

$30^\circ, 150^\circ$ y $210^\circ, 330^\circ$ $60^\circ, 120^\circ$ y $240^\circ, 300^\circ$
 90° y 270°

Por ésta razón, los valores de V_x , para los ángulos de 180° a 360° , se registran hacia abajo en el diagrama lineal.

Siendo la tensión inducida U proporcional a la componente de velocidad V_x , la curva trazada refleja también el curso temporal del voltaje. El sentido de la tensión en la espira se

deduce de la Ley de Lenz, según la cual, esta tensión resulta, para los ángulos, de 180° a 360° de sentido contrario que para los ángulos de 0 a 180° . La curva de velocidad reproduce también correctamente, por tanto, la inversión del sentido de la tensión en $= 180^{\circ}$. Registrando en el eje horizontal en vez de los valores angulares de 0 a 360° , el tiempo T que transcurre durante la relación, el diagrama corresponderá al de la (Fig. 6.) Como muestra la (Fig. 4,) la componente horizontal V_x de la velocidad depende del seno del ángulo de giro α , puesto que de:

$$\text{Sen } \alpha = \frac{V_x}{V}$$

se sigue $V_x = V \cdot \text{Sen } \alpha$.

Siendo constante el número de revoluciones y, por tanto, V, V_x y la tensión inducida U dependen solo de $\text{Sen } \alpha$. La tensión inducida durante el giro de una espira conductora varía, pues, como el seno del ángulo de giro. De aquí que el curso temporal de la tensión aparece en el diagrama lineal como una curva senoidal.

Haciendo girar una espira conductora con velocidad de rotación constante en un campo magnético, se induce en ella una tensión alterna, cuya magnitud varía como el seno del ángulo de giro. Con el circuito cerrado se produce un movimiento oscilan-

te de electrones denominado "corriente alterna".

El valor de la fuerza electromotriz inducida en el cuadro de la (Fig. 1,) puede calcularse a partir de la derivada del flujo que atraviesa el cuadro, o de las velocidades de sus lados perpendiculares al campo magnético.

En el instante en que el plano de la bobina forma un ángulo α con la normal al campo, el flujo que atraviesa el cuadro es:

$$\phi = AB \cos \alpha$$

siendo A el área abarcada por el. La derivada del flujo es, por tanto,

$$\frac{d\phi}{dt} = - AB \operatorname{sen} \alpha \frac{d\alpha}{dt}$$

La fem inducida en cada vuelta del hilo es igual a $\frac{-d\phi}{dt}$,

y si el cuadro tiene N espiras la fem inducida valdrá:

$$\text{fem} = \mathcal{E} = N \frac{d\phi}{dt} = NAB\omega \operatorname{sen} \alpha \quad (2)$$

siendo $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$ la velocidad angular del cuadro.

De otra forma, si W es la anchura y L la longitud de la

espira, la velocidad tangencial de los lados ab y cd es:

$$V = \omega \frac{W}{2}$$

y la fem engendrada por el movimiento será:

$$\begin{aligned} \text{fem} = \mathcal{E} &= Blv \cos \phi \\ &= \frac{1}{2} Bl\omega W \text{ sen } \alpha \end{aligned}$$

Puesto que estas fuerzas electromotrices están dispuestas en serie, la fem neta en las N espiras será:

$$\mathcal{E} = NBl\omega \text{ sen } \alpha$$

y como

$$l/W = A$$

$$\mathcal{E} = NBA\omega \text{ sen } \alpha$$

que coincide con la ecuación (2).

Según la ecuación (1) la fuerza electromotriz es máxima cuando el plano del cuadro es paralelo al campo, y nula cuando es perpendicular al mismo. Esto está de acuerdo con el hecho de que en la posición paralela los lados ab y cd se mueven normalmente al campo, mientras que en la posición perpendicular, su movimiento es paralelo al mismo. La fuerza electromotriz máxima es:

$$\mathcal{E} \text{ máx} = NBA\omega$$

por lo tanto la ecuación (1) se puede escribir

$$\mathcal{E} = \mathcal{E} \text{ máx} \text{ sen } \alpha$$

Si ω es constante, $\alpha = \omega t$, o bien $\alpha = 2\pi ft$ y por consiguiente:

$$\xi = \xi_{\text{máx}} \text{ sen } \omega t$$

$$\xi = \xi_{\text{máx}} \text{ sen } 2\pi ft$$

que pone de manifiesto explícitamente la relación entre la fuerza electromotriz instantánea y el tiempo t . Haciendo esto gráficamente sería Fig. (7).

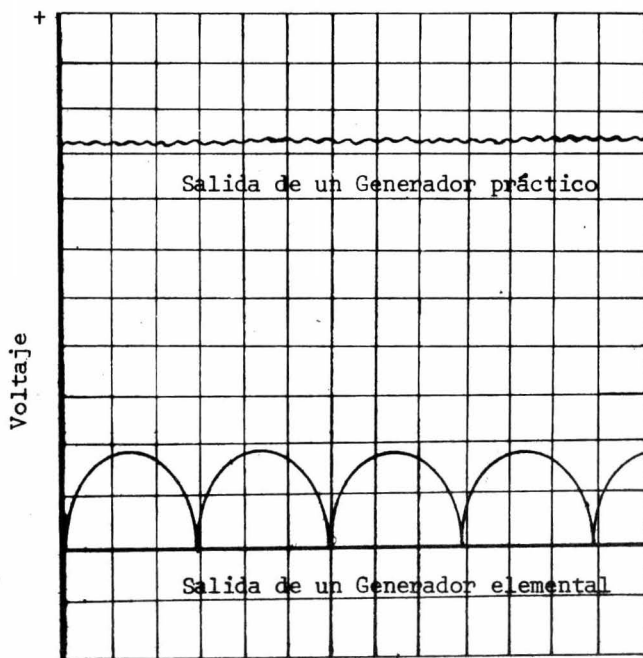
El cuadro giratorio es el principio básico o elemental de la máquina que es un generador de corriente alterna.

Si se desea una corriente continua, el colector del generador debe ser como el de la (Fig. 8.) De su disposición, se puede ver que una escobilla está siempre en contacto con los alambres que se mueven arriba a través del campo, mientras que la otra está en contacto con los alambres que se mueven hacia abajo. Esto produce una corriente uni - direccional y la máquina completa se llama generador de corriente continua.

Es importante señalar que el generador no crea electricidad. La electricidad o las cargas eléctricas están siempre en el alambre y un generador la pone en movimiento. Un generador produce una corriente continua.

La fem como se ve en la gráfica b es pulsante, pero siempre tiene el mismo sentido. Para reducir estas fluctuaciones sería necesario conectar dos bobinas en serie (Fig. 9).

En el instante en que la bobina adquiere su fem máxima, la fem de la otra se anula, según se muestra en la figura 10. Las fem se suman y dan una resultante, indicada por la curva de trazo continuo.



Entonces si se conectan muchas espiras en serie con sus respectivas delgas o conmutadores las pulsaciones se reducirán al mínimo dando como resultado la gráfica. (d)

Ahora bien, conociendo ya los principios y partes de que consta una bobina elemental, se puede entrar de lleno a lo que es un generador o dínamo industrial. Todos estos generadores ya sean de corriente alterna o de corriente continua constan de dos partes principales, una parte giratoria llamada "rotor" y otra estática llamada "estator". En los Generadores de corriente alterna las bobinas de campo están en el rotor y el bobinado del inducido en el estator y las dinamos de corriente continua sucede a la inversa ya que el bobinado del inducido se encuentra en el rotor y las bobinas de campo en el estator. Dado que la dínamo suministra energía eléctrica a una carga, se debe impartir energía mecánica a la dínamo para que el rotor gire y produzca electricidad. Es decir, el generador tiene su principio básico en que convierte energía mecánica en energía eléctrica; la energía mecánica es suministrada a los

rotadores por medio de propulsores que pueden ser de vapor, eléctricos, etc., estos tipos de propulsores son primarios.

Ahora bien, haciendo un corte a una dinamo de tipo industrial se encontraría lo que se muestra en la (Fig. 11.)

Esta es una dinamo típica, la cual consta de las siguientes partes:

- a. Piezas Polares
- b. Casquetes
- c. Inducido
- d. Carcasa
- e. Bobinados de Campo
- f. Portaescobillas
- g. Escobillas

Las piezas polares.- Están formadas o divididas en varias capas para evitar las pérdidas por medio de las corrientes parásitas, estas sostienen las bobinas de campo y van sujetas por dentro de la carcasa.

Los Casquetes contienen los cojinetes de la armadura, el de la parte posterior sostiene las escobillas. El casquete se encuentra montado en los extremos del bastidor principal.

El Inducido (Fig. 12) está formado por el núcleo, eje, bobinas y colector. El núcleo está laminado y tiene unas ranuras en las cuales están colocadas las bobinas, éstas se devanan en

un molde, después se montan en las ranuras del núcleo, el colector está fabricado con segmentos de cobre aislados entre sí y con respecto al eje por mica. Los segmentos o delgas tienen unas pequeñas ranuras las cuales sueldan a las bobinas del inducido. El eje gira apoyado en los cojinetes de los casquetes. Entre el inducido y las piezas polares existe un espacio denominado entrehierro, el cual sirve para evitar el rozamiento entre las dos partes y para que la fuerza del campo sea máxima.

Las escobillas son las que rozan sobre el colector, generalmente son fabricadas con grafito duro y se mantienen en su lugar por medio de las portaescobillas. Las escobillas pueden subir y bajar dentro de las portaescobillas para seguir las irregularidades de la superficie del colector. (Fig. 13).

La Carcasa.- A veces se le denomina "Yugo". Es el cimiento de la máquina ya que sostiene a todas las demás partes y sirve también para completar el campo magnético entre las piezas polares.

Los bobinados de Campo; suministran el campo magnético necesario para el funcionamiento de la máquina, debido a que forman electroimanes. Las piezas polares y los bobinados se les denomina comunmente "campo". En las máquinas industriales, el bobinado es alambre aislado arrollado de manera que encajen en forma ajustada alrededor de las piezas polares. Los bobinados de campo pueden ser conectados en serie o en paralelo. Los bobinados

de campo conectados en serie están compuestos por pocas espiras de alambre grueso y los bobinados de campo conectados en paralelo son muchas espiras de alambre delgado y así también de esta manera son identificados en diagramas eléctricos.

Las Portaescobillas.- Estan en una pieza de material aislante que sostiene las escobillas y sus conductores respectivos (Fig. 14).

Ahora que ya se conocen los fundamentos principales, es conveniente estudiar cuáles y cómo son las variaciones en las **dínamos**, por lo cual, se empezará a estudiar cuantos tipos de inducidos existen y en este caso son dos:

- a. Inducido de anillo
- b. Inducido de tambor

En el inducido de anillo el alambre se encuentra arrollado en un anillo delgado en forma uniforme y se encuentran conectados los extremos a las delgas del colector (Fig. 15).

El inducido de tambor es el que se usa en la actualidad, las bobinas aisladas se encuentran arrolladas en las ranuras de la armadura, las cuales se encuentran uniformemente espaciadas y conectadas al colector (Fig. 16).

Existen también dos diferentes tipos de bobinado del indu-

cido:

- a. Imbricado
- b. Ondulado

Uno de ellos, el imbricado se usa para grandes intensidades, ya que tiene muchos recorridos en paralelo dentro de la armadura, por lo tanto, necesita un gran número de polos y un número igual de escobillas (Fig. 17).

El otro, el bobinado ondulado se usa para grandes voltajes, solo cuenta con dos recorridos en paralelo, por lo tanto, solo necesitará dos escobillas (Fig. 18).

Ahora bien, es necesario profundizar el punto sobre los tipos de dínamos de corriente continua. Una fuente de tensión continua produce un campo constante aprovechable en la dinamo y se le llama a esta corriente de excitación y puede ser abastecida desde una fuente de tensión continua independiente, o bien, aprovechando la salida de corriente continua de la misma dinamo. Si es como el primer caso, se le denomina dinamo de excitación separada, mientras que si es el segundo caso se le llama dinamo de autoexcitación. En cada una de éstas, se emplean tres diferentes tipos de circuitos básicos de corriente continua: en serie, en derivación o "shunt" y en serie - paralelo "compound".

En las dínamos de excitación por separado se tienen dos

circuitos completamente independientes entre sí; el circuito de campo, que consiste en las bobinas de campo conectadas con una fuente de corriente continua separada, y el circuito del inducido, que consiste en las bobinas del inducido y en la resistencia de carga.

Las dinamos de autoexcitación utilizan parte de su propia salida para suministrar la corriente de excitación al campo.

DIFERENTES MODOS DE EXCITACION

Se estudiará a continuación los diferentes medios de producir la imantación de las piezas.

MAQUINAS MAGNETO - ELECTRICAS.- El procedimiento más sencillo consiste en emplear imanes permanentes; estas máquinas tienen muy poca potencia y solo se emplean para hacer funcionar timbres y en algunas aplicaciones médicas.

EXCITACION SEPARADA.- Los núcleos inductores están rodeados por carretes recorridos por una corriente producida por un generador ajeno a la máquina que puede ser una batería de acumuladores (Fig. 19) u otra dinamo, que recibe en este caso el nombre de **Excitatriz**.

Este modo de excitación, muy poco empleado para las máquinas de corriente continua, se utiliza generalmente para las má-

quinas de corriente alternas.

La (Fig. 20) representa esquemáticamente una máquina excitada de esta manera. Fig. 20-A

VARIACION DE LA DIFERENCIA DE POTENCIAL EN LOS BORNES, CON LA CATGA

Si se mantiene constante la excitación y la velocidad, la fuerza electromotriz, cuyo valor es:

$$E = \frac{N_n \phi}{10^8}$$

permanece invariable por ser constantes N y

Cuando la corriente producida por la máquina aumenta, la diferencia de potencial disminuye. En efecto, esta diferencia de potencial está dada por la relación:

$$(e + = E - I r) - \text{reacción del inducido}$$

en que E es constante, luego si la caída óhmica y la caída de tensión debida a la reacción del inducido aumentan e disminuye;

EXCITACION EN SERIE.- La corriente de excitación es la misma que produce la máquina cuando el circuito inductor está

en serie con el inducido y el circuito exterior (Fig. 21). y Fig. 21 A y B.

La (figura 22) representa una máquina excitada de este modo. Si r es la resistencia del circuito inductor e I la corriente producida, la potencia que absorbe el circuito y que se transforma en calor tiene por valor $r I^2$; es necesario, por consiguiente que r sea muy pequeña. Por esta razón el arrollamiento del inductor está formado por un corto número de espiras de hilo grueso. Fig. 22 A.

ARRANQUE DE LA DINAMO.- Si la máquina gira en círculo abierto, el flujo producido en el núcleo del inducido es debido únicamente al magnetismo remanente que subsiste en las piezas, polares, y la fuerza electromotriz es muy pequeña.

Como en este caso la máquina no produce ninguna corriente y por lo tanto no pasa por el circuito inductor, el flujo no puede aumentar y la fuerza electromotriz no crece a pesar de la rotación del inducido.

Unamos las escobillas a un circuito exterior y hagamos girar la máquina en un sentido tal, que la corriente en los inductores produzca un flujo que sea del mismo sentido que el flujo debido al magnetismo remanente. Si se disminuye poco a poco la resistencia del circuito exterior, se llegará a un valor para el cual se eleva el voltaje bruscamente: se dice que la máquina es-

ta CEBADA. El valor de esta resistencia exterior recibe el nombre de RESISTENCIA CRITICA.

Por consiguiente, una máquina excitada en serie tiene un sentido de rotación determinado, que es aquel en que la corriente producida aumenta el magnetismo rémanente, la máquina no se ceba sino estando cerrada sobre una resistencia interior a la resistencia crítica. Sin embargo, aunque esté cerrada en corto circuito, no se ceba si su velocidad no alcanza un cierto valor llamado VELOCIDAD CRITICA.

VARIACION DE LA DIFERENCIA DE POTENCIAL EN LOS BORNES CON LA CORRIENTE PRODUCIDA.- Se ha visto que la diferencia de potencial en los bornes de una máquina tiene por valor

$$e = E - rI - \text{pérdida de tensión debida a la reacción del inducido}$$

Supóngase que la corriente, poco intensa al principio, aumenta cada vez más; la corriente en la excitación y por consiguiente el flujo aumenta y la fuerza electro-motriz va elevándose. La caída óhmica rI en el inducido y la pérdida de tensión debida a la reacción del inducido aumentan al mismo tiempo.

Ahora bien, por ser la corriente poco intensa, el círculo inductor está poco saturado y, según se ha visto un pequeño aumento de corriente produce un gran aumento de flujo y, por consiguiente, de E . Este aumento es mayor que las caídas de tensión,

de modo que la diferencia de potencial aumenta al mismo tiempo que la corriente.

[†]SATURACION.- A medida que el campo aumenta, es decir, a medida que se eleva la inducción en el hierro, el efecto del hierro sobre el aumento del número de líneas de fuerza disminuye.

Por ejemplo, cuando el campo es igual a dos gauss, esto es, cuando está representado por dos líneas de fuerza por centímetro cuadrado, el hierro hace subir este número a cinco mil, es decir hace el campo dos mil quinientas veces más grande.

Si el campo no fuera de dos gauss, sino de doscientos, el hierro solo haría este número noventa veces mayor, esto es, lo elevaría a diez y ocho mil. Por consiguiente, se ve con toda claridad que el efecto del hierro va aumentando. Se expresa este hecho diciendo que el hierro se acerca a la saturación o se SATURA a medida que su inducción aumenta. Se saturaría completamente si no ejerciera ningún efecto sobre el aumento de líneas de fuerza del campo en que se encuentra, y en este caso su coeficiente de permeabilidad sería igual a I, y se tendría:

$$B = \mu H \quad \text{DONDE}$$

$$B = \text{Inducción}$$

$$\mu H = \text{Campo Primitivo}$$

Cuando la corriente alcanza un valor mayor, la inducción

en el circuito inductor aumenta: se sabe, que para un mismo incremento de la corriente, el del flujo y por consiguiente el de la fuerza electromotriz es menor, habiendo valores de la corriente I para los cuales el aumento de la fuerza electromotriz es igual a de las caídas de tensión; en estas condiciones, e permanece constante para los diferentes valores de I .

Por último, la corriente toma valores bastante grandes para que el circuito inductor se acerque a su saturación, en cuyo caso el flujo y por lo tanto la fem E no siguen aumentando sensiblemente al aumentar I , a partir de este instante, el aumento de las caídas de tensión es el que prevalece, y la diferencia de potencial disminuye cuando la corriente aumenta.

Estas variaciones de la diferencia de potencial en los bornes, con la corriente producida por la máquina se representa según la (figura 23.).

Se ve que sobre esta curva hay tres regiones correspondientes a tres valores distintos del regimen: de 0 a I_1 amperes, de I_1 a I_2 y de I_2 a I_3 .

Para los valores de I comprendidos en la primera región, la marcha de la máquina es inestable. En efecto, si por una causa cualquiera, una disminución de la resistencia exterior, por ejemplo, la corriente aumentará, el voltaje en los bornes de la máquina se elevaría lo cual haría que la corriente aumentase, de donde

se originaría un nuevo incremento de la diferencia de potencial y así sucesivamente. Si, por el contrario, la corriente disminuyera un poco, resultaría una disminución de la diferencia de potencial y por consiguiente una disminución de la corriente y así sucesivamente; la máquina se desceba instantáneamente.

En la segunda región la diferencia de potencial es constante, cualquiera que sea la corriente producida, pero el tiempo en que la máquina goza de esta propiedad es muy corto no pudiéndose pensar en utilizarla.

Se utiliza siempre la tercera región que corresponde a una marcha estable, por que si la corriente aumenta, por ejemplo, la diferencia de potencial disminuye y la intensidad no sigue aumentando, si la corriente disminuye, la diferencia de potencial se eleva y la máquina no se desceba.

REGULACION.— Las dinamos excitadas en serie se emplean generalmente en el caso en que se quiera mantener en un circuito de utilización una corriente constante, cualquiera que sea la potencia que se necesite. La regulación tiene por objeto hacer que aumente la diferencia de potencial en los bornes de la máquina, a medida que aumente la potencia que hay que obtener y de tal modo que la intensidad sea invariable.

Si el motor que mueve la dinamo es de velocidad constante, se hace la regulación por el flujo inductor o por el desvío de las

escobillas o por los dos medios a la vez.

Para actuar sobre el flujo inductor, no se puede obtener un reóstato en serie con el excitador, porque estaría también en serie con el circuito de utilización y haría aumentar su resistencia. Se pone el reóstato llamado REGULADOR DE INDUCCIONES en derivación sobre el circuito inductor. Cuando la potencia que se exige a la máquina pequeña, siendo constante la corriente, la diferencia de potencial es poco elevada. Luego se necesitará un flujo débil, o sea una corriente pequeña en la excitación. Para obtener este resultado es preciso que haya poca resistencia en el regulador de inducción.

A medida que la potencia pedida aumenta, es preciso aumentar la diferencia de potencial, y por consiguiente el flujo, para lo cual se añadirán más resistencias al regulador de inducción moviendo la manivela en sentido de la flecha F (Fig. 24).

También se puede actuar sobre el flujo, variando el número de espiras inductoras sin hacer variar la corriente de excitación. Para ello se separan las espiras inductoras en partes o secciones, cuyos extremos se unen a los contactos de un conmutador (Fig. 25).

EXCITACION PARALELO O EN DERIVACION.- El circuito inductor está en derivación en los bornes de la máquina, poniendo en paralelo el circuito de utilización; Las escobillas están unidas por una parte a los extremos de las espiras inductoras, y por otra parte a

los bornes del circuito exterior (Fig. 26).

La corriente I' producida en el inducido es igual a la suma de las corrientes, i e I , tomadas por la excitación y por la utilización respectivamente:

$$I' = I + i$$

La corriente i ha de ser débil, es decir, que el inductor ha de tener mucha resistencia, y como para tener una fuerza magnetomotriz suficiente es preciso compensar el pequeño valor de la corriente con un gran número de vueltas, el devanado inductor se forma con muchas espiras de hilo fino, la (Fig. 27) representa esquemáticamente una de estas máquinas.

Una máquina excitada de esta manera se ceba en circuito; basta darle una velocidad suficiente, pues obra como una máquina serie cerrada en corto circuito. Toda la corriente que produjo bajo la influencia del magnetismo remanente pasa por la excitación, luego puede reforzar el flujo primitivo girando en sentido conveniente.

En las máquinas muy potentes en que la excitación esta formada por un gran número de espiras arrolladas sobre núcleos de hierro de gran sección, la auto-inducción del circuito inductor es considerable. Esta auto-inducción se opone al aumento de la corriente y la máquina se ceba lentamente; por esta razón se pro-

cede ordinariamente de modo, cuando es posible, que la excitación se haga directamente, alimentando la máquina al ponerse en marcha por otra dinamo.

VARIACION DE LA DIFERENCIA DE POTENCIAL DE LA CORRIENTE PRODUCIDA.- Si la corriente producida aumenta, se produce un aumento de la caída de tensión en el inducido, lo cual hace bajar la diferencia de potencial entre las escobillas, disminuye y al mismo tiempo el flujo, y por consiguiente la fuerza electromotriz de la máquina.

Además, la reacción del inducido aumenta al mismo tiempo que la corriente, resultando por éstas tres causas, que la diferencia de potencial en los bornes, que es:

$$e = E - rI - \text{Pérdida de tensión, debida a la reacción del inducido}$$

disminuye. La curva que representa estas variaciones está en la (Fig. 28.).

REGULACION.- Estas máquinas se utilizan cuando se quiere alimentar un circuito con una diferencia de potencial constante. Es evidente que si en estas máquinas aumenta o disminuye la potencia que han de producir, la corriente sufrirá las mismas variaciones, por permanecer constante la diferencia de potencial.

Los aparatos de utilización, lámparas o motores, se ponen en

derivación con los conductores entre los cuales se quiere mantener la diferencia de potencial constante. Si el número de aparatos utilizados aumenta, la resistencia total del circuito exterior disminuye y la corriente se eleva; pero hemos visto que al mismo tiempo la diferencia de potencial disminuye; es preciso, pues, que vuelva a alcanzar su valor primitivo.

El procedimiento más sencillo y el más generalizado consiste en poner en serie con el circuito de excitación un **REGULADOR DE INDUCCION** (Fig. 29).

Cuando la potencia que se exige de la máquina es pequeña, la corriente producida es débil y todas las resistencias del reostato se ponen sobre la excitación. A medida que la corriente aumenta se suprimen resistencias moviendo la manivela en el sentido F, resultando que la corriente de excitación y la tem se elevan, de modo que se puede mantener invariable la d.d.p. entre las escobillas.

EXCITACION SERIE-PARALELO.— Una máquina con excitación **SERIE - PARALELO**, tiene dos devandos inductores, uno de hilo grueso en serie con el circuito exterior y otro de hilo fino en derivación entre las escobillas (Figs. 30, 31, 31-A, 32).

Si la corriente I en el circuito exterior aumenta, se produce un aumento de flujo por la excitación serie, lo cual hace elevar la diferencia de potencial entre las escobillas, mientras que el efecto de la.

excitación paralelo que ha visto que es bajar el voltaje cuando la corriente aumenta. Luego ésta doble excitación tiende a mantener constante la diferencia de potencial.

Estas máquinas se emplean cuando las variaciones de intensidad en el circuito exterior son muy bruscas, siendo imposible evitarlas con el regulador de inducción de una máquina en paralelo en este caso se encuentran las máquinas que alimentan la red de tracción. También se utilizan las instalaciones particulares de poca importancia, porque si se producen pequeñas variaciones de carga sobre el circuito de utilización, las variaciones de voltaje son despreciables, y no es necesario que haya constantemente una persona encargada de mantener por medio de un reostato el voltaje fijo; para conseguir esto se precisaría una máquina shunt, sobre todo para el alumbrado, porque las variaciones de voltaje, por muy pequeñas que sean, producen variaciones muy grandes en la intensidad luminosa de las lámparas.

Sin embargo, los valores extremos, entre los cuales puede variar la corriente I sin modificar el voltaje, están próximos entre sí, de modo que no se puede en general suprimir completamente la regulación; esta regulación se obtiene con un regulador de inducción en serie con la excitación en paralelo. (Fig. 33).

Estas máquinas no se deben utilizar en paralelo con una batería de acumuladores. En efecto, sea la utilización de esta clase representada en la (Fig. 34).

Supóngase que por una razón cualquiera, por ejemplo la disminución de velocidad del motor que acciona la dinamo compound, la fuerza electromotriz de esta máquina disminuye hasta hacerse inferior a la de la batería. Una corriente circulará en la máquina, viéndose que la corriente se encuentra invertida en la excitación serie, mientras que conserva su sentido primitivo en la excitación shunt. Puede suceder que el flujo debido a la excitación serie sea mayor que el producido por la excitación en paralelo, encontrándose los polos magnéticos de la máquina invertidos, y como ésta sigue girando en el mismo sentido, los polos eléctricos también se invierten. La dinamo y la batería están montadas en serie y cerradas en corto circuito, resultando una corriente considerable nociva para la máquina y la batería.

En la (Fig. 34) se indica con flechas de trazo continuo la corriente normal y con flechas de trazos la corriente cuando la F E M de la dinamo es inferior a la de la batería.

Cuando se vió la dinamo elemental de CC, aprendió que las escobillas están colocadas de manera que hacen corto circuito con la bobina del inducido cuando esta no atraviesa el campo magnético. En ese instante no hay flujo de corriente y, por lo tanto, no salta ninguna chispa en las escobillas (Fig. 35).

Si se desplazan las escobillas unos pocos grados, hacen corto circuito con la bobina cuando ésta atraviesa el campo. Como resultado, se producirá una tensión inducida en la bobina en corto

circuito y habrá un flujo de corriente de corto circuito que producirá una chispa en las escobillas. Esta situación no es conveniente porque la corriente del corto circuito puede deteriorar seriamente las bobinas y quemar el colector. Esto se remedia en el momento en que la bobina se mueve formando ángulo recto con el campo.

Los dinamos de corriente continua funciona con rendimiento máximo cuando el plano de la bobina está en ángulo recto con el campo en el instante en que las escobillas hacen corto circuito (Fig. 36.)

Considerando el funcionamiento de una dinamo simple bipolar de Corriente Continua (Fig. 37) en este esquema se ve el inducido, con el corte transversal de su bobina representado con dos pequeños círculos. Cuando el inducido gira en el sentido de las agujas del reloj, los lados de la bobina situados a la izquierda tendrán un flujo de corriente que sale del papel mientras que los lados de la derecha tendrán un flujo que entra en el papel. También aparece el campo generado en torno a cada uno de los lados de la bobina.

Se tienen por lo tanto dos campos: el campo que rodea a cada uno de los lados de la bobina y el campo principal. El campo del inducido desvía el campo principal modificando la línea neutra en el mismo sentido de la rotación. Si las escobillas permanecen en la línea neutra anterior las bobinas harán cortocircuito cuando se produce voltaje inducido en ellas por lo tanto, se pro-

ducirán arcos entre las escobillas y el colector de aquí que halla necesidad de ajustar las escobillas a la nueva línea neutra a esta acción del inducido se le denominó "REACCION DE INDUCIDO".

En máquinas grandes se utilizan recursos más complicados para eliminar la reacción de inducido como los polos auxiliares reduce a un mínimo los efectos de la reacción de inducido, estos tienen unas pocas espiras de alambre grueso conectado en serie con el inducido. (Fig. 38). El campo producido por los polos auxiliares anula la reacción de inducido para todos los valores de la corriente de carga. Los bobinados compensadores consisten en una serie de bobinas introducidas en ranuras situadas en las caras polares. Las bobinas están conectadas en serie con el inducido de manera que el campo generado por ellas anule los efectos de la reacción de inducido, a consecuencia de esto, la línea neutra permanece fija. (Fig. 39).

POENCIA MAXIMA DE UNA DINAMO.- Se llama potencia máxima de una dinamo al producto de su fuerza electromotriz por la corriente máxima que puede producir.

Considérese una dinamo cuya fuerza electromotriz E permanezca constante cualesquiera que sean las condiciones en que funcione, es decir, cualquiera que sea la corriente producida. Si esta corriente circula por un circuito exterior de resistencia R , su intensidad será en este circuito:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

siendo r la resistencia inferior de la dinamo. La potencia de la máquina (31 watts) alcanzará su valor máximo cuando I tenga el mayor valor posible, por consiguiente, esta potencia la ha de tener por límite,

$$E \times \frac{E}{r}$$

porque al disminuir R se tiene la corriente máxima

$$I \text{ max} = \frac{E}{r}$$

La potencia máxima resultante E^2/r sería muy grande, por ser r muy pequeña. Prácticamente, la potencia que se puede obtener es mucho menor, porque cuando se aumenta la intensidad, aumenta el calentamiento por efecto Joule en el inducido y llega un momento en que la temperatura puede entorpecer el buen funcionamiento de la máquina; el aislador que rodea los conductores se descomponen, el cobre puede volatilizarse y los conductores pueden romperse.

De aquí resulta que la potencia producida por una dinamo está limitada por el calentamiento del inducido. Consideremos un inducido devanado con un hilo cuyo diámetro sea tal que pueda soportar una corriente de I amperes sin calentarse excesivamente.

Hágase girar este inducido en el interior de una armazón bipolar; se sabe que en este caso el inducido está formado de 2 partes montadas en paralelo, y puesto que las espiras pueden soportar una corriente de I amperes, se puede sin peligro obtener una corriente $2I$ en el circuito de utilización, y la potencia máxima de la máquina será $2EI$ watts.

Supóngase que el mismo inducido gira en una armazón de cuatro polos que dan el mismo flujo útil por polo; se sabe que, para una misma velocidad la fem tendrá el mismo valor E que en la armazón bipolar. Pero el inducido está compuesto de 4 partes en paralelo y, como cada una de estas partes puede soportar la corriente I se podrá obtener en el circuito exterior una corriente $4I$, y la potencia de la máquina será $4EI$.

En general si el inducido gira en una armazón de $2p$ polos, la potencia que podrá dar la máquina será $2pEI$. Luego la potencia máxima de una máquina es proporcional al número de sus polos para un mismo inducido y a igualdad de flujo útil por polo.

MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

El funcionamiento de un motor es similar al de un generador solo que en sentido inverso es decir, en el generador la energía mecánica hace girar el inducido y éste, a su vez, produce al moverse energía eléctrica. En el motor la energía eléctrica hace girar el inducido y éste a su vez, acciona una carga mecánica a través de un sistema de transmisión mecánica consistente en engranajes. Para comprender el funcionamiento del motor de corriente continua es conveniente comenzar por el más elemental, o sea una bobina de una sola espira suspendida entre los polos de un imán.

Este principio se muestra en la (figura 1,) un alambre está doblado en forma de espira rectangular y colocado entre 2 polos magnéticos, los extremos del alambre están conectados con delgas del colector que a su vez hacen contacto con las escobillas tienen conductores que van a una fuente de corriente continua. En esta posición horizontal, el campo magnético resultante es deformado y fuerza a un alambre hacia abajo y al otro hacia arriba.

Se explicará este fenómeno de una manera más clara. La espira que tiene corriente está rodeado por un campo magnético, en la (figura 2,) el conductor está en reposo dentro de un campo magnético por lo tanto no se induce una F E M y no hay flujo de corriente. En la (fig. 3,) el conductor se mueve hacia

abajo dando como resultado una F E M inducida que produce flujo de corriente en el conductor. Como todo conductor que transporta corriente se rodea de un campo magnético y se establecerá este campo como se indica en la (figura 4.)

Las líneas de ambos campos se sumarán o se anularán produciendo campos resultantes más fuertes o más débiles, en la (figura 5) los 2 campos están en oposición y se anulan dando como resultante un campo magnético débil por encima del conductor. En la (figura 6) los campos magnéticos tienen en el mismo sentido y por lo tanto se suman.

Antes de continuar conviene hacer un resumen de todo lo anterior:

- a) El campo magnético "recto" que existe entre los polos del imán es deformado por el campo magnético circular que rodea al conductor.
- b) Se aplica una fuerza hacia abajo empujando el conductor.
- c) El campo deformado produce una fuerza hacia arriba.

pero como por debajo del conductor hay más líneas de flujo que por encima, el empuje hacia arriba es mayor y el conductor tien-

de a moverse hacia arriba, y este fenómeno es realidad la ley Lenz.



La F E M inducida que se forma en la espira de un motor elemental se llama fuerza contra - electromotriz (Fig. 7).

El colector juega un papel muy importante en el funcionamiento del motor de corriente continua ya que hace que la corriente de la espira cambia de sentido en el instante en que los polos contrarios se han colocado frente a frente, esto produce la inversión de la polaridad del campo.

En la armadura de bobinado múltiple, el arrollamiento hace las veces de una bobina cuyo eje es perpendicular al campo magnético principal y tiene la polaridad que aparece en el grabado. El polo norte del campo de la armadura o inducido es atraído por polo sur del campo principal. Esta atracción ejerce una fuerza de torsión en la armadura, que gira en el sentido de las agujas del reloj. Por lo tanto se mantiene una torsión constante y uniforme en la armadura debido al gran número de bobinas. Como las bobinas que están cerca entre sí son tantas, se produce en el inducido un campo resultante que parece permanecer estacionario. (Fig. 8)

Como por el inducido del motor circula corriente se producirá alrededor de las bobinas del inducido un campo magnético a raíz de esta corriente. Este campo del inducido deforma el campo magnético principal, pues el motor tiene "reacción de inducido" como la di-

namo. Sin embargo, en el motor el sentido de deformación producido por la reacción de inducido es exactamente opuesto al de la dinamo. En el motor, la reacción de inducido desvía la línea neutra en sentido contrario al de rotación (Figs. 9). Para compensar la reacción de inducido del motor se pueden desplazar las escobillas hacia atrás hasta reducir las chispas a un mínimo. Es este punto la bobina que hace cortocircuito con las escobillas se encuentra en la línea neutra y no se induce F E M en ellas. Además la reacción de inducido puede corregirse con bobinados compensadores y polos auxiliares, exactamente como en la dinamo de manera que la línea neutra siempre este exactamente entre los polos principales y no haga falta mover las escobillas una vez que han sido ajustadas debidamente.

El sentido de rotación del motor depende del sentido del campo y del sentido del flujo de corriente en el inducido. La corriente que circula por el conductor formará un campo magnético en torno a él. El sentido de este campo magnético esta determinado por el sentido del flujo de corriente. Si se coloca el conductor en un campo magnético, se ejercerá una fuerza sobre el conductor debido a la reacción de su campo magnético con el campo magnético principal. Esta fuerza hace que la armadura gire en cierto sentido entre los polos del campo. En el motor la relación entre el sentido del campo magnético, el sentido de la corriente en el conductor y el sentido en que el conductor tiende a desplazarse se expresa con la regla de la mano derecha para los motores.

Si se invierten el sentido del campo o el sentido del flujo de

corriente en la armadura, la rotación del motor se invierte también. Sin embargo, si se invierten los 2 factores que anteceden al mismo tiempo, el motor seguirá girando en el mismo sentido.

Por lo general el motor se construye para realizar un trabajo determinado que exige un sentido de rotación fijo. Sin embargo, a veces resulta necesario cambiar el sentido de rotación. Para ello se deben invertir las conexiones de la armadura o del campo pero nunca ambos. (Fig. 10).

Cuando las bobinas de la armadura cortan el campo magnético, induciendo un voltaje o fuerza electromotriz en esas bobinas. Dado que este voltaje inducido se opone a la tensión aplicada a las terminales se le llama "fuerza contra -electromotriz, esta depende de la velocidad el sentido de rotación y la fuerza del campo. Si la intensidad del campo, y la velocidad de rotación aumentan más grande será la fuerza contraelectromotriz, sin embargo ésta será inferior a la tensión aplicada, debido a la caída de voltaje interna ocasionada por la resistencia de las bobinas. (Fig. 10). Por lo tanto:

$$\text{FUENTE DE TENSION} = \text{CAIDA EN EL INDUCIDO} + \text{F CONTRA EM}$$

Lo que en realidad hace circular la corriente en las bobinas en la armadura es la diferencia entre la tensión aplicada al motor (E_a) y a la fuerza contraelectromotriz (E_c). Por lo tanto tendrá que aumentar. La resistencia de la armadura no ha

to $E_a - E_c$ es el voltaje real efectivo en la armadura, siendo este voltaje efectivo el que determina el valor de la intensidad de corriente de armadura. Como en general, de acuerdo con la Ley de Ohm $I = \frac{E}{R}$, en el caso del motor de corriente continua $I_a =$

$\frac{E_a - E_c}{R_a}$. Además, como de acuerdo con la Segunda Ley de Kirchhoff^{Ra} la suma de las caídas de voltaje en cualquier circuito cerrado tiene que ser igual a la suma de los voltajes aplicados, entonces $E_a = E_c + I_a R_a$.

La fuerza que desarrolla el motor para hacer girar cierta carga depende de la cantidad de corriente que el inducido forma de la línea. Cuanto más pesada sea la carga, mayor será la fuerza de torsión necesaria, más intensa tendrá que ser la corriente del inducido y menor la velocidad para que el motor pueda accionar la carga, el caso contrario sería, a una carga más liviana, menor será la fuerza de torsión necesaria, menos intensa tendrá que ser la corriente del inducido y mayor la velocidad para que el motor pueda accionar la carga. Dicho de otra manera la caída de tensión en la armadura ($I_a R_a$) y la fuerza contra - electromotriz (E_c) siempre tienen que sumarse para igualar la tensión aplicada (E_t) - $E_t = I_a R_a + E_c$. Como el voltaje aplicado (E_t) es constante, la suma de la caída de voltaje y de la fuerza contra - electromotriz ($I_a R_a + E_c$) también tiene que ser constante. Si se aplica una carga más pesada al motor, este disminuye su velocidad. Pero esta disminución de velocidad reduce a su vez la fuerza contra - electromotriz, que depende de ella. Como $E_c + I_a R_a$ es constante, y dado que E_c ha disminuído, entonces el valor de $I_a R_a$

variado y, por lo tanto, tiene que haber aumentado la intensidad en la armadura. Esto significa que la torsión desarrollada es mayor y que el motor puede accionar la carga más pesada a menor velocidad. Por lo tanto, la velocidad del motor de Corriente continua depende de la carga que mueva.

La velocidad de rotación del motor de Corriente Continua depende de la intensidad del campo y del voltaje en el inducido. Es decir si se disminuye la fuerza del campo el motor debe aumentar su velocidad para mantener el valor de la fuerza contra - electromotriz que corresponde. Si se abre el circuito de campo, solo queda magnetismo remanente y la velocidad del motor aumentará peligrosamente tratando de mantener la fuerza contra - electromotriz necesaria para oponerse a la tensión aplicada. La velocidad del motor puede graduarse regulando la fuerza del campo con un reostato de campo (Fig. 11) o bien regulando el voltaje aplicado al inducido con un reostato en serie con el inducido. El aumento de la resistencia en el circuito del inducido tiene el mismo efecto que la disminución del voltaje aplicado al motor, que es el de disminuir la velocidad. El aumento de la resistencia del circuito de campo disminuye la corriente en él, y, por ende, la fuerza del campo. La menor fuerza de campo hace que el motor gire con mayor velocidad para mantener la misma fuerza contra - electromotriz.

- a) Motores de corriente continua en derivación.
- b) Motores de corriente continua en serie.
- c) Motores de corriente continua (compound).

Los motores en derivación se emplean en casos en los cuales se desea velocidad constante bajo carga variable, esto se debe a lo siguiente: en esta clase de motores la variación de velocidad desde carga cero hasta carga normal es solo el diez por ciento con respecto a la velocidad sin carga o "en vacío". Haciendo esto más explícito en estos motores, el campo está conectado directamente con la línea de alimentación, siendo independiente de las variaciones de carga y de la corriente en el inducido. La fuerza de torsión o "par motor" desarrollado varía con la intensidad de corriente en el inducido. Si la carga del motor aumenta, el motor disminuye su velocidad, reduciendo la fuerza contra - electrodinámica permitiendo que aumente la intensidad de la corriente en el inducido y aumentando el "par motor" desarrollado. Siempre que se modifica la carga, la velocidad varía hasta que el motor recupere su equilibrio eléctrico, o sea hasta que $E_c + I_a R_a = E_t$. A un motor de esta clase se debe conectar una resistencia de arranque en serie con el inducido para limitar la corriente en el inducido hasta que la velocidad llegue a producir la fuerza contra - electrodinámica necesaria. Como la corriente de arranque es débil a esta mayor resistencia, el "par de arranque" será también débil.

(Fig. 12).

MOTORES EN SERIE.— Estos son de velocidad variable, es decir su velocidad se modifica mucho al variar la carga. En esta clase de motores el campo está conectado en serie con el inducido y con la carga (Fig. 13). Esta bobina consiste en unas pocas espiras de alambre grueso por donde pasa toda la corriente del inducido. El motor en serie gira con mucha lentitud con car-

gas pesadas, y a gran velocidad con carga liviana. Si se suprime por completo la carga, el motor adquiere velocidad peligrosa y puede romperse porque la corriente requerida es muy pequeña y el campo muy débil, de manera que toda velocidad que adquiriera no basta para producir el valor necesario de fuerza contra - electromotriz para restablecer el equilibrio. De aquí que estos motores se empleen cuando se necesita una velocidad de funcionamiento constante y nunca en los casos en donde la carga es intermitente.

El par motor desarrollado por cualquier motor, depende de la corriente del inducido y de la fuerza del campo. En los motores en serie la fuerza del campo mismo depende de la intensidad de corriente en el inducido de manera que el "par motor" desarrollado depende doblemente de la intensidad de la corriente en el inducido. Si la carga aumenta, el motor disminuye su velocidad y la fuerza contra - electromotriz disminuye, lo cual permite un aumento de intensidad dando lugar a un mayor "par motor". Se dice entonces que el motor en serie tiene mucho "par de arranque". Existen operaciones en las cuales se requiere gran "par de arranque" y la gran aceleración que esta imprime, tales como grúas, malacates eléctricos, trenes y tranvías eléctricos.

(Sistema de serie)

MOTORES COMPOUND.- Esta clase de motores tiene una excelente fuerza de arrastre en cargas pesadas y buen par de arranque con velocidad bastante constante (Fig. 14) consistente en una combinación de motor en serie y en derivación. El campo consiste en dos juegos de bobinas separados, uno es de muchas es-

piras de alambre fino conectadas con el inducido como campo en paralelo, el otro consiste en pocas espiras de alambre grueso conectado en serie con la armadura como campo en serie. En el motor compound el aumento de la carga disminuye la velocidad e incrementa considerablemente el par desarrollado. En el motor compound diferencia el campo en serie se opone al campo en paralelo y el campo total sufre un debilitamiento cuando aumenta la carga, pero hasta cierto punto. El "par de arranque" es muy pequeño. El motor compound diferencial se emplea raras veces.

En la (Fig. 15) se encuentran graficadas las curvas características de los motores de corriente continua. Se observa que la velocidad del motor en derivación varía muy poco al aumentar el "par motor" debido a un aumento de la carga. Por otra parte, la velocidad del motor en serie disminuye considerablemente cuando aumenta el "par motor". En la figura 16 se ve la forma en que varía el "par" según la intensidad de corriente en el inducido para distintos motores de igual potencia en caballos. La curva del "par Motor" del motor en derivación es una línea recta porque el campo permanece constante, y el "par" es directamente proporcional a la intensidad de funcionamiento, normal, el "par" es mucho mayor que en el motor en derivación. Por debajo de la intensidad correspondiente a plena carga la fuerza de campo de las máquinas en serie y compound no alcanza su valor completo y, por lo tanto, el "par" desarrollado es menor que la máquina en derivación.

MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Los motores de corriente alterna se clasifican en 2 grandes categorías:

- I) - Motor sincrónico de corriente monofásica y polifásica
- II) - Motor asincrónico

1.- Motores asincrónicos polifásicos de inducción

- a) De jaula o de doble jaula de ardilla
- b) De anillamiento

2.- Motores asincrónicos monofásicos de inducción

3.- Motores asincrónicos polifásicos con colector

- a) Motor serie
- b) Motor paralelo

4.- Motores asincrónicos monofásicos con colector

- a) Motor Universal (funciona igualmente con Corriente Continua)
- b) Motor serie
- c) Motor Repulsión

5.- Motores asincrónicos sincronizados

La construcción de los diferentes motores varía según el uso a que estén destinados, su modo de ventilación, su grado de protección y la temperatura del medio ambiente, se toma muy en cuenta también la protección que tienen estos motores ya que depen-

diendo de la ubicación y la utilización que se requiera se van a proteger de la siguiente manera:

- 1) **ABIERTO.**- No hay protección especial en las partes bajo tensión o movimiento.
- 2) **SEMI- PROTEGIDO.**- Los arrollamientos están protegidos contra choques por la disposición de los cojinetes y la armazón.
- 3) **ARRIGADO.**- Los orificios del motor están provistos de dispositivos que no permiten la penetración del agua.
- 4) **PROTEGIDO.**- Las piezas móviles están sustraídas a contactos involuntarios de personas y son difícilmente accesibles.
- 5) **ENREJADO.**- La ventilación que reciben estos motores están obturados por lumbrenas y claraboyas no se toma precaución para el agua.
- 6) **ABRIGADO- ENREJADO.**- Es un motor cuyos orificios están obturados por dispositivos de claraboya. El agua y los cuerpos sólidos de todas dimensiones que caigan verticalmente no penetran en la máquina.
- 7) **PROTEGIDO- ENREJADO.**- En esta máquina se encuentran obturados sus orificios por dispositivos de claraboya.
- 8) **CERRADO.**- En esta clase de máquina las aberturas están obturadas por tapaderas que impiden, sin que la máquina sea absolutamente hermética, el cambio de aire entre el interior de la misma y el medio circundante, salvo la comunicación por las juntas. Una máquina cerrada puede

contar, sin embargo, con boquillas de aspiración o expulsión en conexión con diversas canalizaciones y que permiten enfriarla por medio del aire tomado fuera del medio.

9) ESTANCO.- Se llama así porque todas las juntas están estudiadas de manera que se evite la penetración en su interior del agua o polvo. Según el grado de hermeticidad y la naturaleza del fluido se distinguen los siguientes tipos:

- a) Máquinas estancas al polvotino
- b) Máquinas estancas al chorro
- c) Máquinas estancas a la inmersión
- d) Máquinas estancas a los gases y vapores

10) ANTIDEFIACRANTE.- Estas están construidas de tal manera que impide la propagación al exterior de las explosiones que en su interior puedan producirse y pueden ser dos tipos:

- a) Ya sea cerradas por una envoltura bastante resistente para poder soportar la explosión de la mezcla detonante.
- b) Máquinas en las que la comunicación entre el interior y el exterior se efectúa mediante dispositivos de seguridad.

MOTORES SINCRONICOS

Los motores de corriente continua se obtienen gracias a la reversibilidad de las dinamos, del mismo utilizando la reversibilidad de los alternadores se obtienen los motores sincrónicos. Según si los alternadores sean monofásicos, o polifásicos, los motores sincrónicos serán monofásicos o polifásicos.

MOTOR SINCRONICO MONOFASICO.- En esta clase de motor es conveniente señalar que el circuito inductor o rotor es móvil, y el circuito inducido o estator es fijo. Se envía corriente continua a los inductores y corriente alterna monofásica al inducido (Fig. 17).

Las polaridades de los inductores son por tanto fijas, las de las bobinas inducidas cambian con la frecuencia de la corriente. Supongase que en un instante dado, las polaridades de los dos órganos (rotor y estator) sean las indicadas en la (Fig. 17). El polo norte N_1 , y atraerá al polo Sur S_2 , del inductor móvil resulta así una rotación de este último en el sentido de la flecha.

Si la velocidad del inductor es tal que después de cada cambio de polaridad del inducido, un polo norte del inductor se encuentra situado de tal manera que tenga a su izquierda un polo norte inducido y a su derecha un polo sur inducido, el volante que lleva los núcleos inductores continuará girando en el mismo sentido con una velocidad rigurosamente constante que se llama velocidad de sincronismo, de aquí que se les de el nombre de motores sincronicos a esta clase de

motores.

Esta clase de motor no puede arrancar por sí solo debido a la inercia de la parte móvil (inductor), los polos inducidos habrán cambiado de polaridad antes de que haya arrancado el inductor. Por lo tanto se necesita arrastrar el rotor a la velocidad de sincronismo por medio de un motor auxiliar colocado en el extremo del árbol, por ejemplo. Una vez obtenida la velocidad de régimen, se pone el estator en circuito con la corriente continua, se suprime el motor auxiliar y se da carga progresivamente.

MOTORES SINCRÓNICOS POLIFÁSICOS.— Las propiedades de estos motores son sensiblemente las mismas que las de los motores sincrónicos monofásicos. No obstante, los motores de potencia media pueden arrancar solos como asíncronos, por consecuencia de las corrientes de Focault. Cuando la velocidad está muy próxima a la de sincronismo se alimentan los inductores.

MOTORES ASINCRONICOS

Considerese un imán en forma de herradura que gira alrededor de un eje XX^1 (Fig. 18). En un punto O del espacio, obtenemos un campo magnético variable en dirección, que gira alrededor de este punto a la velocidad del imán. Una aguja imantada situada en O, y lanzada en el sentido de rotación del imán, será arrastrada a la velocidad del campo giratorio. Es el principio de los motores sincrónicos de campo giratorio. Si se substituye la aguja por un disco metálico de

cobre, en este último tendrán lugar corrientes de Foucault y según la Ley de Lenz estas corrientes inducidas tenderán a oponerse al movimiento relativo, y el disco girará en el mismo sentido que el inán, siendo este el principio de los motores asincrónicos de campo giratorio-.

Con las corrientes polifásicas se va a ver que es inútil arrastrar el sistema inductor para producir campos giratorios. Sean tres bobinas A, B, C recorridas por corriente trifásica (Fig. 19), si colocamos una aguja imantada en el punto central, se encontrará arrastrada a la velocidad de una vuelta por período. En resumen todo cuerpo metálico móvil alrededor de un eje situado en un campo giratorio, se pone a girar en el sentido del campo este es el principio de los motores asincrónicos. El motor asincrónico arranca por sí solo.

La constitución de un motor asincrónico comprende:

- 1) El estator o inductor, que es análogo al estator de un alternador polifásico.
- 2) El rotor o inducido compuesto de una masa metálica en la que se producen las corrientes inducidas, existiendo dos tipos de rotores:
 - a) Rotor de Jaula de Ardilla. En cortocircuito.

Está formado por 2 coronas de cobre unidas por barras también de cobre. El interior de la Jaula así formada está lleno de discos de chapa ais-

lados, para aumentar la intensidad del campo magnético. Para un buen arranque, el número de barras debe ser diferente del número de polos del estator (Fig. 20).

b) Rotor bobinado o de anillos.

Se compone de un cilindro formado por discos paralelos contiguos y aislados, pero provisto de ranuras para recibir un arrollamiento, generalmente trifásico y esto cualquiera que sea el número de fases del estator. Este devanado se cierra sobre si mismo por intermedio de un reostato de arranque (Fig. 21).

MOTOR ASINCRONICO TRIFASICO.- Los motores eléctricos trifásicos tienen inductor bobinado en triángulo o en estrella. Se puede también modificar el agrupamiento de los 3 devanados (uno por fase) sin cambiar el funcionamiento del motor. En efecto, el campo giratorio creado por los inductores de produce indiferentemente, ya con el montaje en estrella, ya con el montaje en triángulo. Solamente la tensión de alimentación nos impone el montaje a emplear.

Cuando la tensión de la red es de 127 voltios, debemos necesariamente emplear el agrupamiento de las fases en triángulo puesto que entre los hilos existe una tensión de 127 voltios. Mientras que el

agrupamiento en estrella será adoptado para una tensión de alimentación de 220 voltios.

MOTOR ASINCRONICO MONOFASICO.- Esta clase de motores tienen un estator con un arrollamiento, y no pueden arrancar solos, desde el momento que no existe producción de campo giratorio. No obstante, si se da al rotor un fuerte impulso a mano, por ejemplo, continuará funcionando en el sentido en que haya sido lanzado, siempre que se le alimente.

Los motores asincrónicos monofásicos se utilizan en las redes monofásicas pueden funcionar entre 2 fases o entre fase y neutro de una red trifásica. No obstante, en este último caso, se limita su utilización a potencias no superiores a 500 vatios, para que la red no experimente un fuerte desequilibrio.

MOTOR POLIFASICO CON COLECTOR.- Este se compone de un estator idéntico al de un motor asincrónico de inducción de corriente polifásica y de un rotor semejante al de un motor de corriente continua. Un colector montado sobre el rotor comprende tres escobillas desfasadas en 120° . El estator está alimentado por corriente trifásica, por ejemplo crea un campo giratorio. En el inducido, compuesto de tres devanados por el juego de escobillas, nace un segundo campo giratorio con aparición de un par motor. Tal es el principio de los motores polifásicos con colector.

Estos motores son de dos tipos: serie o paralelo según el inducido este montado en serie o en derivación o paralelo con el in-

ductor. Los motores obtenidos así tienen propiedades comparables a las de los motores serie o paralelo de corriente continua.

MOTOR SERIE.— Las principales características de este motor son las siguientes (Fig. 22):

- a) Velocidad variable por el desfase de las escobillas
- b) Velocidad variable con la carga
- c) Tendencia a dispararse al disminuir la carga.

Si la tensión de alimentación es superior a 110 voltios, es necesario rebajar la tensión en el colector. A este efecto, se utiliza un transformador reductor (Fig. 23).

MOTOR EN DERIVACION.— Las características de este motor son las siguientes (Fig. 24):

- a) Velocidad constante
- b) No se dispara en vacío.

MOTORES MONOFÁSICOS CON COLECTOR

Primero se verá el motor serie, que marcha indiferentemente con corriente continua o con corriente monofásica. Es el llamado "motor universal".

Motor de repulsión.— Es un motor con colector cuyo inductor

está alimentado por corriente monofásica. El inducido se pone en cortocircuito mediante un conductor grueso conectado a las dos escobillas.

Para que funcione este motor, debe ser inclinada la línea de las escobillas con relación a la línea neutra de una máquina de corriente continua, es decir, que no se encuentre ni sobre la línea neutra ni sobre la línea de los polos. Los campos de las corrientes inductora e inducida reaccionan uno sobre otro; lo que da lugar a la creación de un par que hace girar el inducido.

MOTOR UNIVERSAL.— Este motor se compone de una carcasa de chapa de acero dulce que soporta los polos inductores, sobre la carcasa se fijan las gualderas donde van los cojinetes donde van los cojinetes en los que gira el inducido. El árbol del inducido lleva una polea de garganta que se puede colocar a la derecha o a la izquierda según el sentido de rotación.

POTENCIA DE LOS MOTORES DE CORRIENTE ALTERNIA.— Se tienen que considerar dos potencias: la potencia absorbida por el motor y la potencia útil disponible en la polea. La relación de ésta a la primera es el rendimiento (Fig. 25).

$$\text{RENDIMIENTO} = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia absorbida}}$$

Las fórmulas fundamentales que dan la potencia absorbida por las motores asíncronos son las siguientes:

Si se designa por I la intensidad en amperios en el estator
y por U la diferencia de potencial en voltios entre fases.

1o. Con corriente monofásica: Potencia absorbida = $UI \cos \varphi$

2o. Con corriente bifásica a 4 hilos (dos circuitos separados):

Potencia absorbida = $2UI \cos \varphi$

3o. Con corriente bifásica trifilar: $P = \sqrt{2} U_i \cos \varphi$

4o. Con corriente trifásica: Potencia absorbida = $\sqrt{3} UI \cos \varphi$

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Fundamentos de Ingeniería Eléctrica .
A.D. Fitzgerald y David E. Higginbotham
Traducción al español publicada por ediciones Castilla S.A.
- 2.- Elementos de Electricidad Industrial. (5 tomos)
P. Roberjot
Traducción al español publicada por Ed. Gustavo Gili S.A.
- 3.- Electricidad Industrial. (2 tomos)
Chester L. Dawes
Traducción al español publicada por Ed. Reverté S.A.
- 4.- Electricidad .
Wilhelm Hille y Otto Schneider
Traducción al español publicada por Ed. Labor S.A.
- 5.- An introduction to Electrical Engineering
Allen E. Durling
The Macmillan Company Ltd.
- 6.- Electrical Engineering Theory and Practice
William H. Erickson
Ed. J. Wiley
- 7.- Electricity and Magnetism
Oxford Clarendon Ed.
Bleaney and Petty Isabelle
- 8.- Motores Eléctricos Reparación y Bobinado
E. Bonnafous
Ed. Gustavo Gili
- 9.- Transformadores Industriales Reparación Diseño y Construcción
Pedro Camarena
Ed. Porrúa
- 10.- Electricidad y Magnetismo
Francis V. Sears
Ed. Aguilar

11.- Física Moderna

H. T. White
Ed. UTEHA

12.- Ingenieria Eléctrica

William Fyfe and Mott
Mc. Craw Hill

TRANSFORMADORES

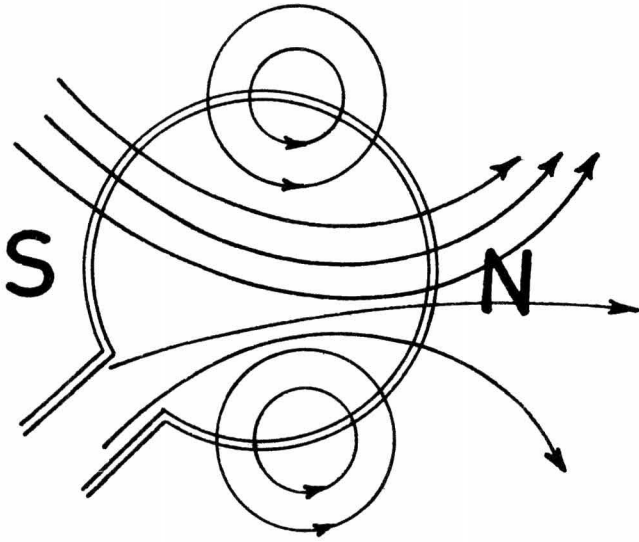


FIG. No. 1
SOLENOIDE DE UNA ESPIRA

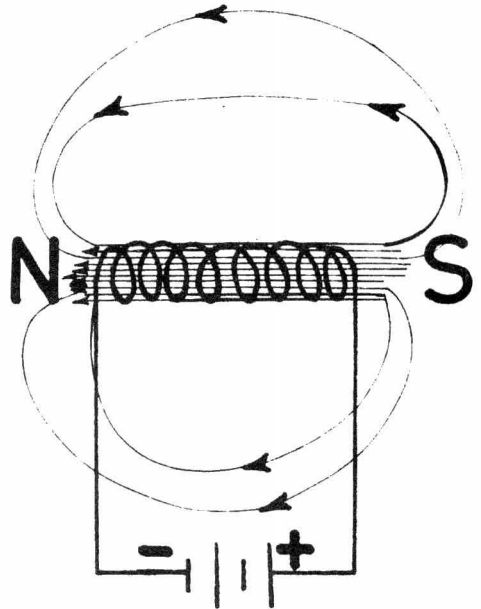
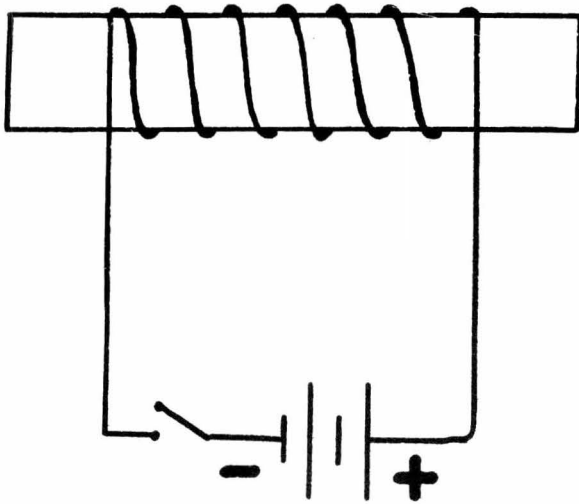


FIG. No. 2
SOLENOIDE DE VARIAS ESPIRAS



NO HAY CAMPO

FIG. No. 3

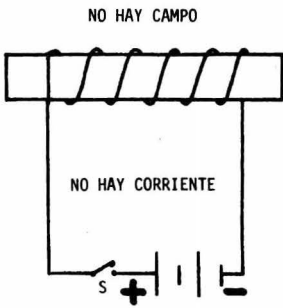


FIG. No. 4

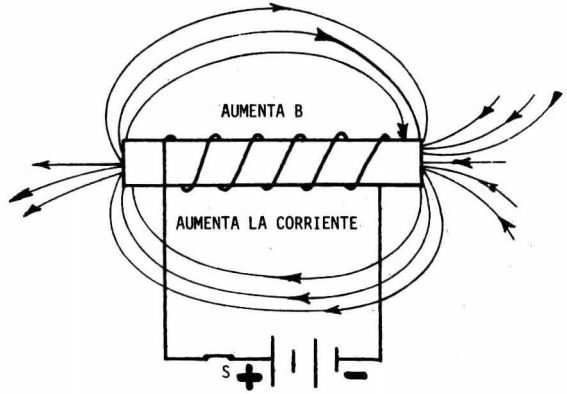


FIG. No. 5

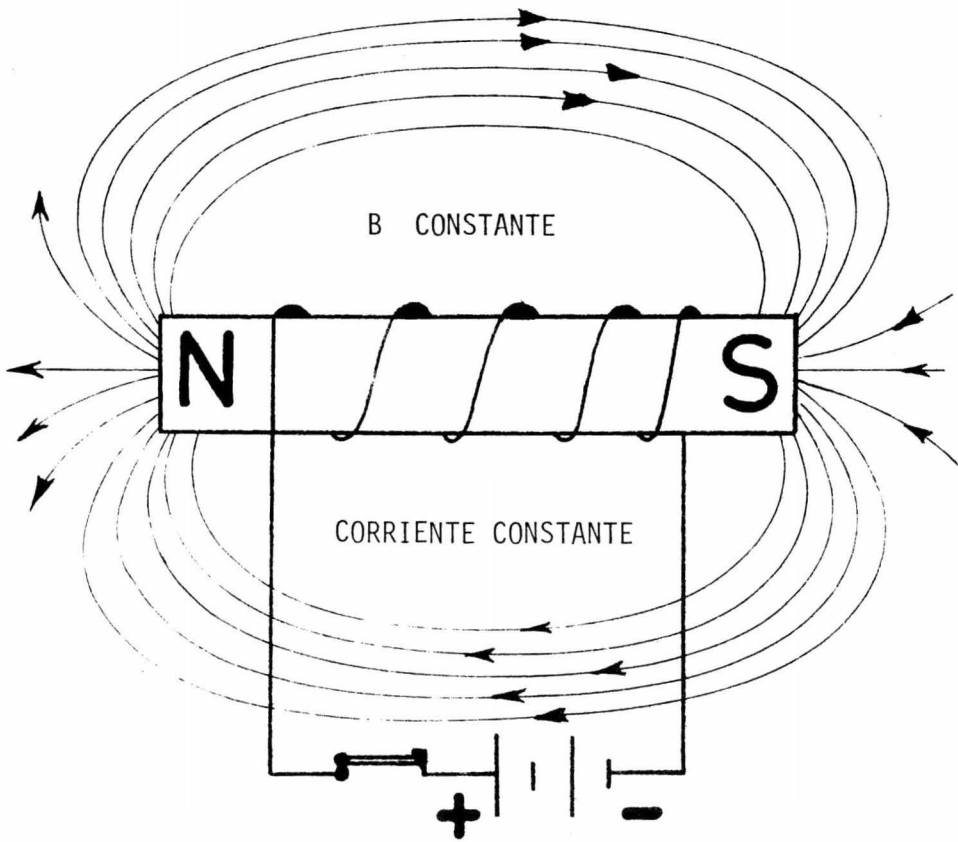


FIG. No. 6

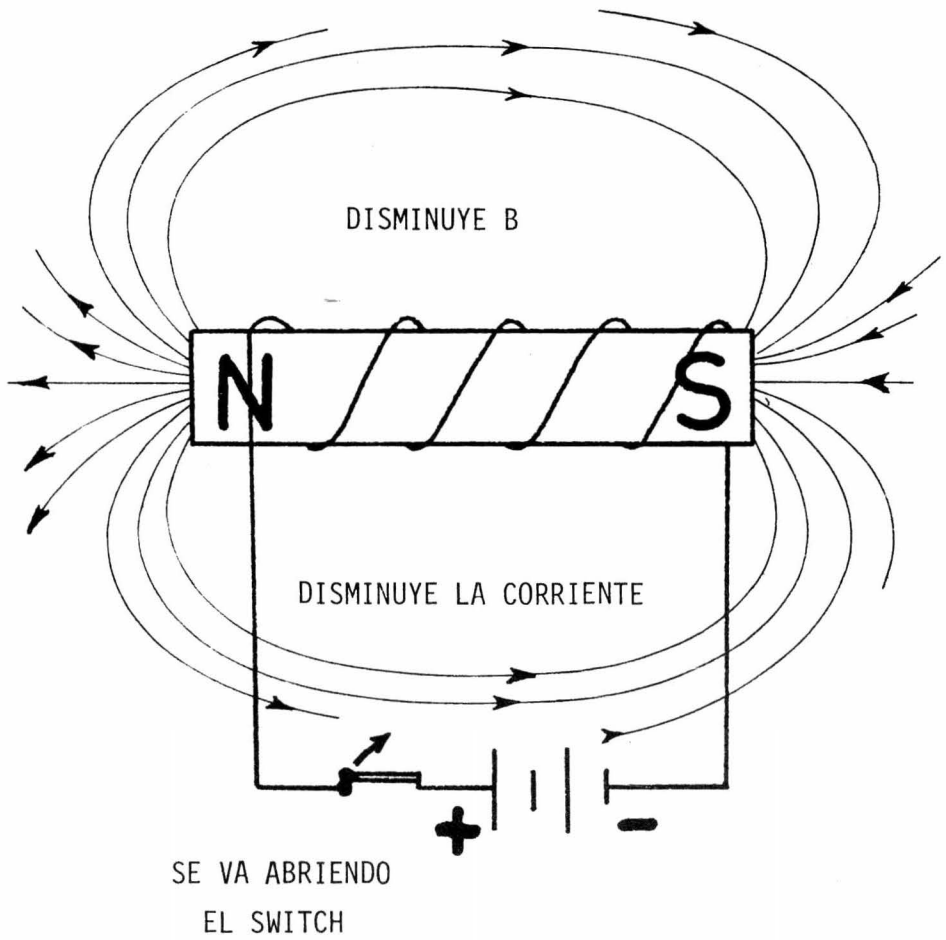


FIG. No. 7

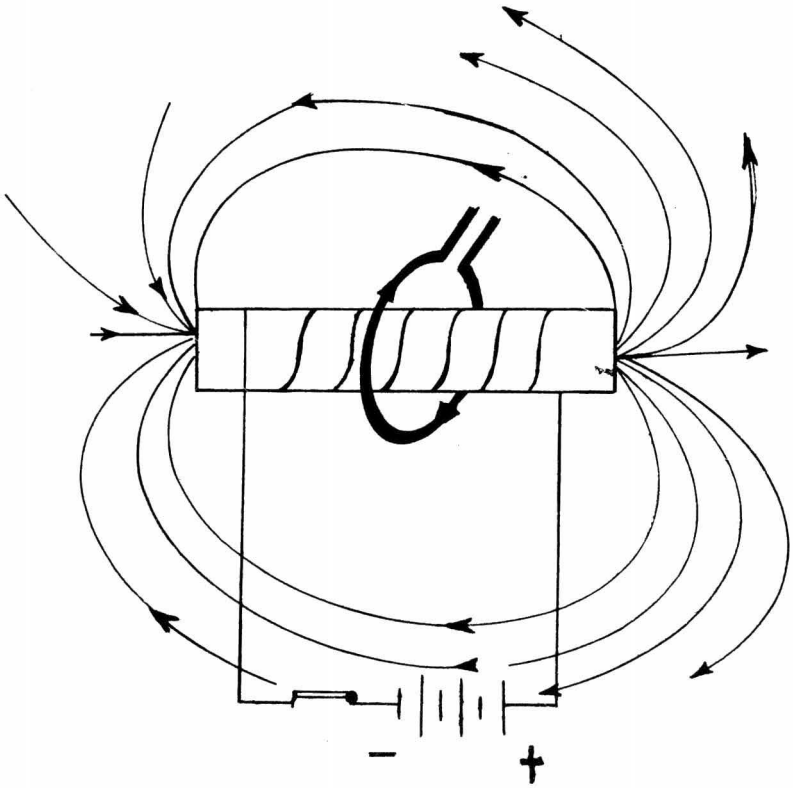
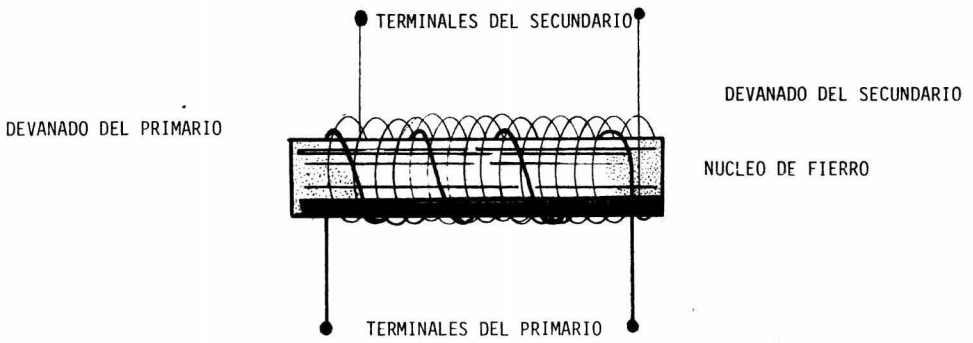
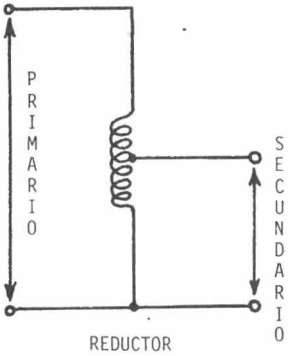


Fig. 8
ESQUEMA DE UNA C.E.



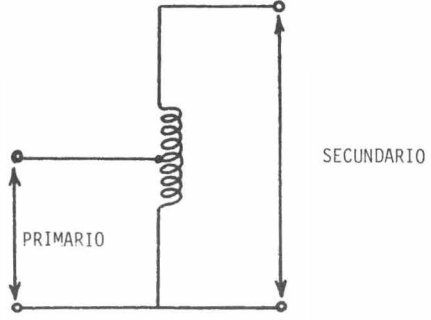
ESQUEMA DE UN TRANSFORMADOR DE NUCLEO ABIERTO

FIG. No.9



REDUCTOR

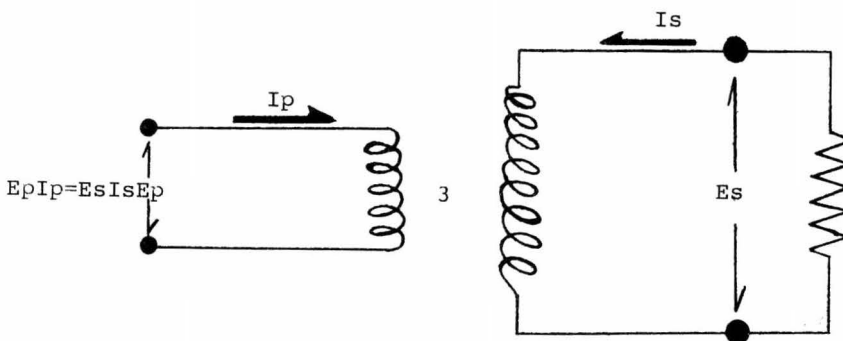
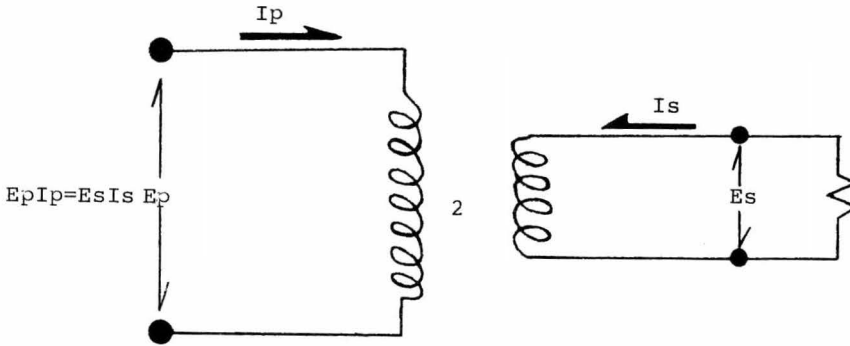
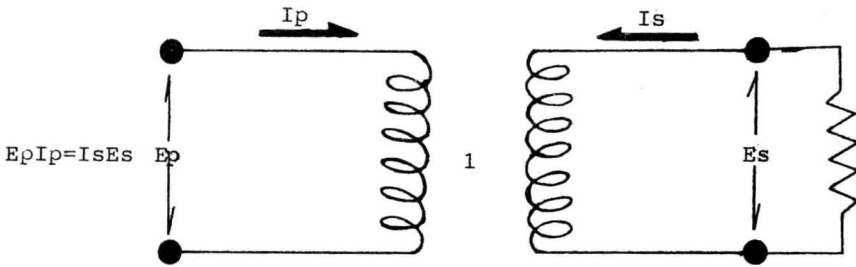
FIG. No. 11



ELEVADOR

FIG. No.10

FIGURA 12



10. Voltaje medio, igual Intensidad, sin transformador reductor y elevado.
20. Voltaje bajo, gran intensidad, transformador reductor.
30. Voltaje alto, poca intensidad, transformador elevado.

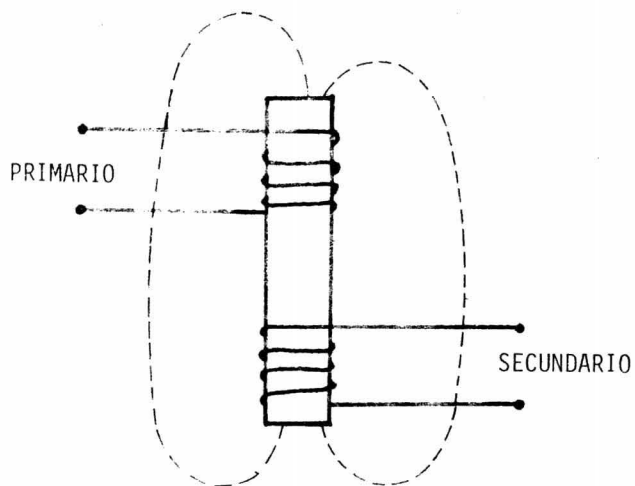


FIG. No. 13

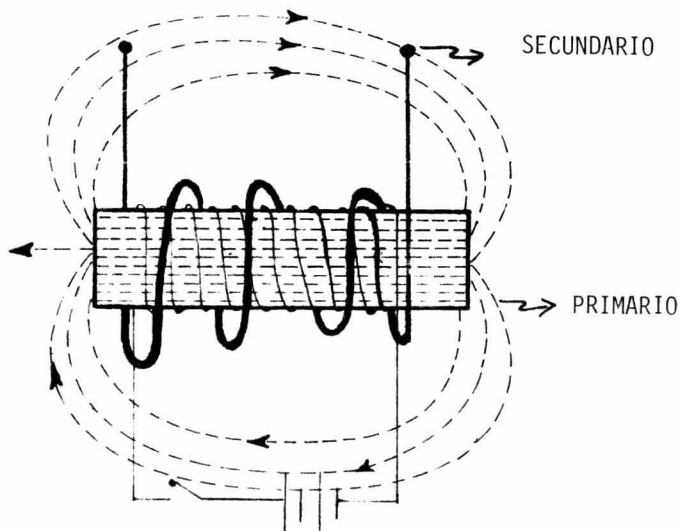


FIG. No. 14

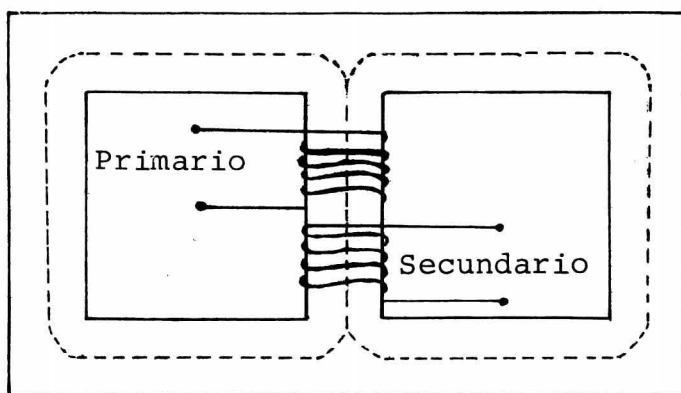


Fig. 15

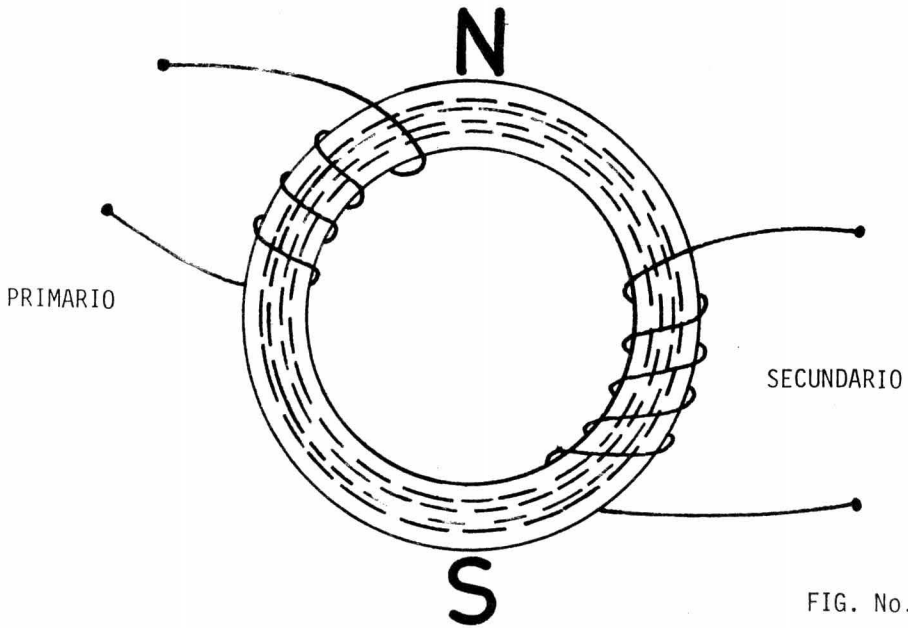


FIG. No. 16

NUCLEO CERRADO

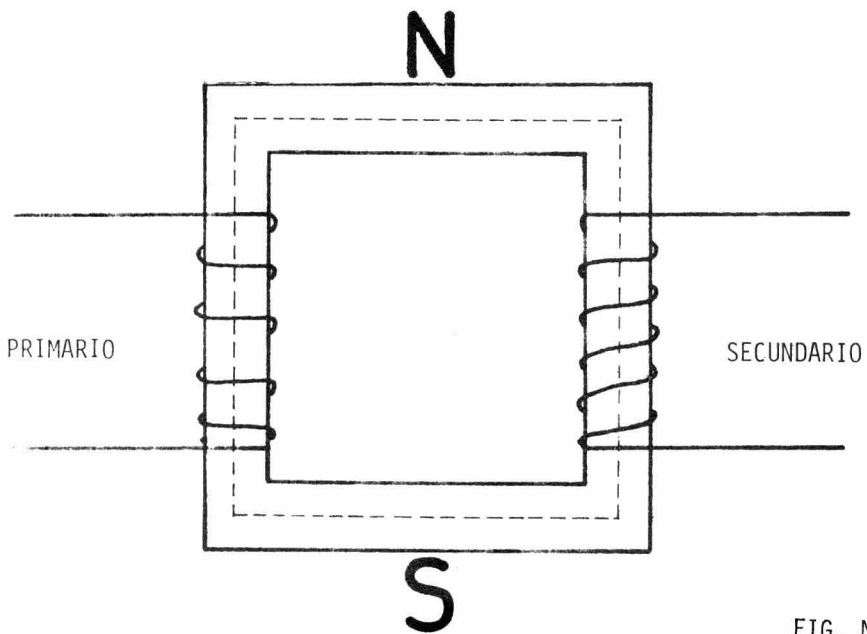


FIG. No. 17

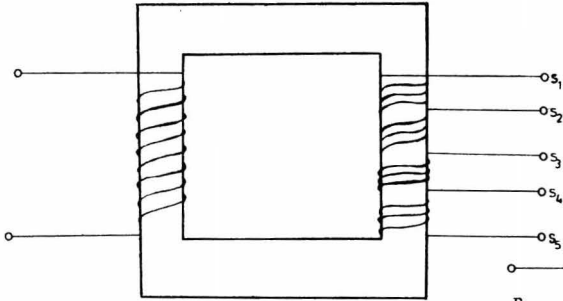


FIG. 18

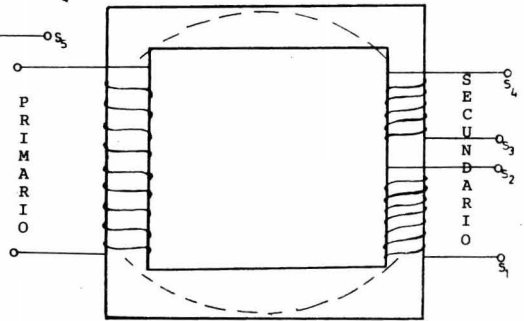
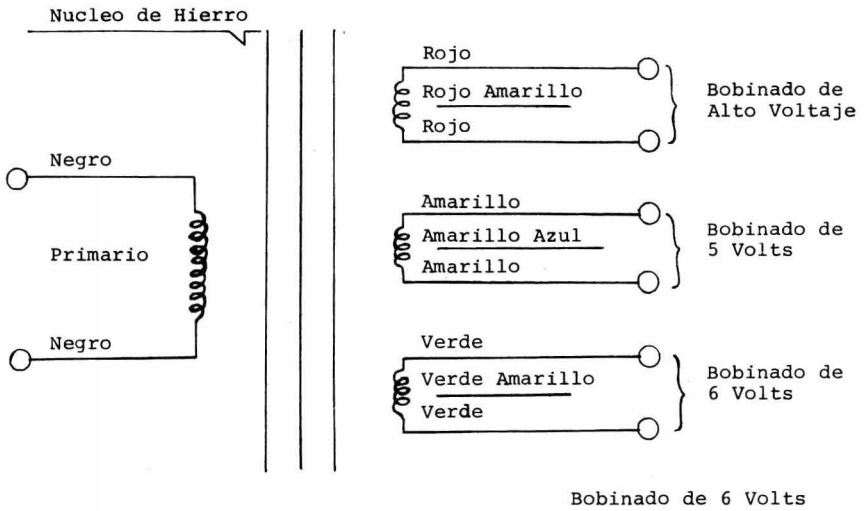


FIG. 19



Bobinados Secundarios
 TRANSFORMADOR MULTIPLE

Fig. No. 20

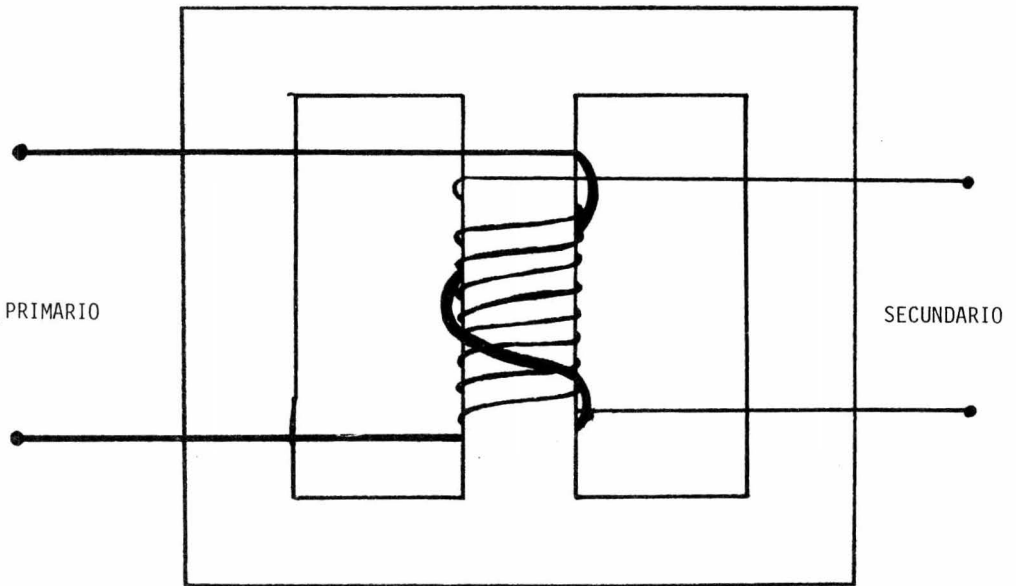
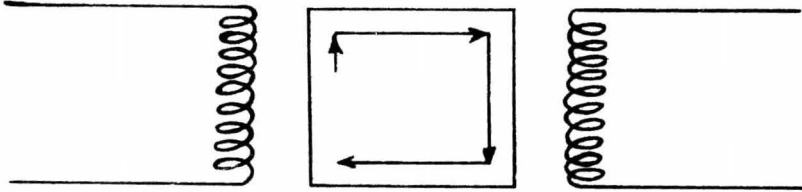


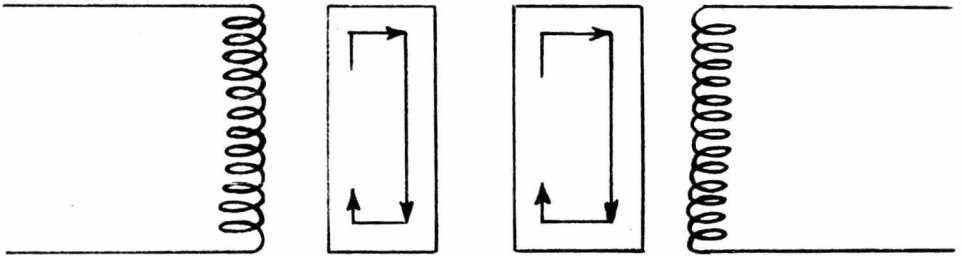
FIG. No. 21

Nucleo Sólido



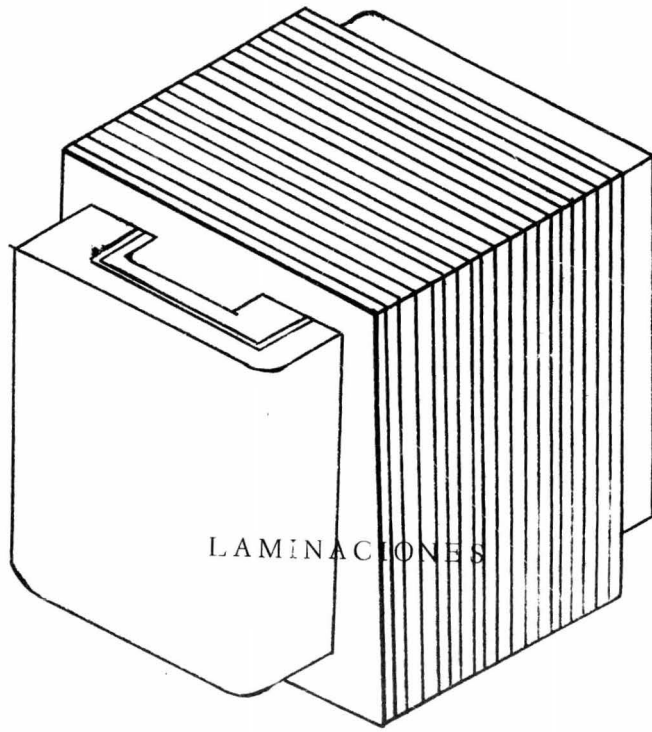
Más corriente parásita

Nucleo Laminado



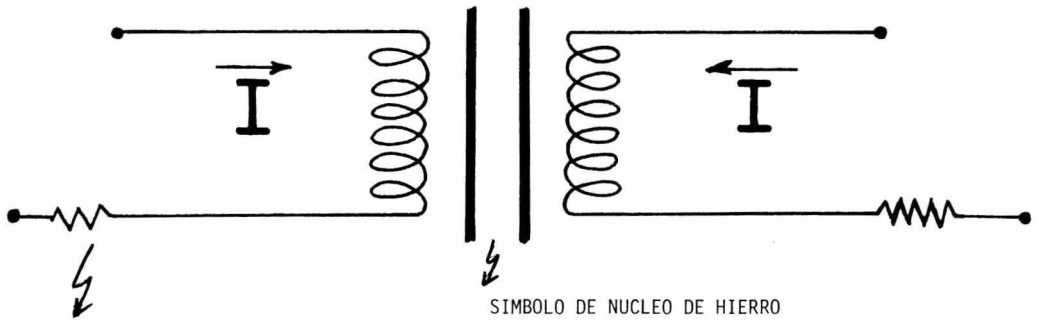
Menos corriente parásita

Fig. 22.



El núcleo laminado reduce la corriente parásita y la pérdida de potencia

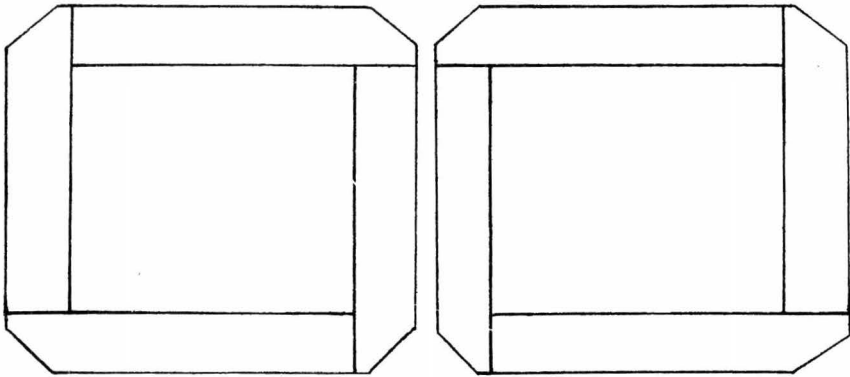
Fig. 22.



SIMBOLO DE NUCLEO DE HIERRO

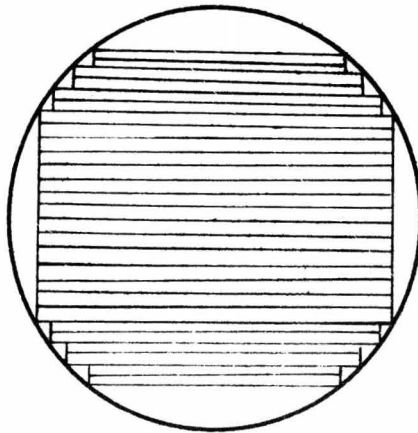
LA RESISTENCIA DE ALAMBRE PRODUCE PERDIDAS EN EL COBRE EN EL TRANSFORMADOR

FIG. NO. 22 A



NUCLEO COMBINADO PARA TRANSFORMADOR TRIFASICO

Fig. No. 23



NUCLEO DE FORMA ESCALONADA MULTIPLE

Fig. No. 24

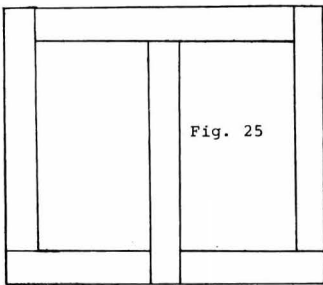


Fig. 25

Núcleo común y corriente para transformador trifásico

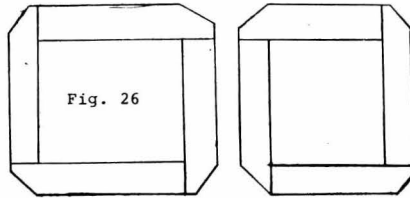


Fig. 26

Núcleo combinado para transformador Trifásico

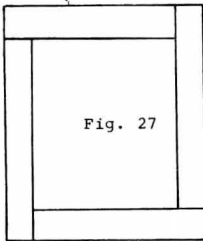


Fig. 27

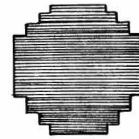
Núcleo laminar común y corriente para transformador trifásico



Núcleo de Sección Cuadrada

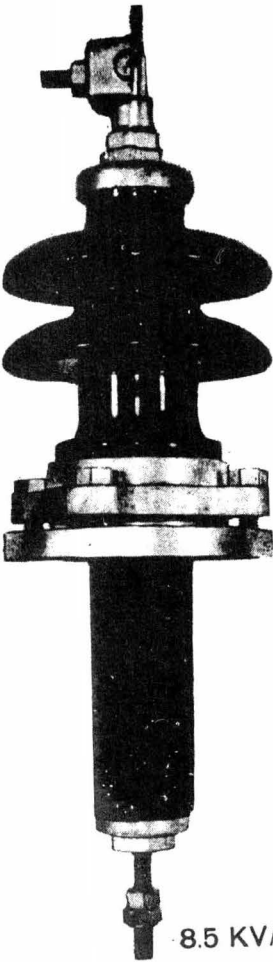


Núcleo de Sección Rectangular



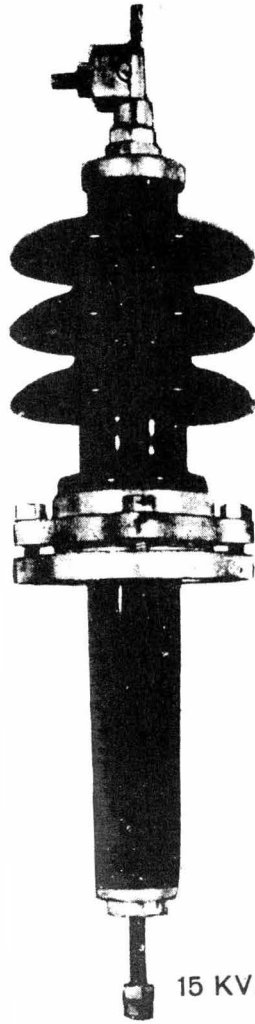
Núcleo de forma Escalonada Simple

Fig. 28



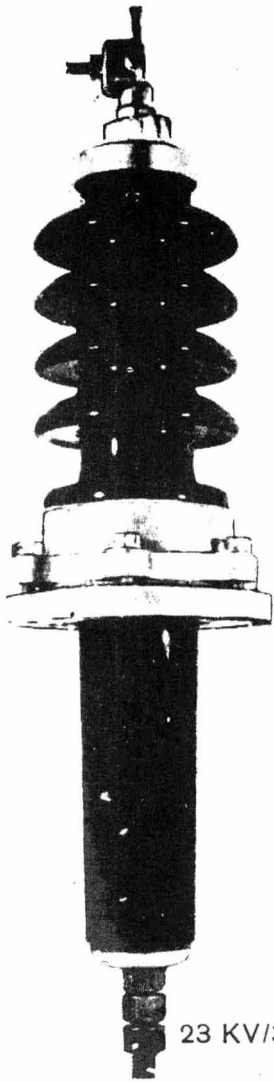
8.5 KV/350 A.

Figura 29



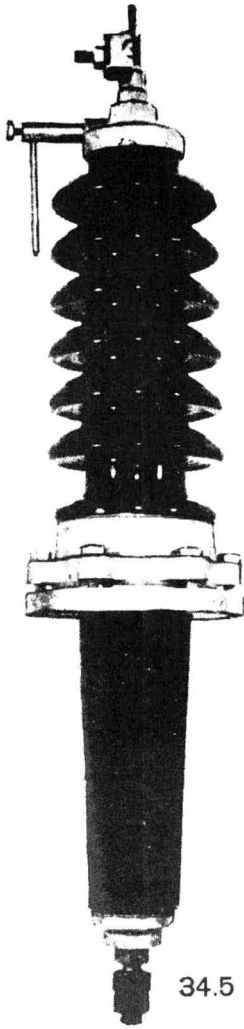
15 KV/350 A

Figura 30



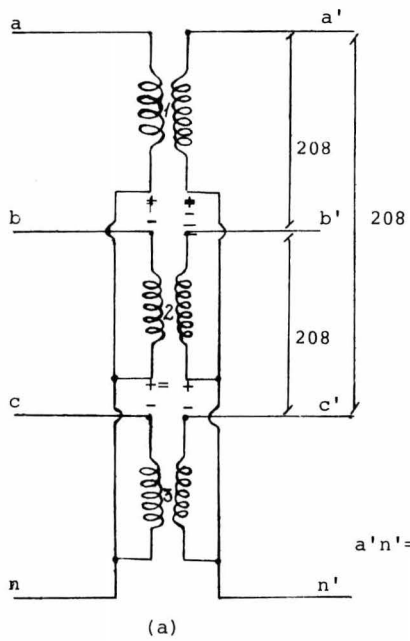
23 KV/350 A

Figura 31



34.5 KV/500 A

Figura 32



$$a'n' = b'n' = c'n' = 120$$

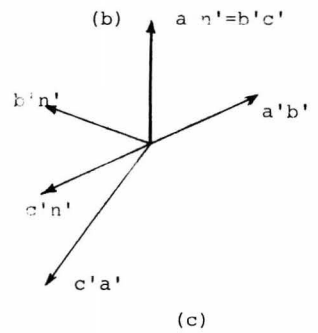
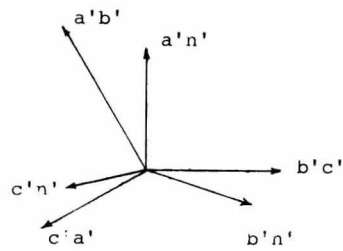


Fig. 33

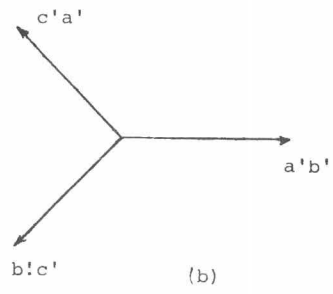
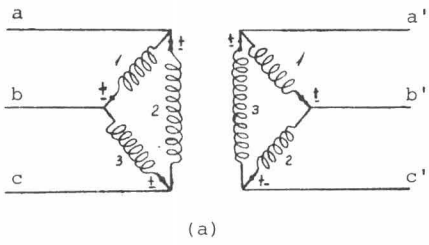


Fig. 34. CONEXION DELTA-DELTA DE TRANSFORMADORES DE FASE SIMPLE

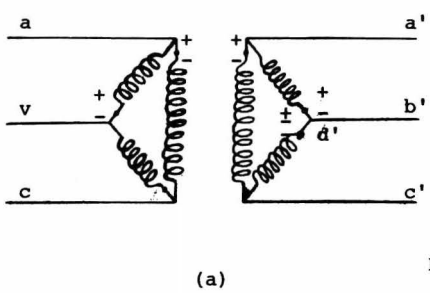
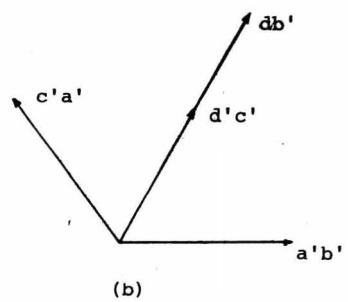


FIG. 35



CONEXION DELTA INCORRECTA DEL DEVANADO SECUNDARIO

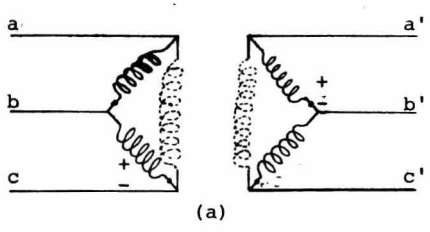
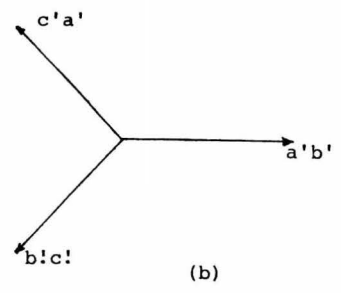
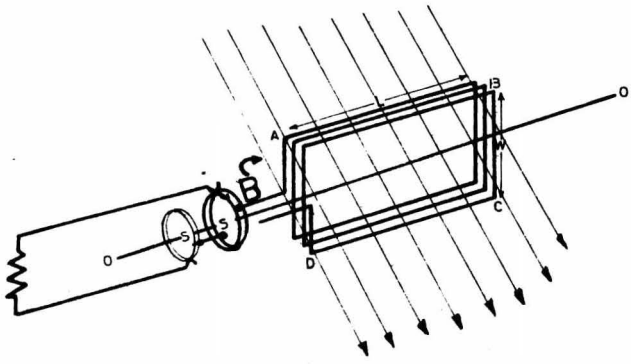


FIG. 36



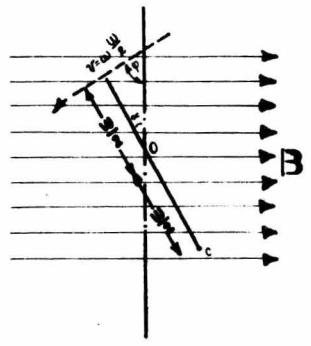
CONEXION DELTA-ABIERTA DE TRANSFORMADORES

GENERADORES



FUNDAMENTO DE LA DINAMO

FIGURA 1



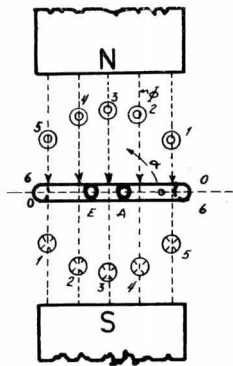


Fig. 3

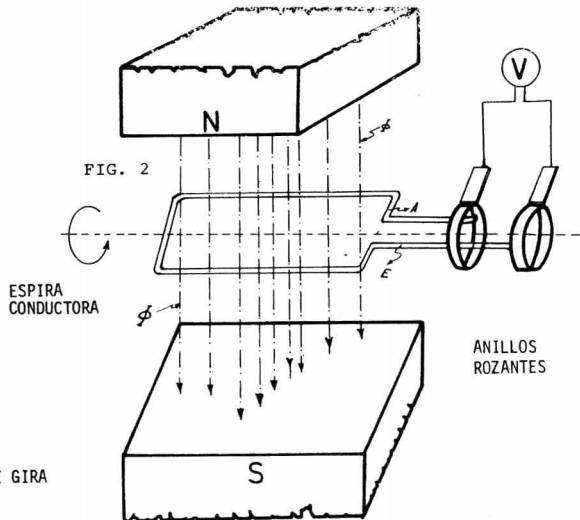


FIG. 2

ESPIRA CONDUCTORA

ANILLOS ROZANTES

GENERACION DE UNA TENSION ALTERNA POR INDUCCION EN UNA ESPIRA CONDUCTORA QUE GIRA DENTRO DE UN CAMPO MAGNETICO.

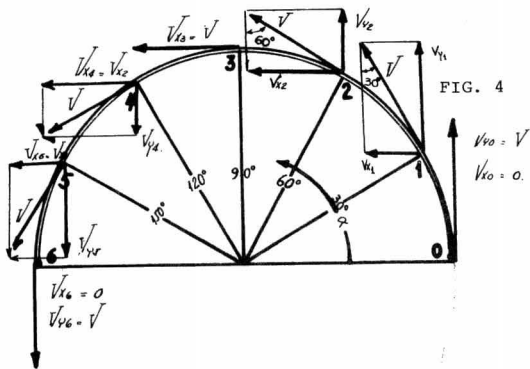


FIG. 4

$V \sin 0 = 0$
 $V \sin 90 = V$

$V \sin 150 = V/2$
 $V \sin 0 = 0$

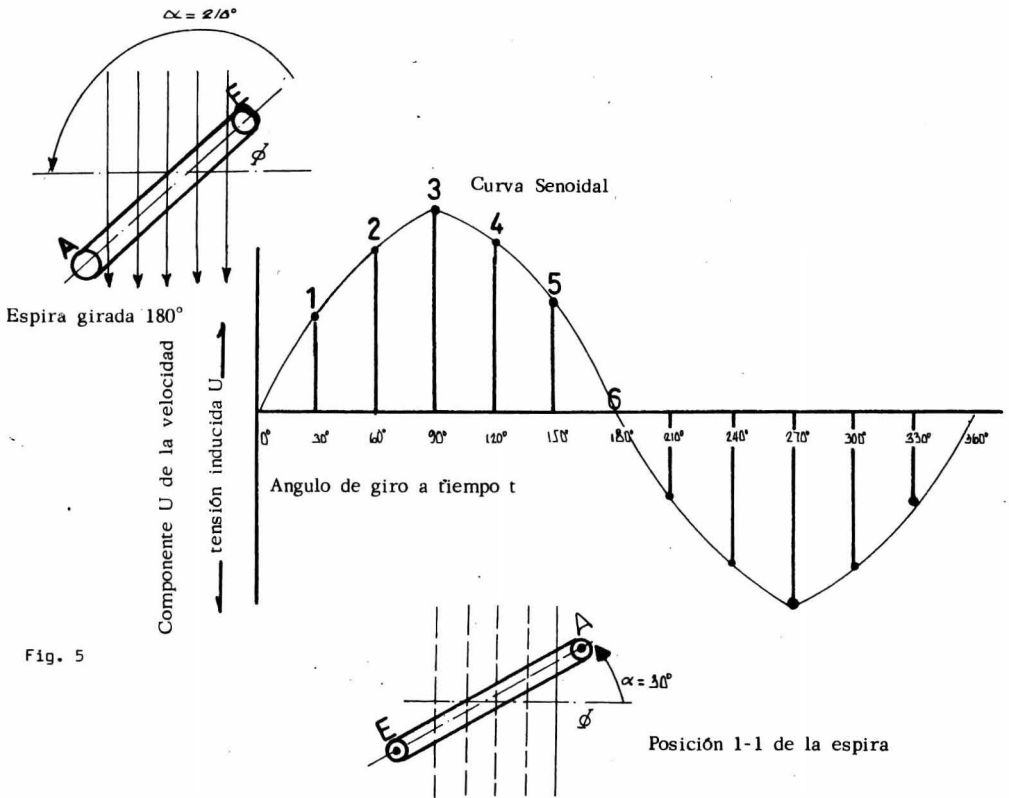


Fig. 5

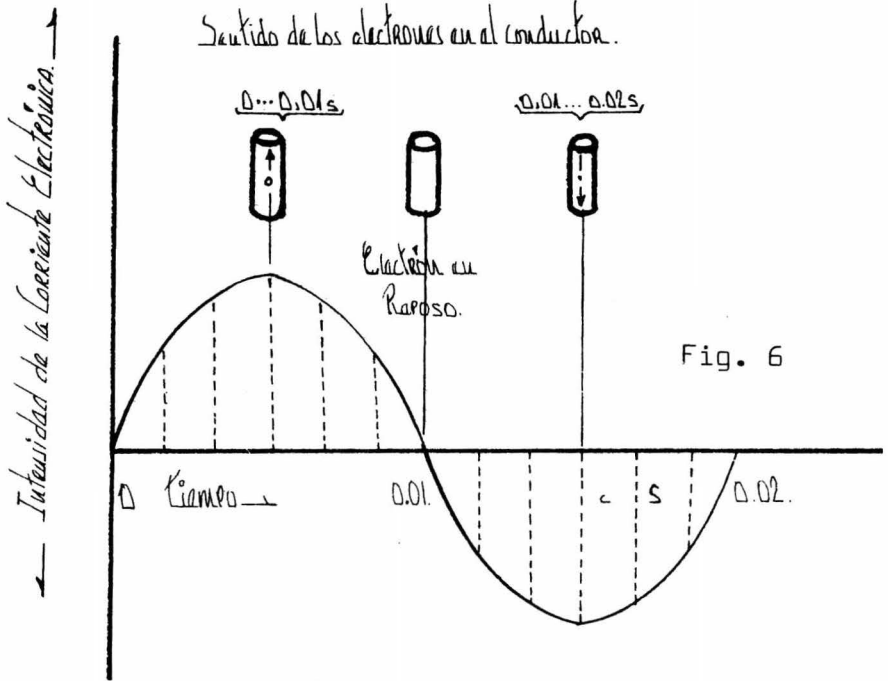


Diagrama Cartesiano de una corriente alterna senoidal.

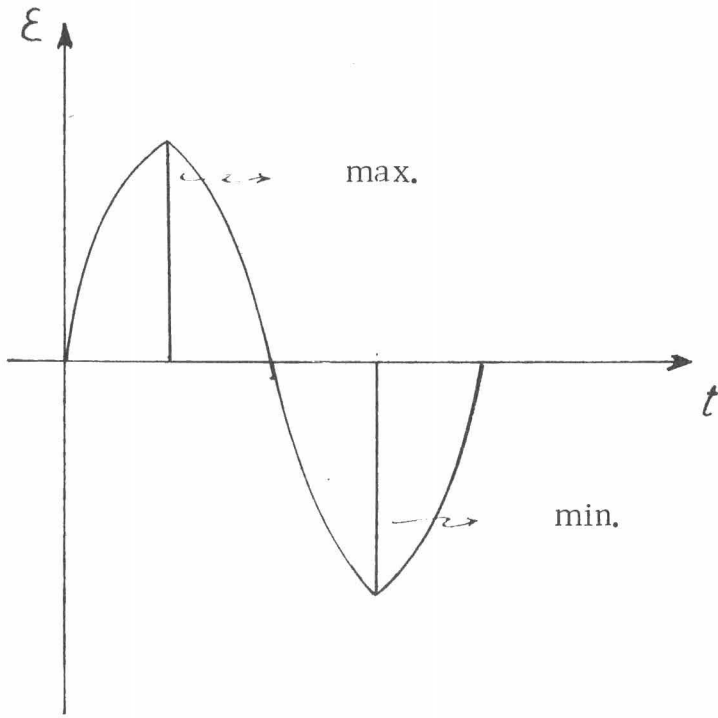


Fig. 7.- Gráfica de una fem alterna inducida

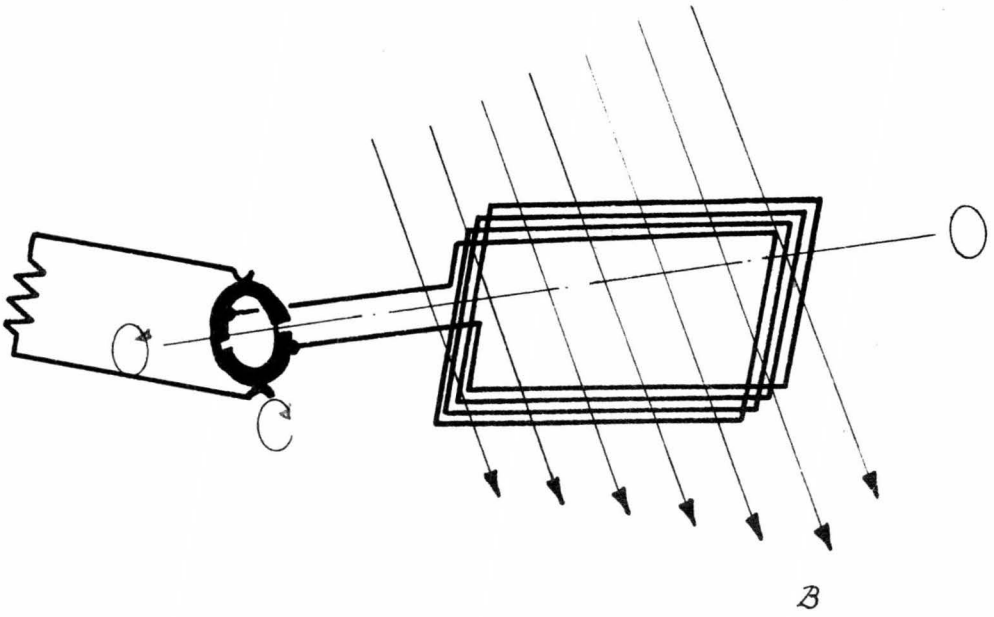


Fig. 8

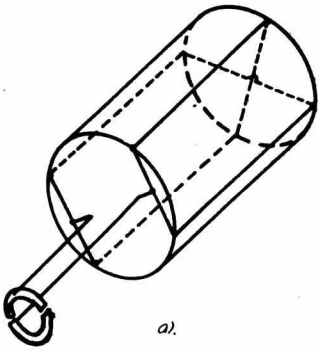


Fig. 9
2 Bobinas del inducido en serie

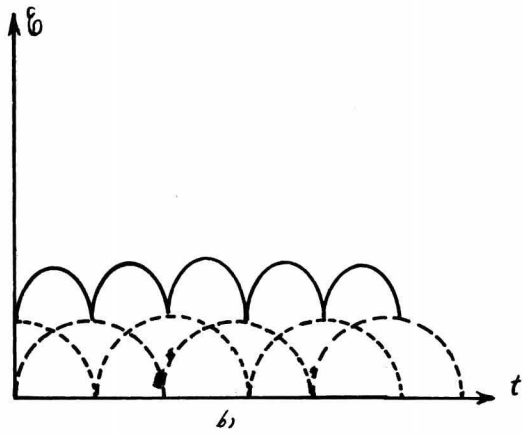
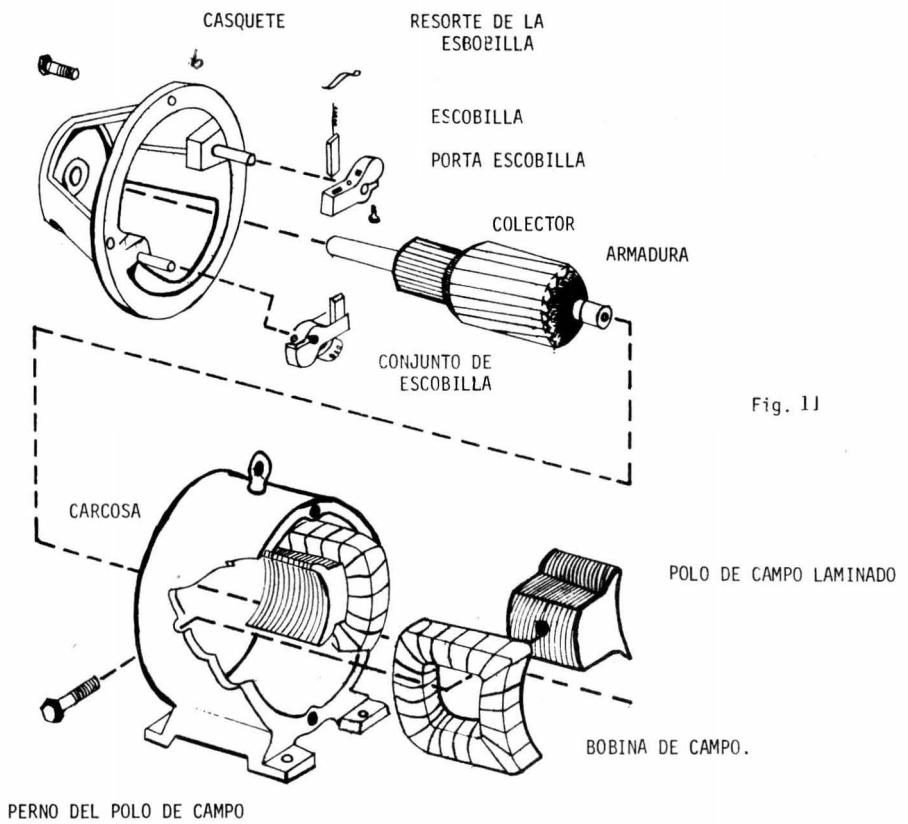


Fig. 10
fem resultante



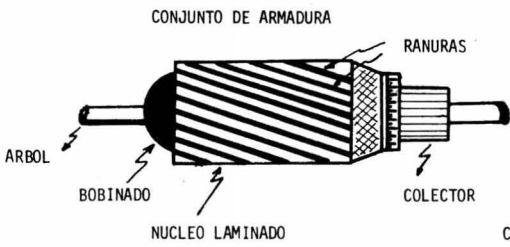
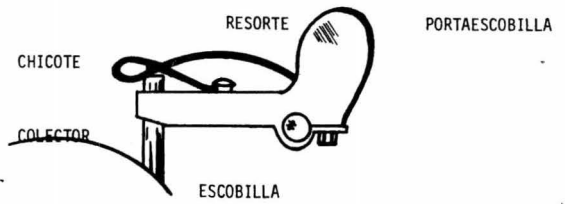
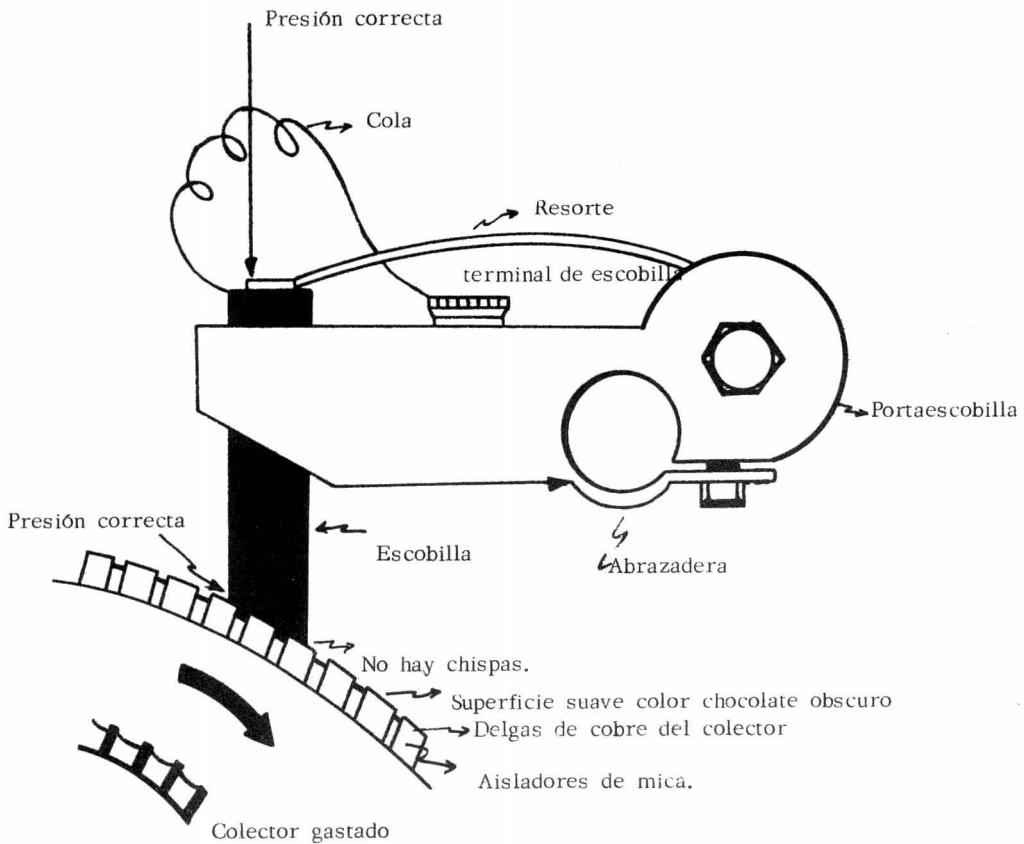


Fig. 12



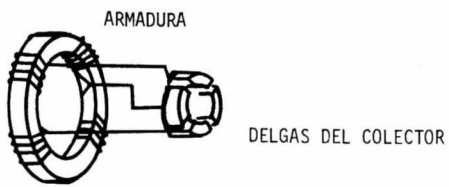
CONJUNTO DE ESCOBILLA.

Fig. 13



Commutación correcta

Fig. 14



TIPO DE ANILLO

Fig.15

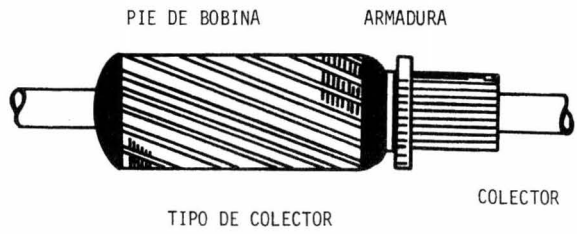
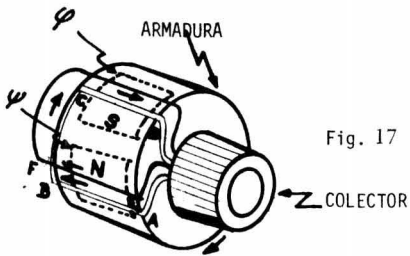


Fig. 16



= POSICION DE LOS POLOS DE CAMPO.

Fig. 17

BOBINADO
IMBRICADO

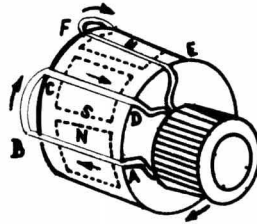


Fig. 18

BOBINADO
ONDULADO

TIPOS DE BOBINADOS DE LA ARMADURA

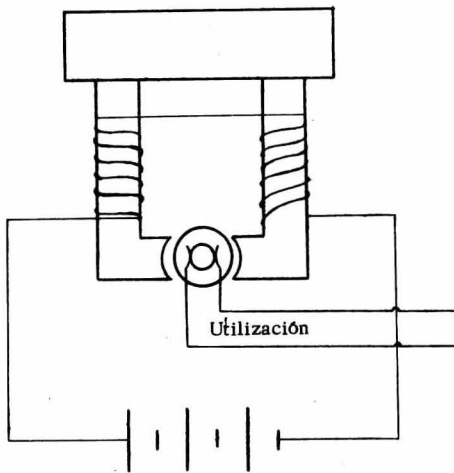


Fig. 19

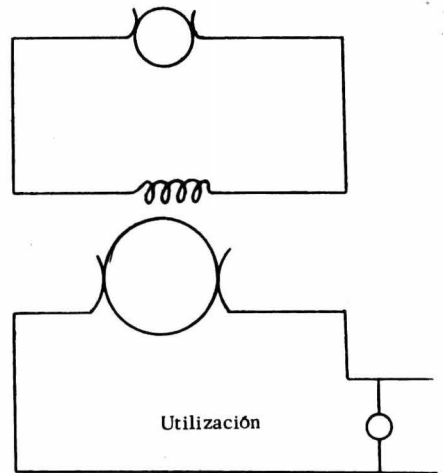
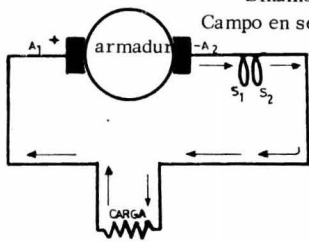


Fig. 20

Dinamos de corriente continua de autoexcitación



Dinamo en Serie

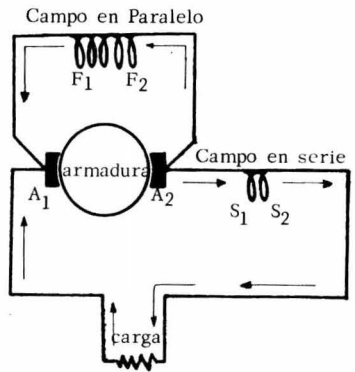
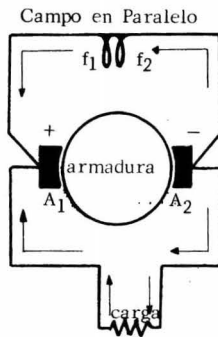


Fig. 20-a

La Dinamo en serie

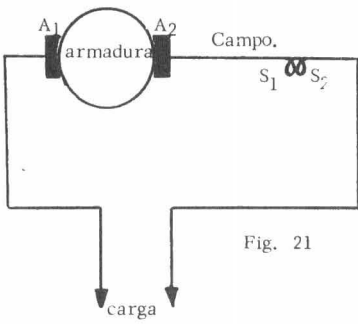
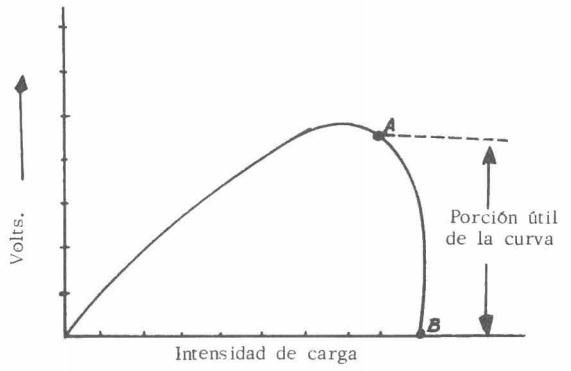


Fig. 21



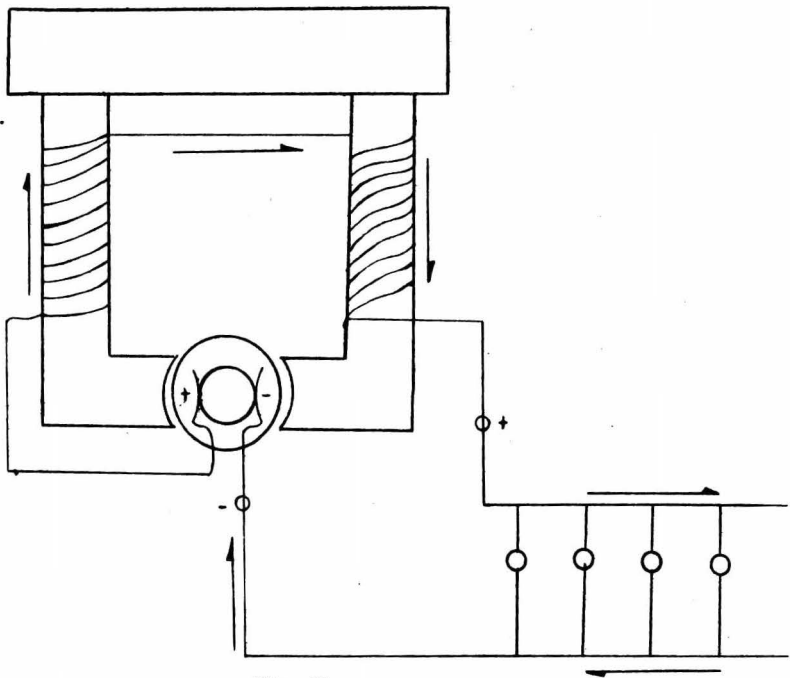
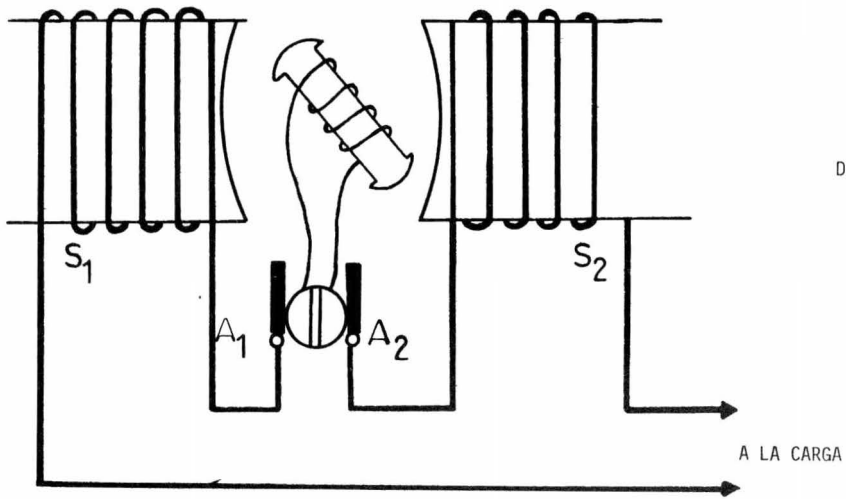


Fig. 21-a



DINAMO EN SERIE

Fig. 21-b

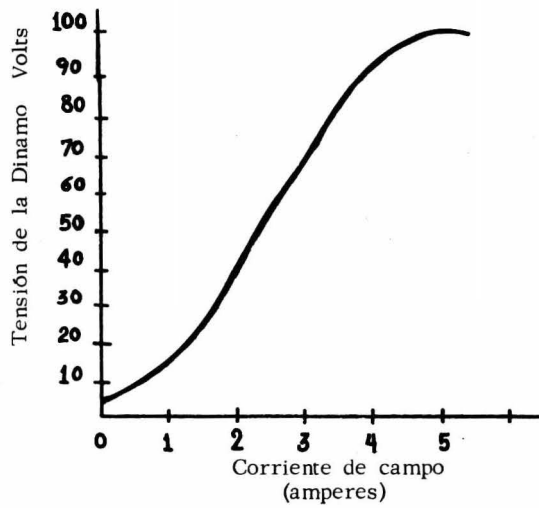
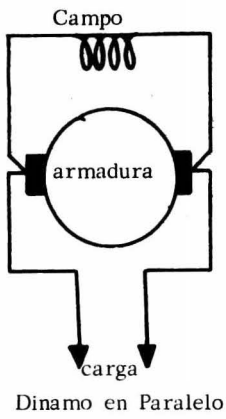


Fig. 22 COMO SE AUTOEXITA LA DINAMO

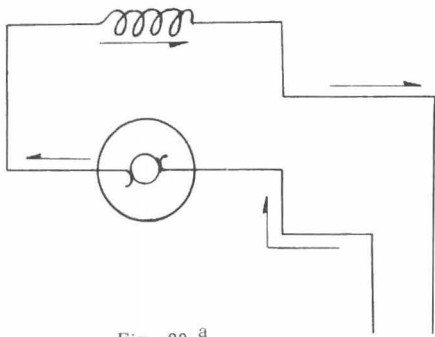
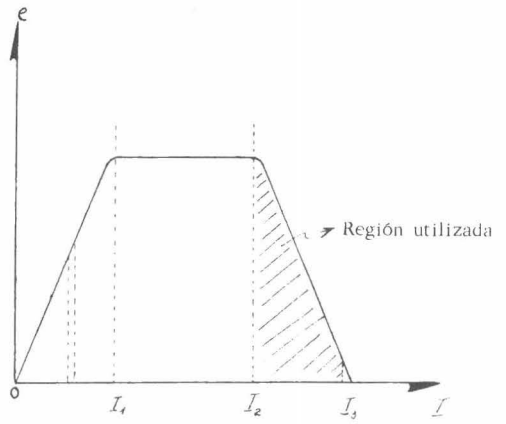


Fig. 22^a



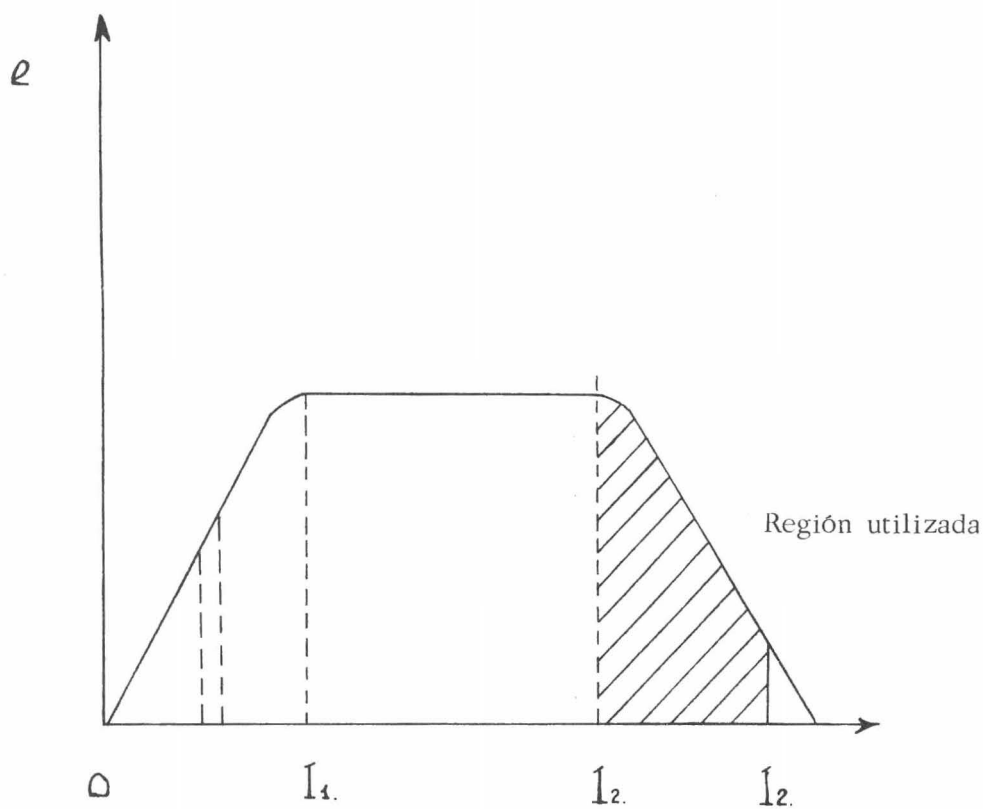
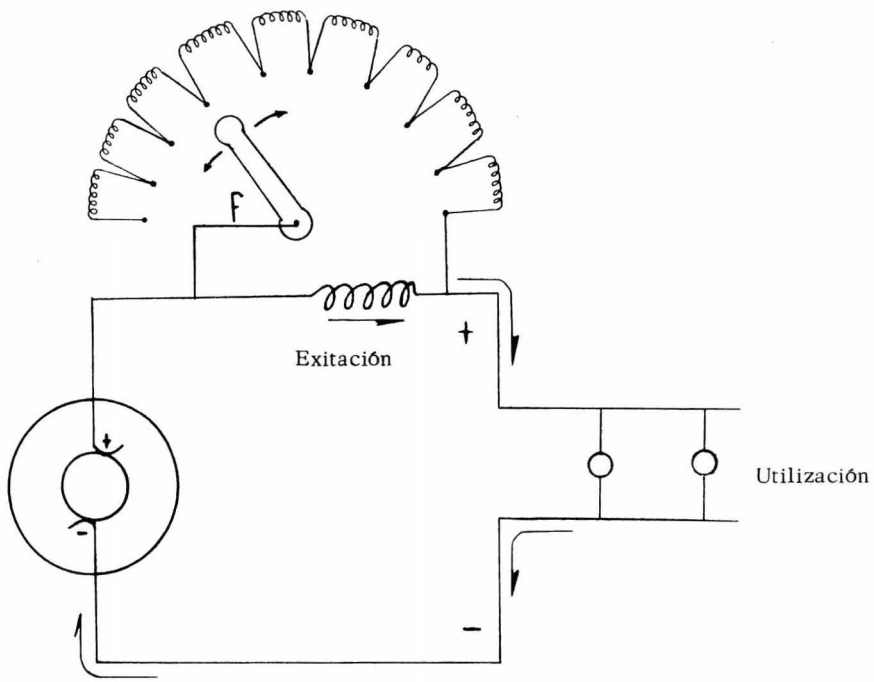


Fig. 23



Regulador de inducción

Fig. 24

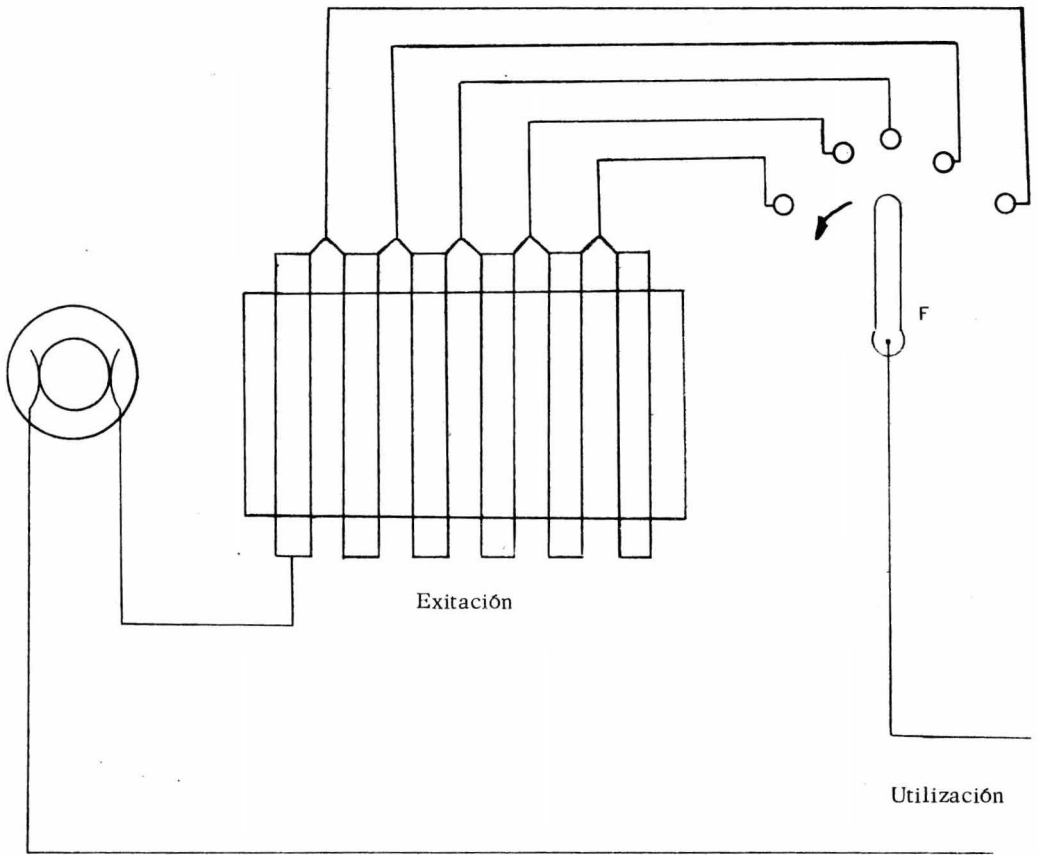


Fig. 25

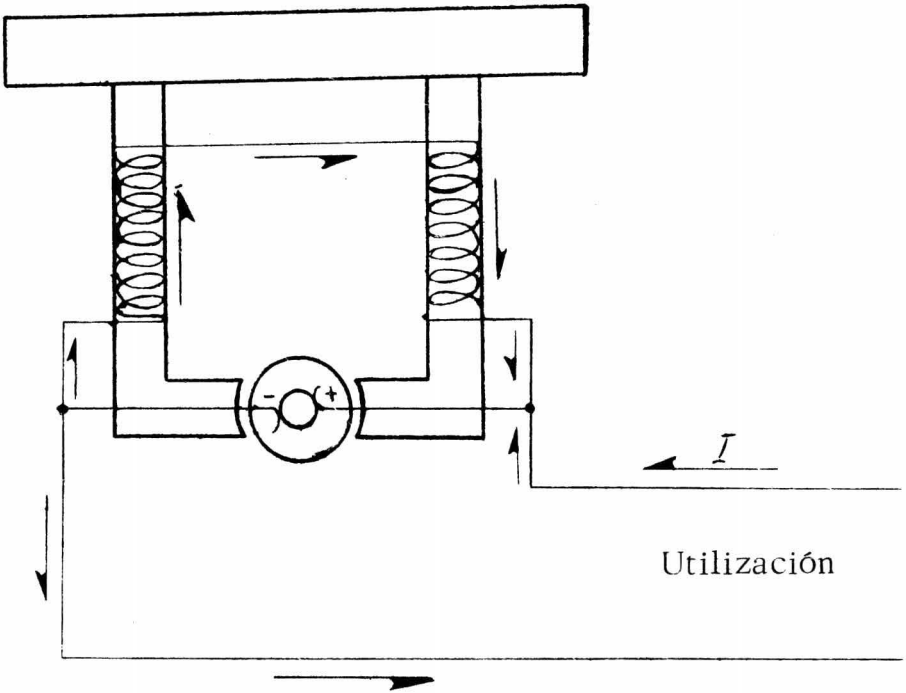


Fig. 26

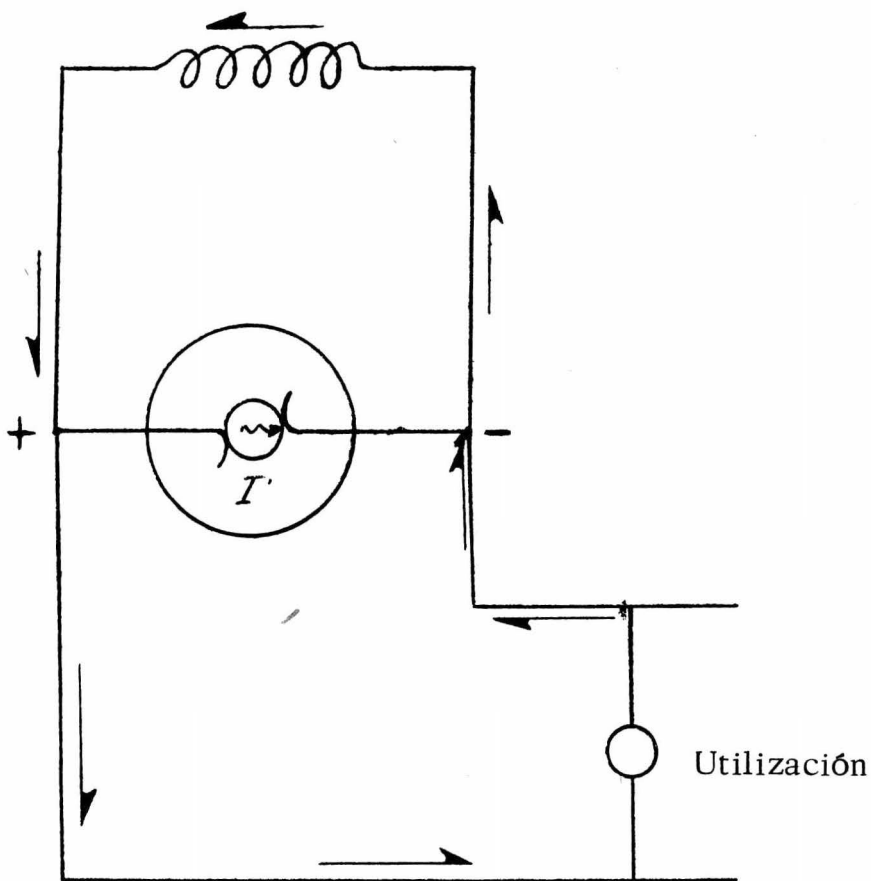


Fig. 27

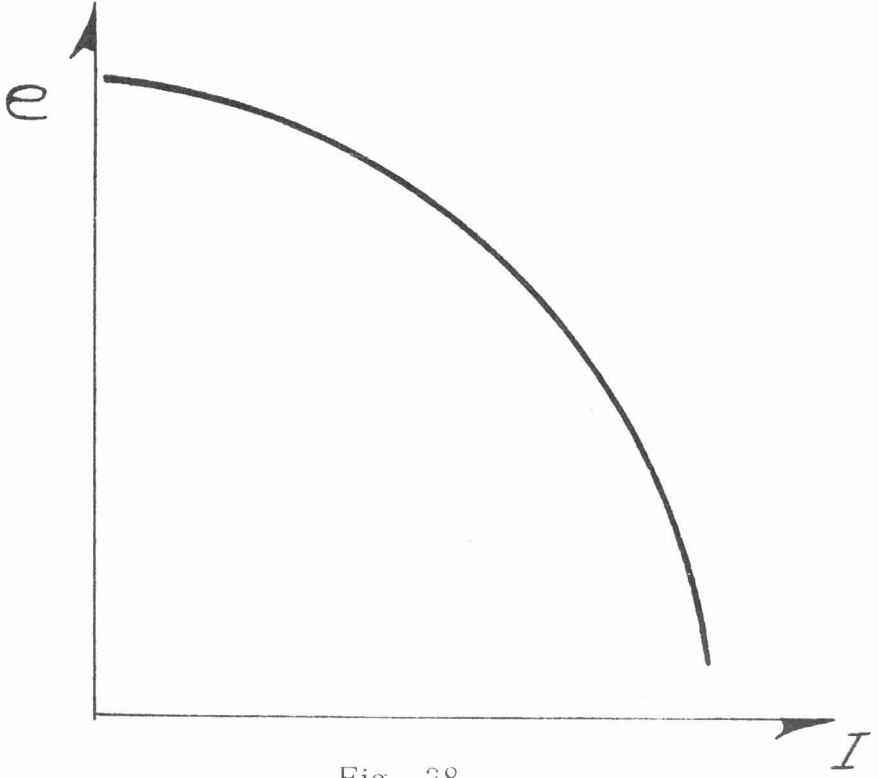


Fig. 28

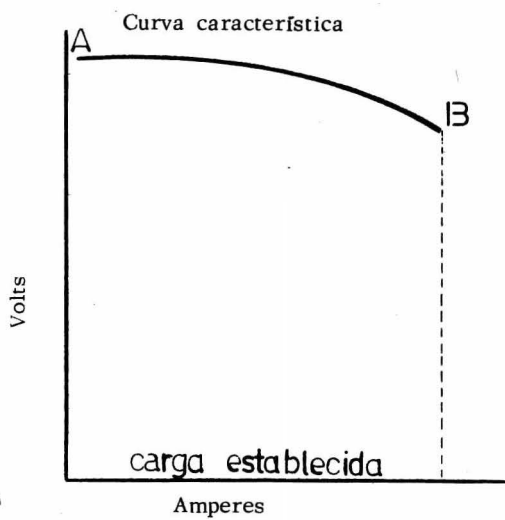
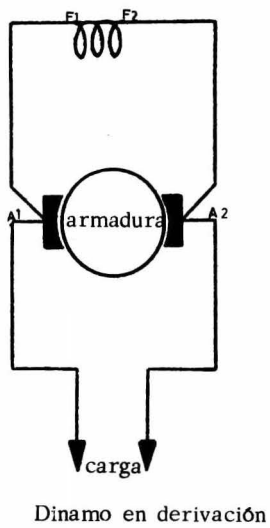


Fig. 28 -A

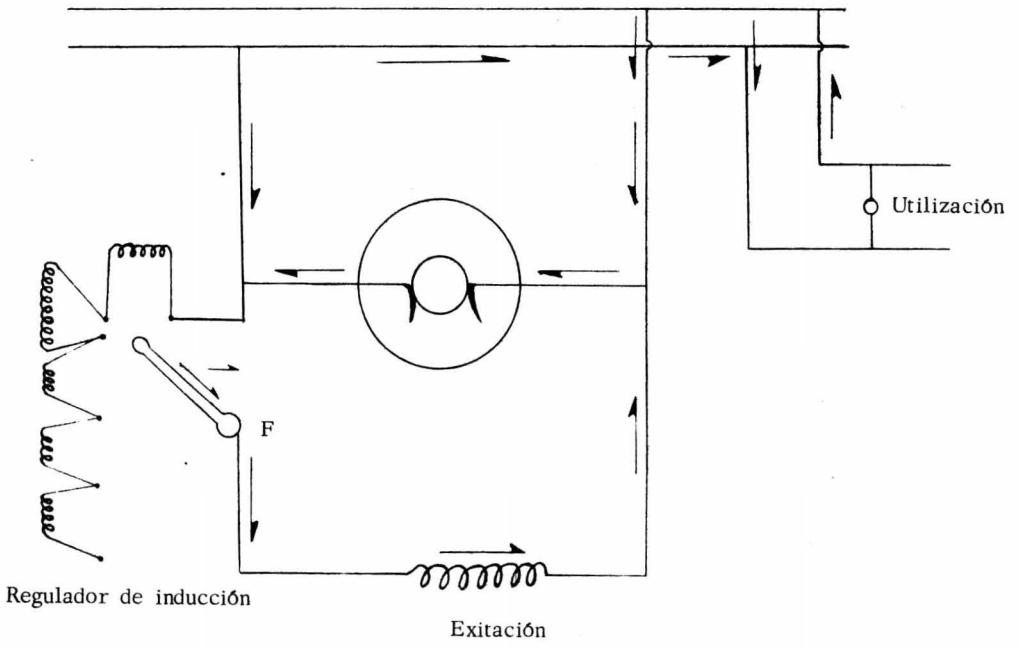


Fig. 29

DINAMOS COMPOUND

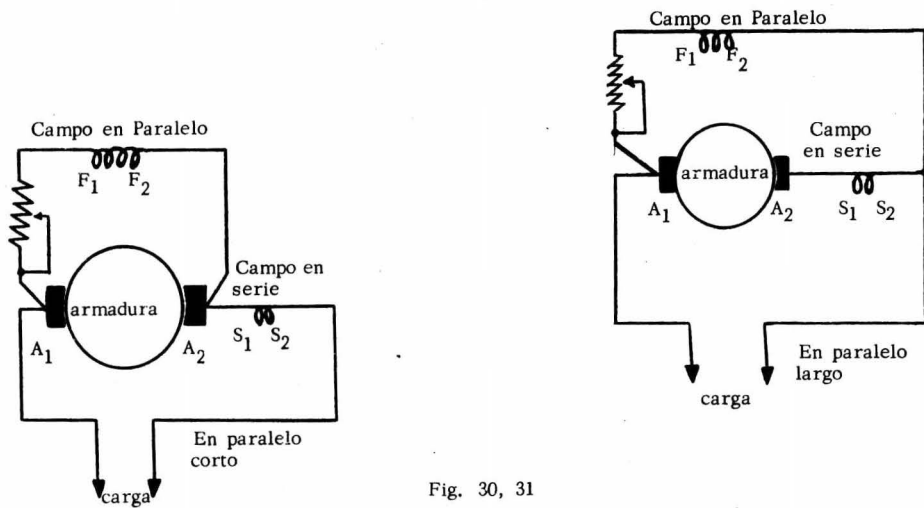
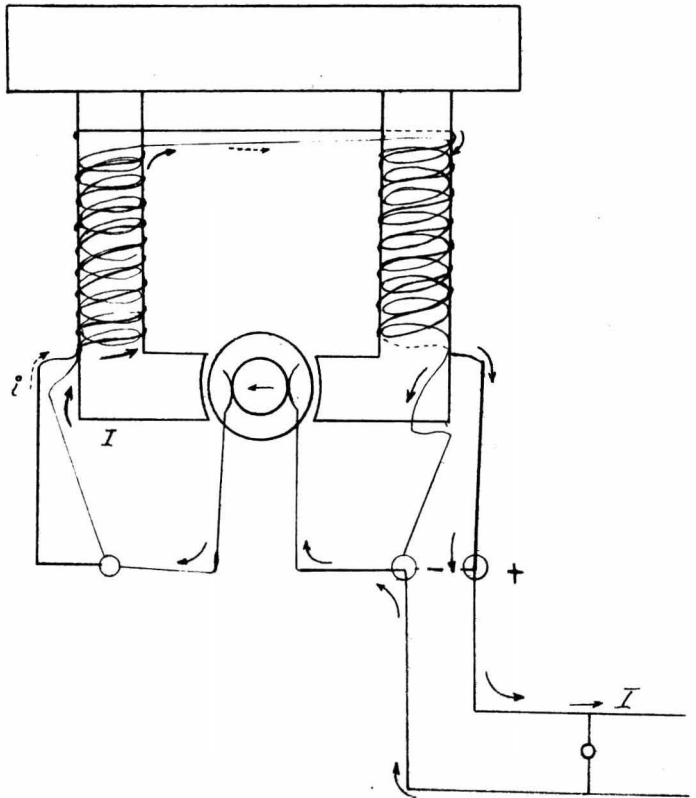


Fig. 30, 31

Fig. 31-a



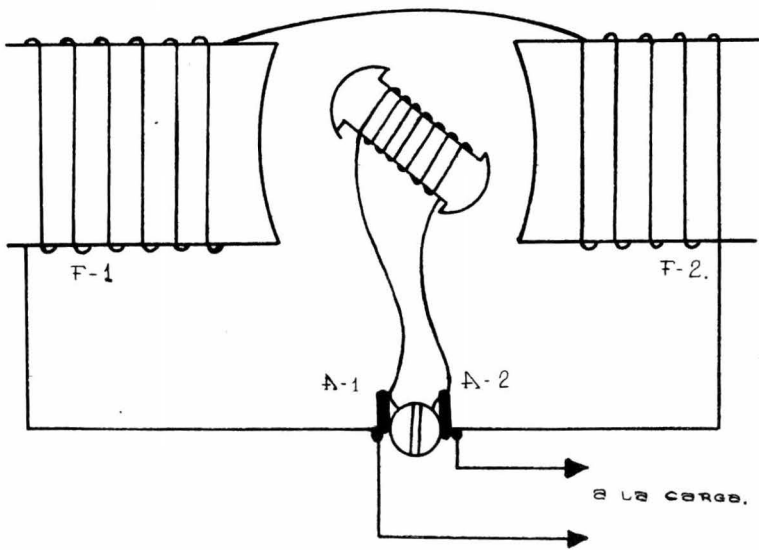


Fig. 31-b

DINAMO EN DERIVACION

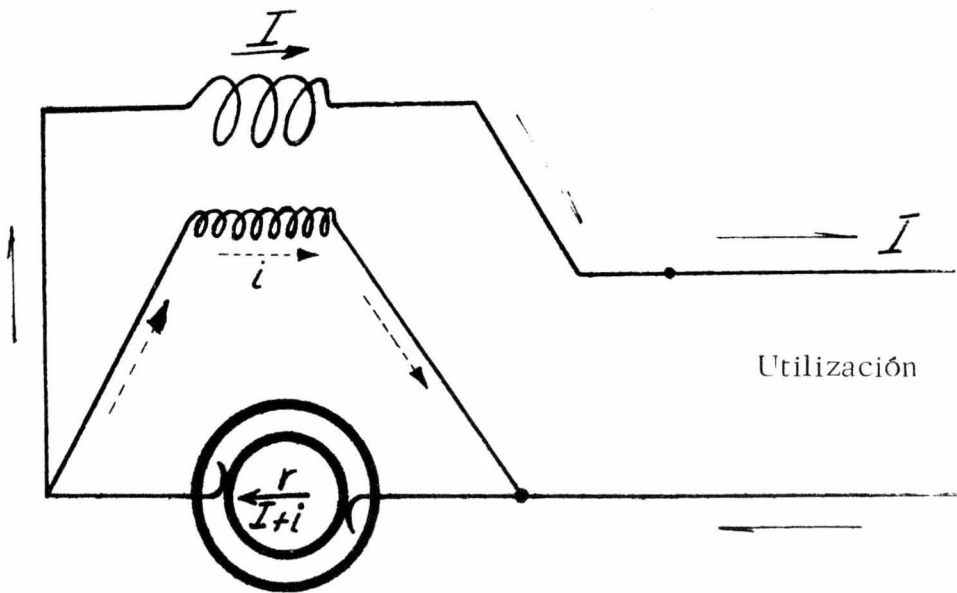


Fig. 32

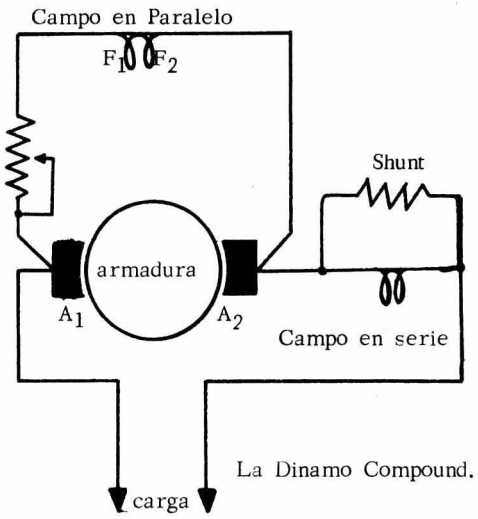
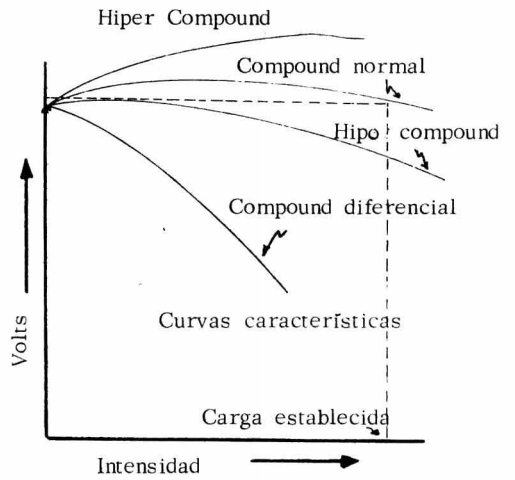


Fig. 32-a



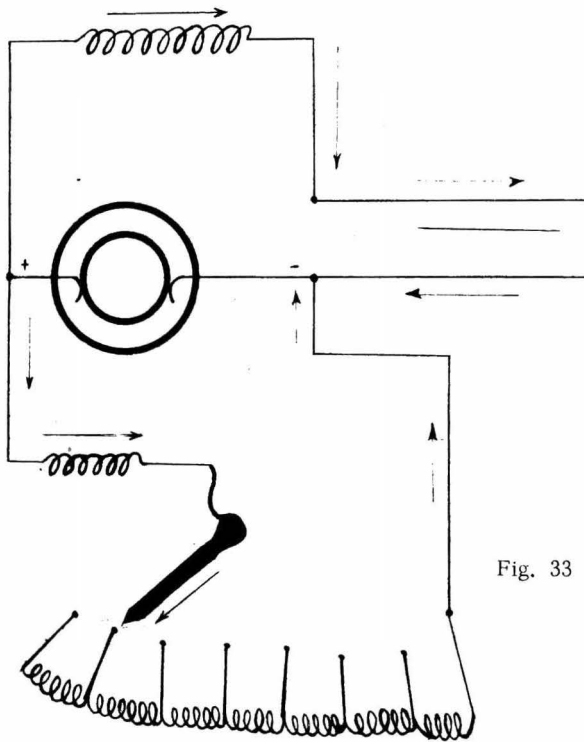


Fig. 33 Regulador de inducción

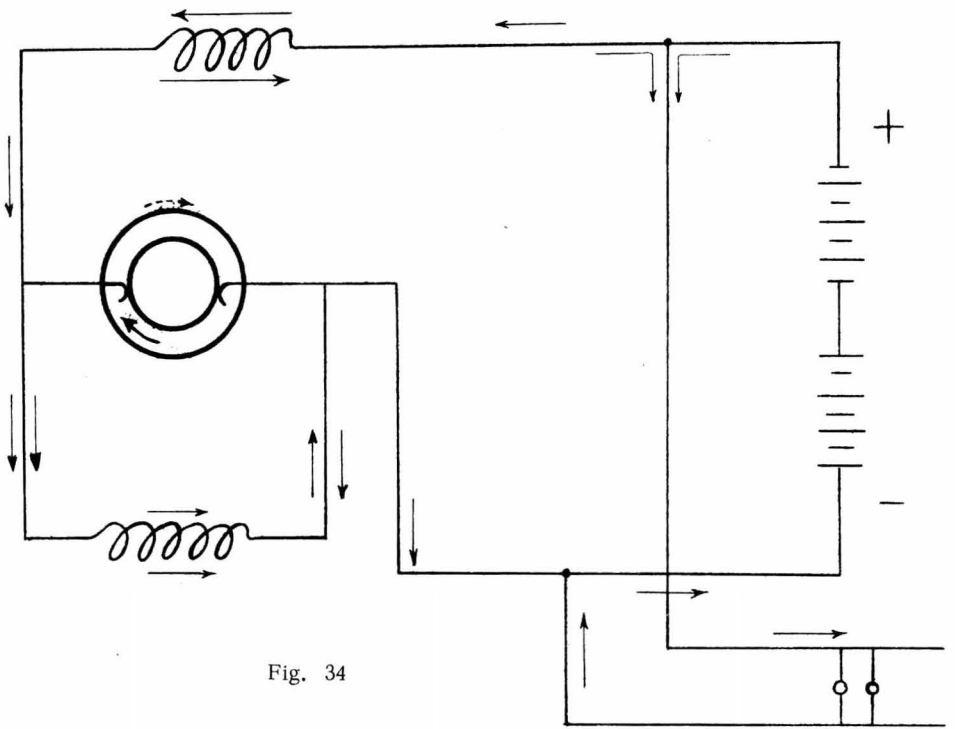


Fig. 34

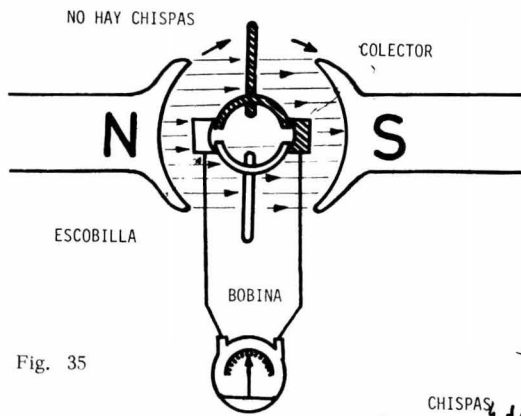


Fig. 35

CONMUTACION CORRECTA

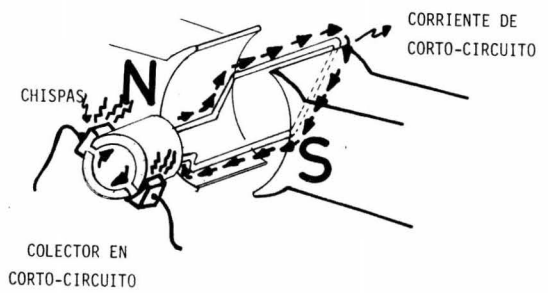
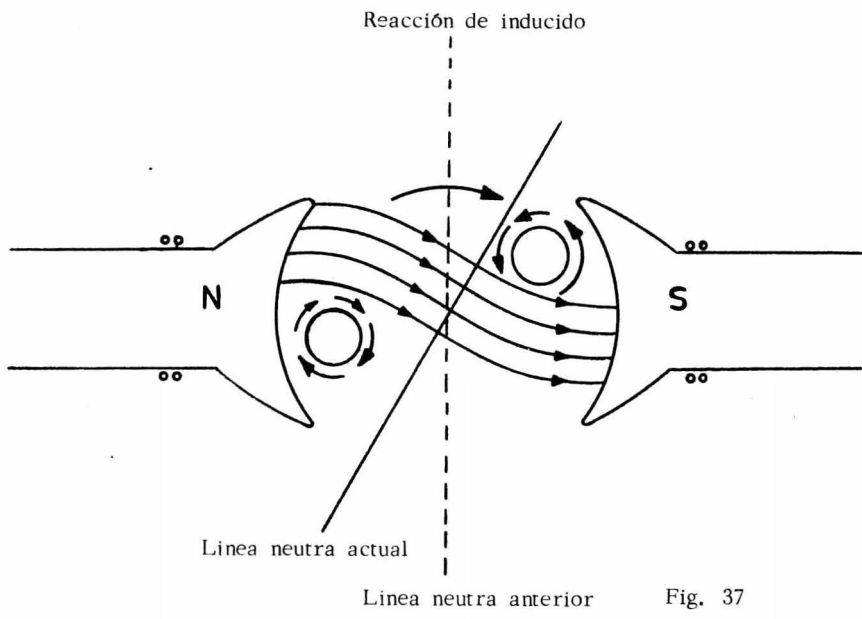
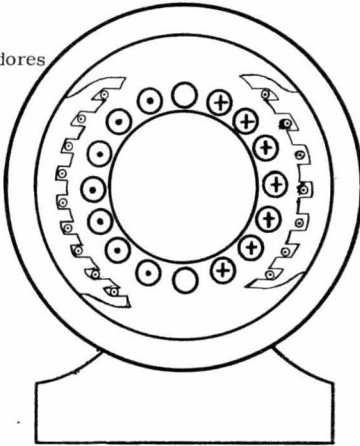


Fig. 36



Corrigiendo la reacción del inducido

Bobinados compensadores



Paralelo

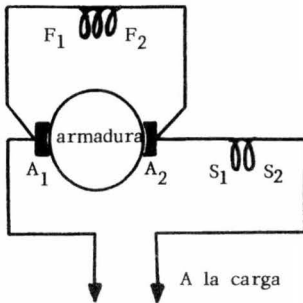
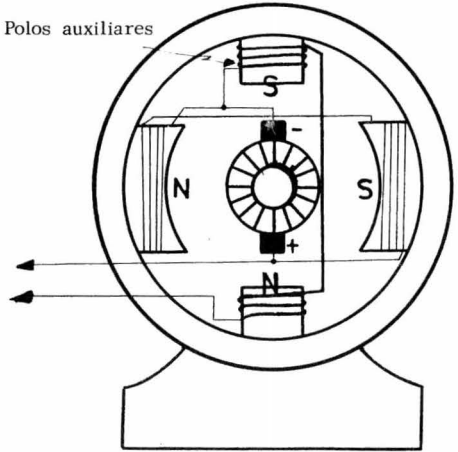


Fig. 39

Polos auxiliares



Polos auxiliares o bobinados compensadores

Fig. 38

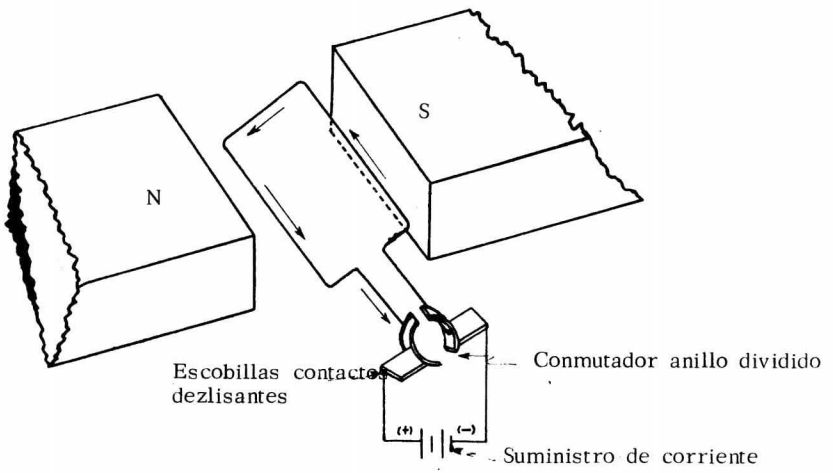
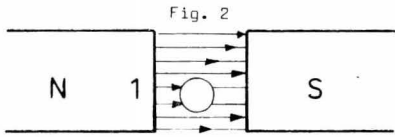
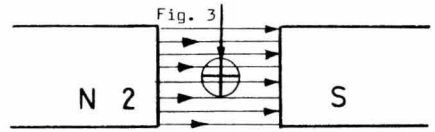


Fig. 1. Elementos principales de un motor eléctrico.



Campo que produce la corriente inducida



Empuje hacia abajo

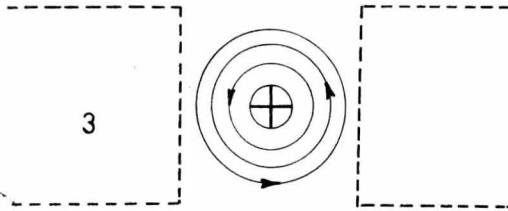
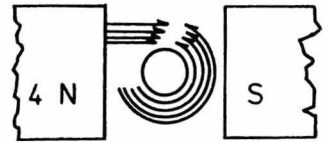


Fig. 4



Anulación

Fig. 5

Ley de Lentz.

Acción entre el conductor
y los campos magneticos.

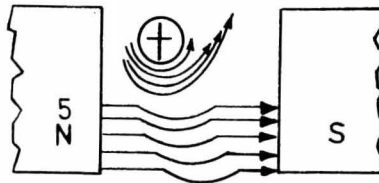


Fig. 6.

Refuerzo

Empuje hacia abajo

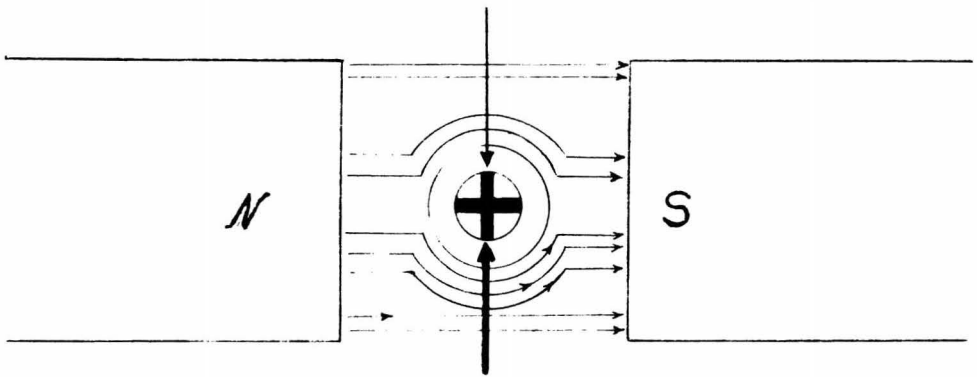


Fig. 7. Reacción hacia arriba del conductor

El campo del inducido queda fijo
mientras el inducido se mueve.

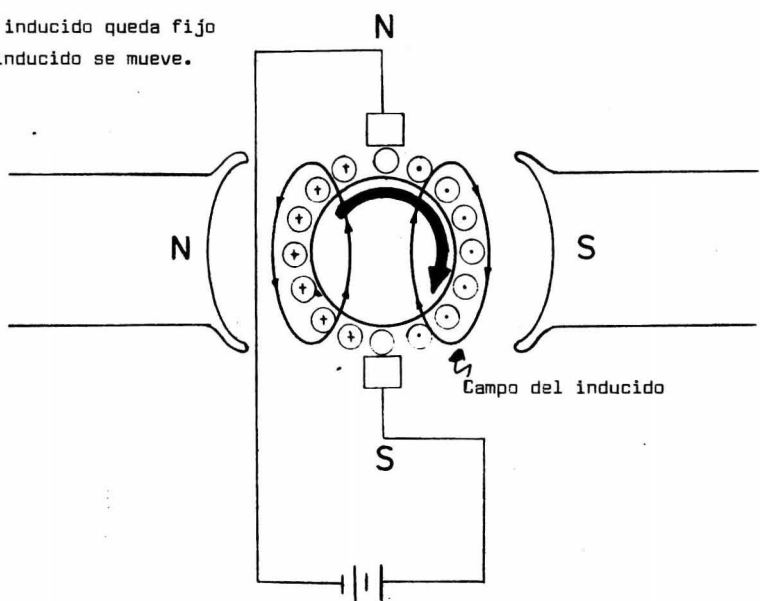
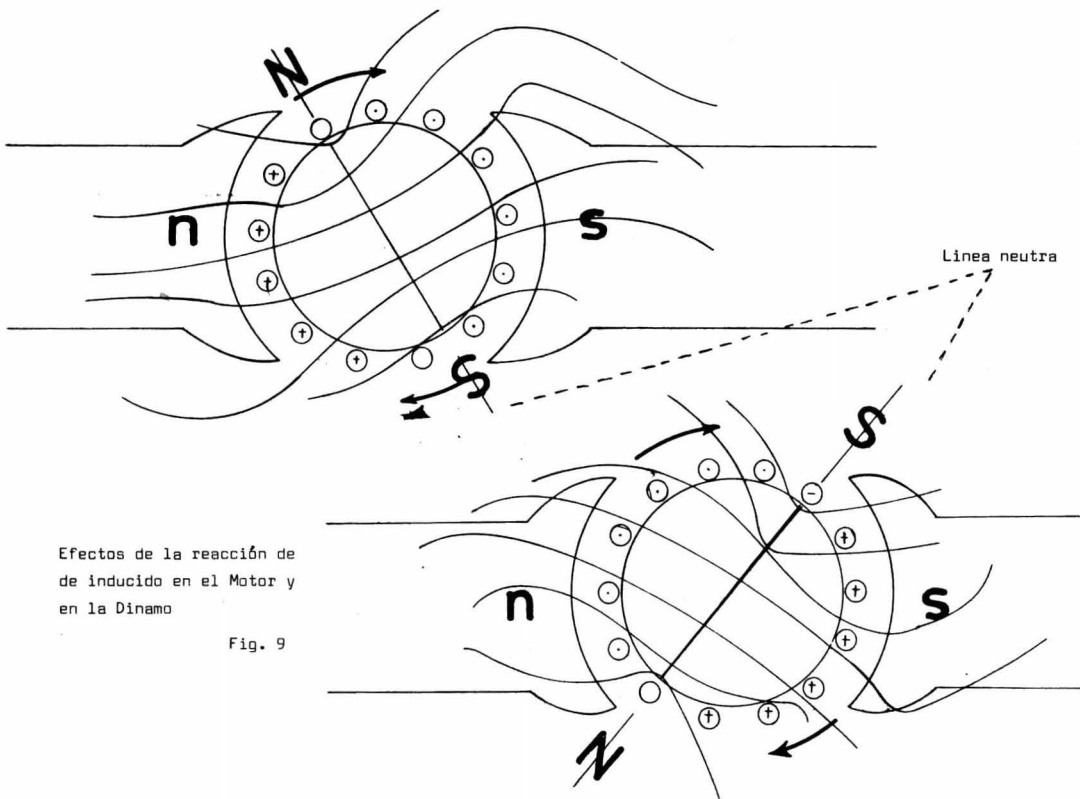
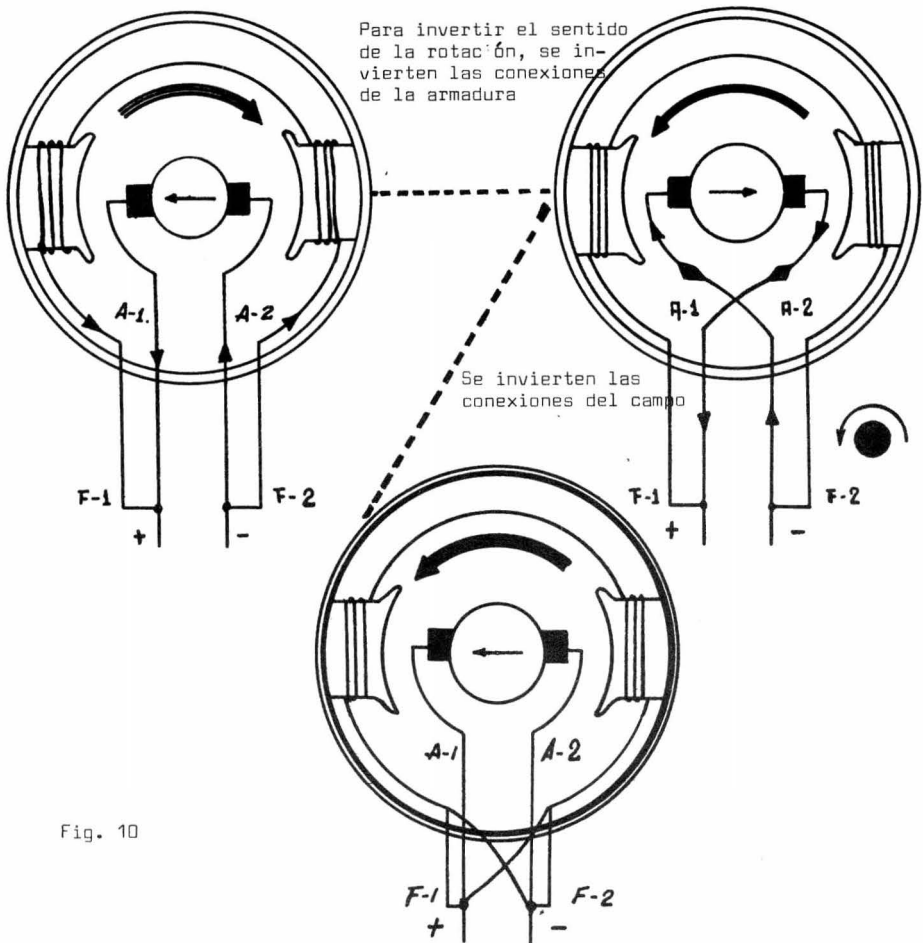


Fig. 8. Motor de corriente continua



Efectos de la reacción de
de inducido en el Motor y
en la Dinamo

Fig. 9



Metodos para regular la velocidad

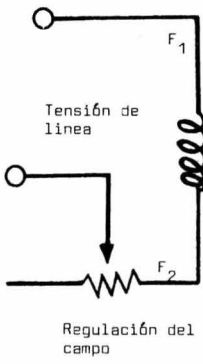
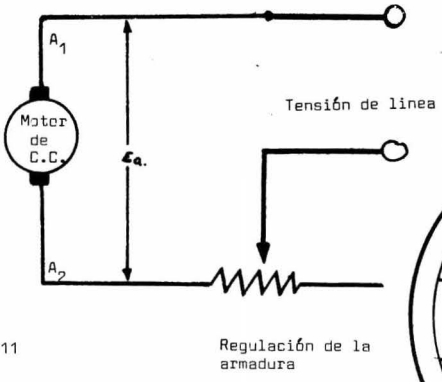


Fig. 11



Regulación de la armadura

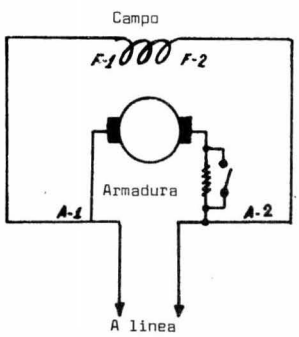
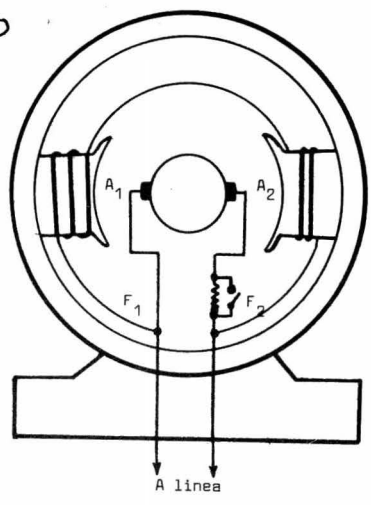
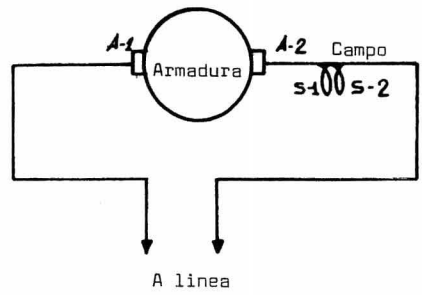
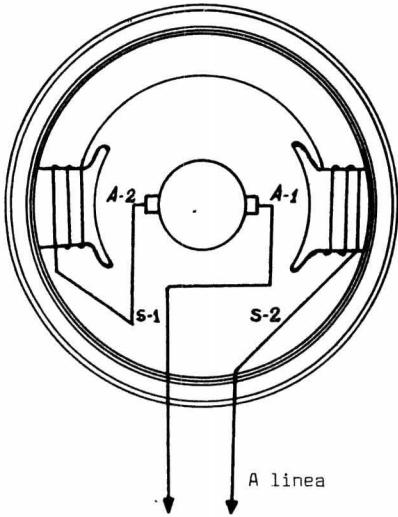


Fig. 12.



El motor de C.C. en Derivación



El motor de C.C. en serie

Fig. 13

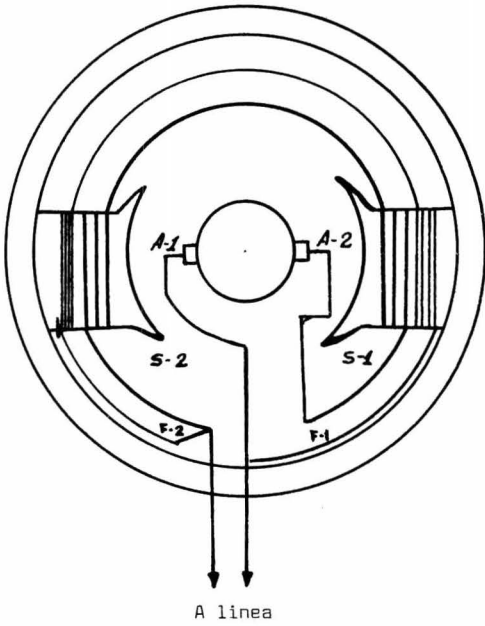
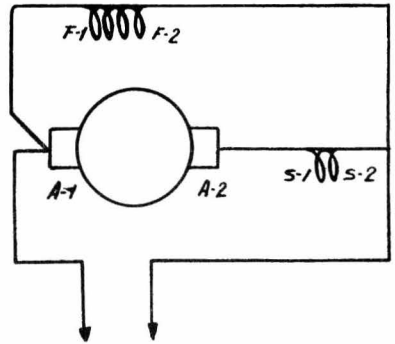


Fig. 14.



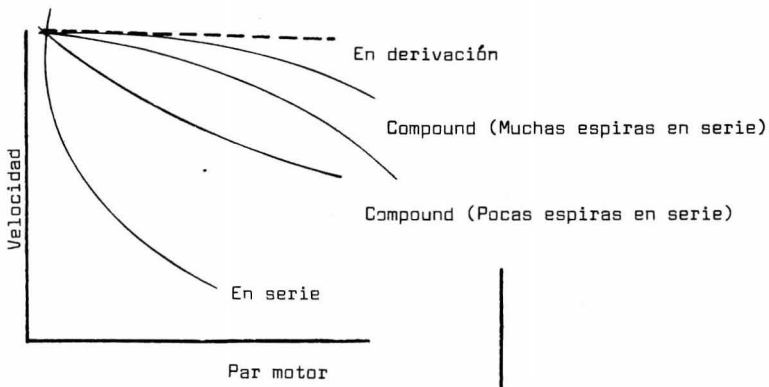


Fig. 15.

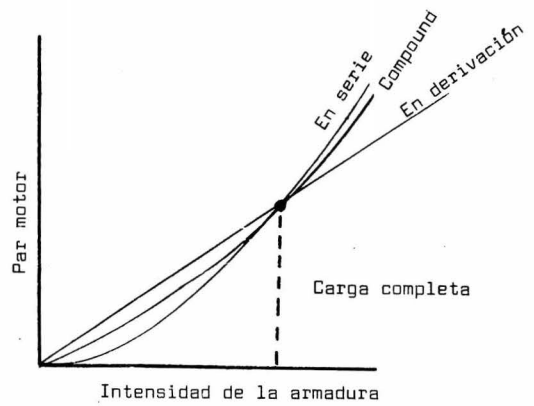


Fig. 16.

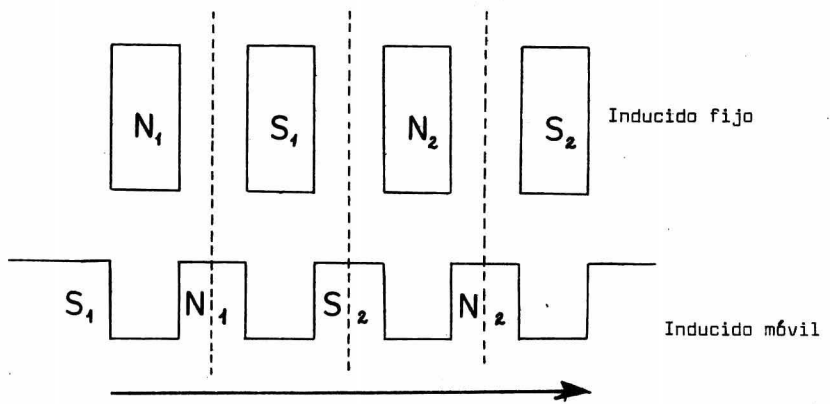
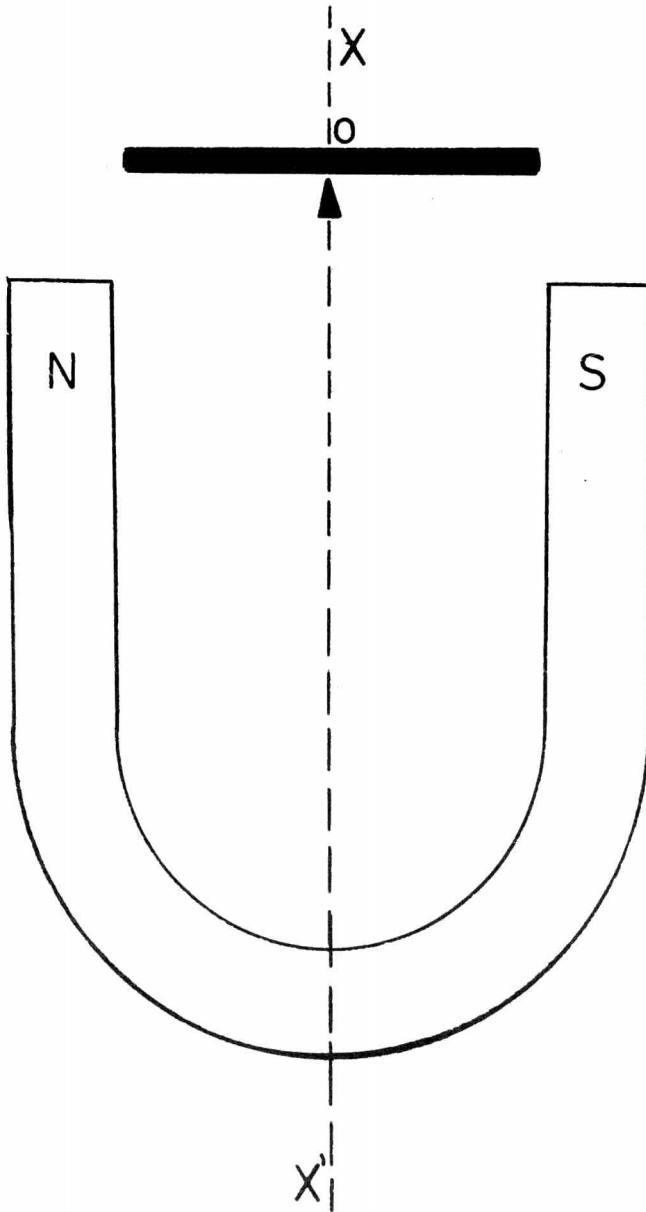
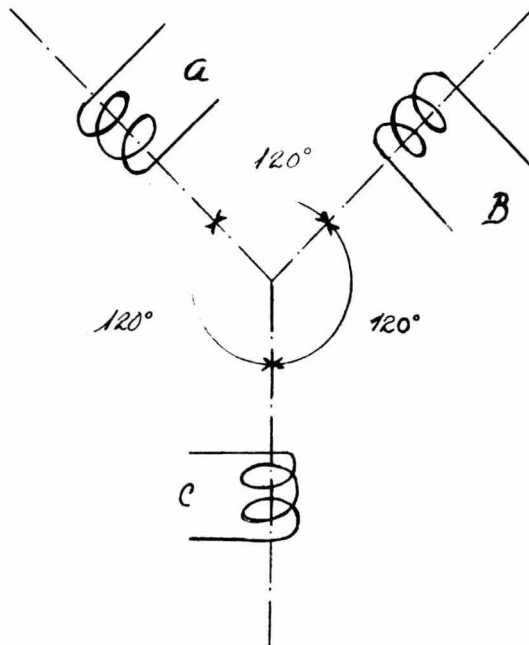


Fig. 17. Principio del motor sincronico monofásico



Principio de los motores Asincronicos de campo giratorio.

Fig. 19.



Creación de un campo magnético giratorio por la corriente trifásica. (principio de los motores asíncronos)

Fig. 19.

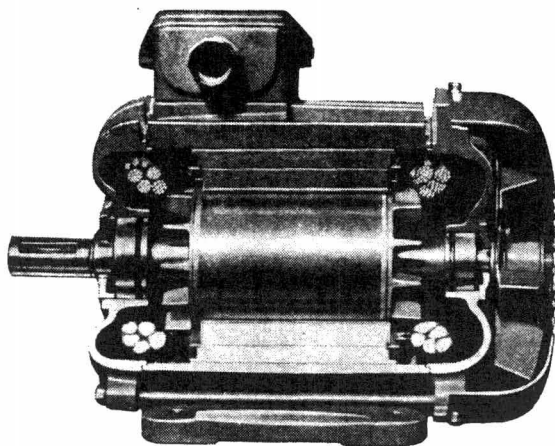


Fig. 20.- Motor con rotor de jaula de ardilla.

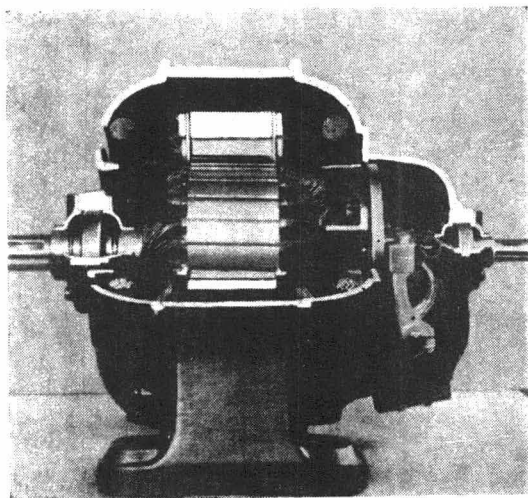


Fig. 21.- Motor de rotor bobinado o de anillos.

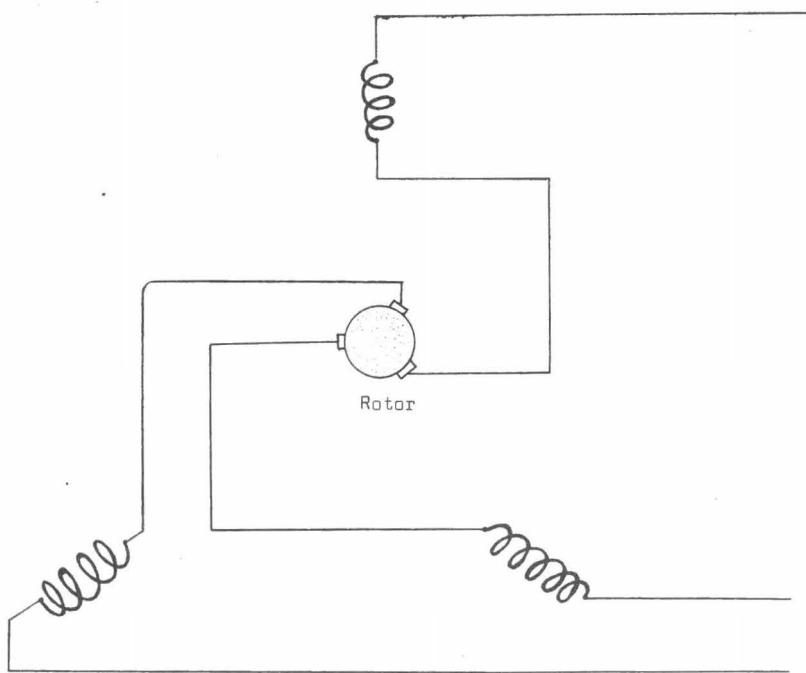


Fig.22. Motor polifásico (trifásico) con colector tipo serie

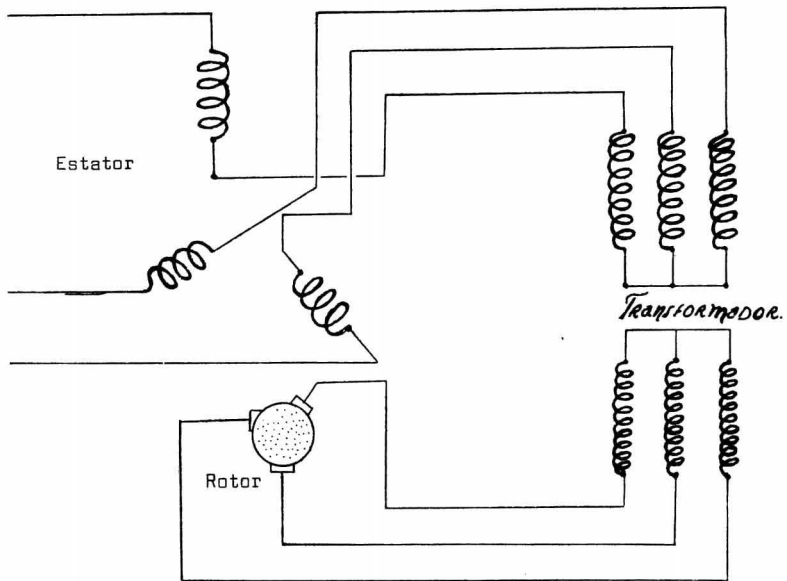


Fig. 23. Alimentación por transformador del rotor de un motor polifásico (trifásico) con colector, tipo serie.

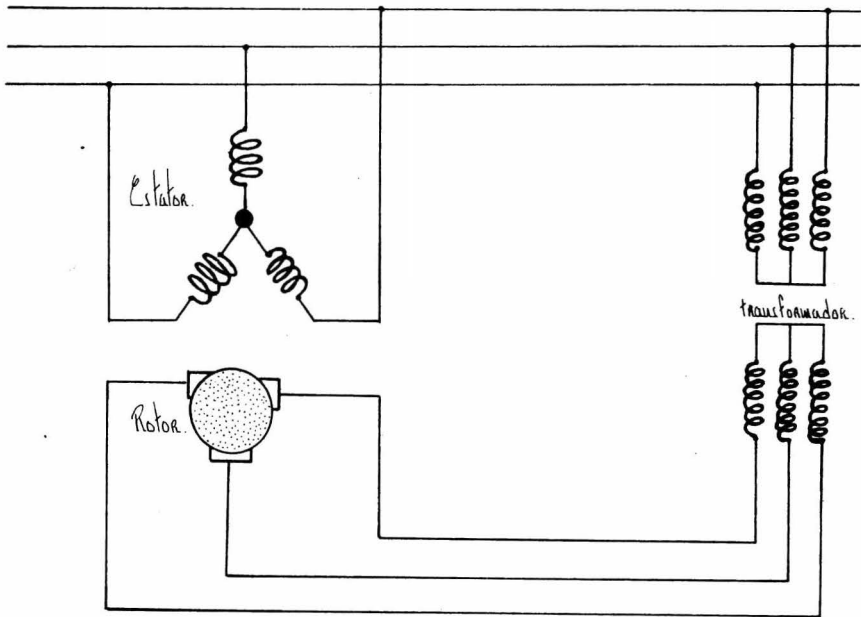


Fig. 24. Alimentación por transformador del rotor de un motor polifásico (trifásico) con colector, tipo en derivación. Shunt.

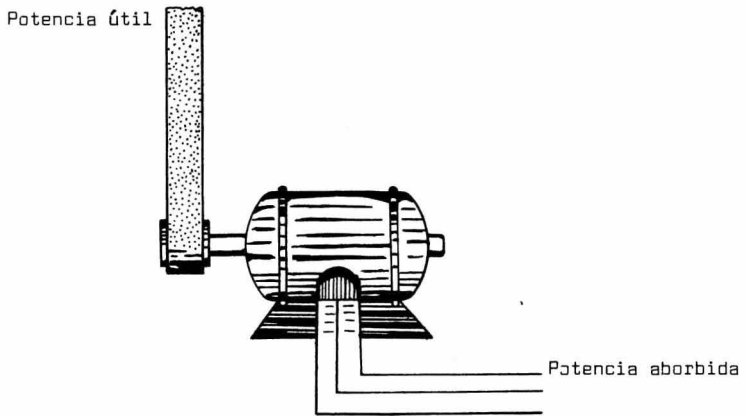


Fig. 25. Diferencia de las dos potencias