



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICOS DE  
ALTA EFICIENCIA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A:**

**GERARDO IVÁN AGUILAR CORONA**

**ASESOR : ING. VÍCTOR HUGO LANDA OROZCO**

**Cuautilán Izcalli, Estado de México 2019.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales

de la FES Cuautitlán.  
EXÁMENES PROFESIONALES

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Motores de inducción trifásicos de alta eficiencia

Que presenta el pasante: GERARDO IVÁN AGUILAR CORONA

Con número de cuenta: 30600323-5 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica

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

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 28 de Noviembre de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en I. Benjamín Contreras Santacruz	
VOCAL	Ing. Víctor Hugo Landa Orozco	
SECRETARIO	Ing. José Gustavo Orozco Hernández	
1er. SUPLENTE	M. en I. Jaime Fuentes Sánchez	
2do. SUPLENTE	Ing. Arturo Ávila Vázquez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

*Al alma de mi madre,  
A mi hijo Santiago y A mi esposa Susana*

## Índice

1. Conceptos fundamentales.....	9
1.1 Ley de ampere.....	10
1.1.1 Campo magnético y diferencial de longitud.....	10
1.1.2 Permeabilidad magnética.....	12
1.2 Carga eléctrica.....	14
1.3 Ley de Coulomb.....	14
1.3.1 Coulomb y relación con el ampere.....	15
1.4 Voltaje.....	16
1.4.1 Definiciones más usuales.....	16
1.4.2 Relación de Voltaje con la ley de Coulomb.....	16
1.4.3 Campo Eléctrico.....	17
1.5 Ley de Faraday.....	19
1.6 Volt.....	20
1.6.1 Energía potencial.....	21
1.6.2 Joule.....	22
1.7 Corriente alterna y directa.....	23
1.7.1 Sistema de distribución de la corriente alterna.....	25
1.7.2 Sistema monofásico.....	25
1.7.3 Sistema bifásico.....	26
1.7.4 Sistema trifásico.....	27
2. El motor de inducción.....	28
2.1 Principio de inducción.....	29
2.2 Elementos del motor de inducción trifásico.....	30
2.2.1 Estator .....	31
2.2.1.1 Bobinado concéntrico.....	31
2.2.1.2 Bobinado excéntrico.....	32
2.2.2 Rotor.....	33

2.2.2.1 Jaula de Ardilla.....	33
2.2.2.2 Motor con rotor devanado o de anillos deslizantes.....	35
2.3 Conexión de los motores trifásicos.....	36
2.3.1 Conexión estrella.....	36
2.3.2 Conexión delta.....	37
2.3.3 Características de ambas conexiones.....	37
2.4 Campo magnético del motor.....	38
2.5 Circuito equivalente del motor de inducción trifásico.....	42
2.5.2 Análisis de las magnitudes del circuito equivalente.....	44
2.5.3 Pérdidas del motor de inducción.....	47
2.5.3.1 Perdidas en los conductores.....	47
2.5.4 Diagrama de pérdidas y su cálculo.....	49
2.5.5 Torque.....	52
2.6 Problemas de Visualización .....	54
2.7 Glosario.....	59
3. Motores trifásicos de inducción de alta eficiencia.....	60
3.1 Introducción.....	61
3.2 Factor de potencia y eficiencia en los motores.....	62
3.2.1 Impedancia, Resistencia y Reactancia.....	62
3.2.1.1 Resistencia.....	62
3.2.1.2 Reactancia.....	63
3.2.1.2.1 Reactancia Inductiva.....	63
3.2.1.2.2 Reactancia Capacitiva.....	63
3.2.1.3 Impedancia.....	64
3.2.2 Triangulo de potencias.....	64
3.2.2.1 Potencia activa o resistiva.....	65
3.2.2.2 Potencia reactiva.....	66
3.2.2.3 Potencia aparente.....	67

3.3 Corrección del bajo factor de potencia.....	68
3.3.1 Banco de capacitores.....	69
3.3.1.1 tipos de conexión del banco de capacitores.....	70
3.3.1.1.1 Corrección del factor de potencia distribuida .....	70
3.3.1.1.2 Corrección por grupos.....	71
3.3.1.1.3 Corrección centralizada.....	71
3.3.1.1.4 Conexión mixta.....	72
3.3.1.1.5 Corrección automatizada .....	72
3.3.1.2 Visualización de la corrección del factor de potencia.....	73
3.4 Motores de inducción de alta eficiencia.....	74
3.4.1 Mejora de componentes.....	74
3.4.1.1 Rotor de cobre.....	75
3.4.1.2 Diseño aerodinámico.....	75
3.4.1.3 Medidas para la reducción de pérdidas.....	76
3.4.2 Características de fabricación.....	77
3.4.3 Ventajas de los motores de alta eficiencia.....	77
3.4.4 Limitaciones de los motores de alta eficiencia.....	77
3.4.5 Factores que se deben tomar en cuenta para su instalación.....	78
3.4.6 Instituciones regulatorias.....	79
4. Software.....	80
4.1 Prueba del software.....	159
5. Bibliografía.....	164
6. Cibergrafía.....	164

## **Resumen**

A lo largo del trabajo se mencionan las distintas leyes y enunciados que han dado forma a la electricidad a través de los años con el fin de comprender desde las bases el comportamiento de esta. Este repaso por la historia de la electricidad es para comprender del todo los fenómenos que se suscitan a partir de la presencia de esta y así poder explicar el funcionamiento del motor desde la teoría electromagnética; que es la principal responsable del principio de inducción en el motor.

La estructura de la tesis tiene como objetivo primero cumplir con lo anterior un antecedente de la electricidad en general para dar paso a la explicación del principio de inducción del motor. Las magnitudes que intervienen en las pérdidas de energía que sufre el motor mientras realiza este proceso y dar una vista más general y práctica lo que sucede dentro del motor al conectarlo a una red de alimentación trifásica. Los conceptos vistos en este apartado serán

- a) Magnitudes que alimentan al motor.
- b) Naturaleza de las pérdidas de energía que el motor tiene por su principio de funcionamiento.
- c) Magnitudes inducidas por el mismo proceso electromagnético.
- d) Potencia que el motor es capaz de entregar.
- e) Torque o fuerza que el motor es capaz de entregar.
- f) Eficiencia del motor de inducción trifásico

Toda esta información recabada en el escrito es para que el lector vaya reduciendo dudas en torno al tema de motores una vez repasando estos conceptos se hablara de la eficiencia de este.

Cuando hablamos de eficiencia del motor nos referimos a cómo mejorar su funcionabilidad y su vida útil sin gastar más energía; que aunque suene muy sencillo en primera instancia requiere de todo este marco teórico para poder ser bien asimilado. Dando paso así a hablar de la alta eficiencia donde se abordara el tema del ahorro energético. De cómo el motor puede gastar menos energía y cómo podemos hacer mejoras en este para que no pierda tanta en los procesos que por naturaleza debe de tener por ser motor.

Al final de este apartado se ha desarrollado un software que tiene como propósito ser una calculadora de variables del motor de inducción trifásico. Con el objetivo de ayudar al lector a resolver problemas de esta asignatura y así se pueda ayudar para un examen o en un problema de la vida real.

Con la ayuda de este software podremos ver como la eficiencia del motor aumenta si se disminuyen las pérdidas que el motor tiene por naturaleza; de una manera dinámica rápida y práctica.

No me queda más que desear que tanto el escrito como el software sean de utilidad para el lector y que no le resulte complicada su lectura ni que tenga más dudas a partir de esta ya que se desarrollaron con la intención de ser una herramienta práctica de estudio.



## **Introducción**

Al leer el trabajo se puede constatar que se cumple el punto de entender los principios de la electricidad y el electromagnetismo y una vez que estos conceptos se hacen claros podemos ver cómo es que se idealizó el principio de inducción.

La invención de este motor se le atribuye a Nicola Tesla que en el año de 1888 publicó la primera patente de un motor de inducción de corriente alterna. Que como se menciona en el escrito es una aplicación muy ingeniosa de las propiedades físicas que tiene la electricidad.

Si lo pensamos un poco para los tiempos en que Tesla iniciaba su vocación de creador e inventor ya había en las escuelas una educación sobre electricidad ya se habían divulgado las primeras leyes que describen el comportamiento de las cargas y ya se enseñaban sobre ellas por lo que con un poco de genio y una observación detenida del comportamiento de la electricidad Tesla desarrolló muchas patentes básicamente teniendo lo que había aprendido en las escuelas en sus trabajos y de su genio particular.

Algo similar busca esta tesis que partiendo desde las mismas bases de la electricidad se asimile el concepto de inducción y una vez que se asimile como trabaja el motor se entienda la eficiencia de un motor y observando nuestro entorno se llegue a la conclusión de que se necesita una mejora en ella para tener un menor consumo de energía eléctrica y así una disminución de contaminación.

Incluso en partes del escrito se llega a ser contradictorio el argumento ya que si lo vemos desde el punto de vista monetario no es viable modificar todos los motores por motores más caros que no consumen tanta energía y hacen lo mismo. Pero si estamos en un juicio entre que es lo mejor para nosotros no pensaríamos tanto en lo monetario sino en cómo salvar a nuestro entorno.

En lo que respecta del software sometiéndolo a varias pruebas con problemas distintos da los resultados correctos por lo que se puede concluir que es práctico su uso, rápido y dinámico permitiendo interactuar con el programa y preguntarle variables que se desconocen.

En conjunto llego a la conclusión de que estoy dando a la facultad a la cual le debo tanto una herramienta práctica capaz de despejar dudas sobre esta materia y que aborda temas necesarios para la completa comprensión de la materia de motores de inducción. No me queda más que desear que el lector se beneficie de este trabajo y no lo encuentre un estorbo si lo decidió leer.

## **Marco teórico**

### **Motores de inducción de alta eficiencia**

En la actualidad la demanda de este tipo de motores es tal que el 70% de los motores en la industria a nivel mundial son del tipo jaula de ardilla lo que independientemente del uso que se les den o el país donde se encuentren son un gran consumidor de energía lo que hace necesario implementar medidas para disminuir este consumo de energía.

En la actualidad la contaminación al ambiente no es un tema que alarme pero claramente debemos de empezar a cuidar nuestro entorno ya que será el hogar también para la familia de nuestros hijos olvidándonos un poco de las retribuciones económicas podemos hacer un cambio significativo para el planeta.

Siendo la industria de producción de energía eléctrica una de las que más contaminantes a nivel mundial. Haríamos un gran avance si este 70% de motores a nivel mundial disminuyeran la energía que demandan y sigamos disfrutando de sus beneficios.

### **Hipótesis:**

Con la ayuda de los principios básicos en electricidad se puede llegar al tema de electromagnetismo que es el principal responsable del funcionamiento del motor de inducción y con ayuda de este conocimiento se pueden entender los procedimientos a seguir para hacer un motor más eficiente disminuyendo pérdidas de energía a lo largo de los procesos electromagnéticos que el motor tiene por sí mismo haciendo disminuyendo la energía eléctrica que consume el motor para realizar su principio de funcionamiento.

Con estas implementaciones muy futuristas para la fecha actual se puede hacer un cambio significativo en la demanda de energía eléctrica en la industria contribuyendo a la disminución de la contaminación por obtener energía. Y hacer nuestros procesos más eficientes y más duraderos logrando hacer un avance significativo en nuestro entorno y nuestras vidas.

## **Objetivo**

El presente trabajo tiene como cometido principal dejar claro el concepto de electricidad. Y a su vez las consecuencias de su presencia por lo que también abordaremos el concepto de electromagnetismo que son los principales responsables del principio de inducción del motor trifásico. Este repaso de conceptos vistos durante la carrera es para tener la idea concisa de que factores y que magnitudes intervienen en la operación de un motor.

Todo lo anterior para poder dar paso al estudio de la eficiencia del motor; en otras palabras como hacer que el consumo que eléctrico que demanda el motor se aproveche lo máximo posible reflejado en el funcionamiento de este. El escrito tiene como objetivo dar un repaso general de las variables que tienen que ver con la operación del motor de inducción. Para después sumergirnos en las variables de este y con este marco introductorio comprender que es la eficiencia del motor y como se puede mejorar aparte de dejar un software para cálculo de variables que tiene como finalidad el ser una herramienta práctica y rápida para esta asignatura.

Particularmente este trabajo va orientado para los alumnos interesados en el tema de motores de inducción en general; ya que muchas veces por la presión del tiempo o simplemente por el plan de los profesores se dan por hecho que muchos conceptos ya están aprendidos y asimilados lo que produce una confusión entre conceptos o el desinterés en la disciplina.

Yo en particular fui víctima de estas circunstancias por lo que aparte de querer hacer una tesis de motores de inducción de alta eficiencia mi orientación fue dejarme claro a mí mismo todos los conceptos que no me quedaban del todo claros o que desconocía e incluso que no vi a lo largo de la carrera pero que la vida laboral ya me exigía saber.

Aparte de responder posibles dudas esta tesis incluye un software que es una calculadora de variables del motor de inducción que puede ser un gran apoyo al momento de estudiar al motor de inducción haciendo más dinámico el aprendizaje de esta disciplina tan amplia y que tan poco tiempo que dan para aprenderla.

## **Metodología:**

La información esta recabada de libros de física, de electricidad, manuales industriales, apuntes de clase, asesorías con ingenieros relacionadas en estas asignaturas (tanto como de eléctrica y como de física en general), Videos tutoriales en internet, documentales (tanto en internet como en televisión) y en la experiencia que me dio el trabajo que incluye el desarme y limpieza de motores de inducción trifásicos, conexión y desconexión de estos así como montajes y mantenimiento preventivo.

La elaboración del software es resultado de lo aprendido a lo largo del área de estudio de terminación de la carrera que en mi caso fue macatrónica es una manera de hacer una referencia de esta situación.

# ***Capítulo 1***

## ***Conceptos fundamentales***



## 1.1 Ley de Ampere

Enunciado:

“La circulación de la intensidad del campo magnético en un contorno cerrado es igual a la suma algebraica de las corrientes encerradas o enlazadas por el contorno multiplicadas por la permeabilidad del espacio libre”.

El campo magnético es un campo vectorial con forma circular, cuyas líneas encierran la corriente. La dirección del campo en un punto es tangencial al círculo que encierra la corriente. El campo magnético disminuye inversamente con la distancia al conductor.

Su expresión matemática es:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 * I_{\text{Encerrada por el campo}} \quad (1.1)$$

La ley de ampere no nos dice que es un ampere. Pero está abordando un tema fundamental en los motores de inducción que es el de “campo magnético”.

A continuación se explicará todos los componentes de la fórmula 1.1.

### 1.1.1 Campo magnético $\vec{B}$ y diferencial de longitud $d\vec{l}$

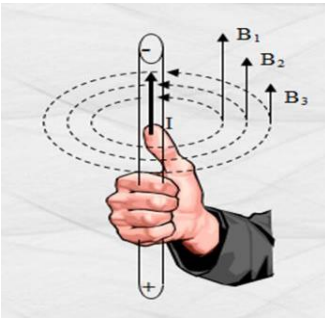


Figura 1.1

La figura 1.1. Nos muestra “la regla de la mano derecha” que es la representación del sentido de la corriente y el sentido del campo magnético que genera. Consiste en poner el dedo gordo de la mano derecha apuntando hacia dónde se dirige la corriente y los 4 dedos restantes nos indican el sentido del campo magnético que genera dicha corriente.

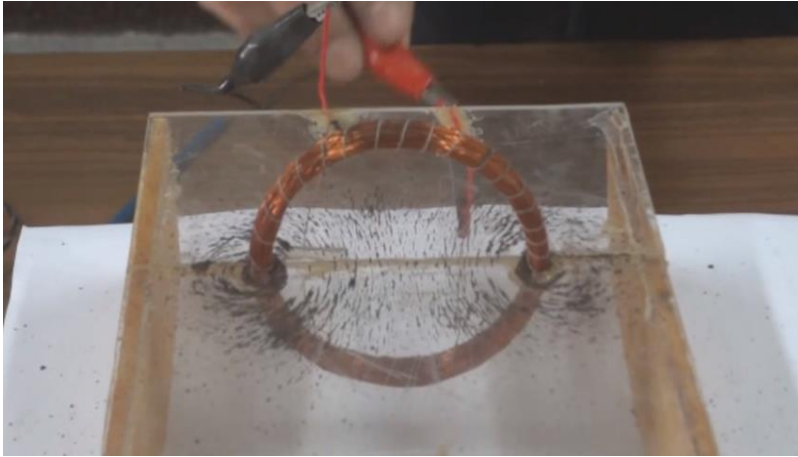


Figura 1.2

En la figura 1.2; Podemos observar un experimento con un embobinado “inducido” y limaduras de hierro consiste en visualizar el comportamiento del espacio cercano a la bobina cuando se hace pasar corriente por esta. Las limaduras reaccionan creando “círculos” encerrando al conductor. Estos círculos dibujan al campo magnético generado por la corriente que pasa en ese momento, también podemos observar que las líneas que forman los círculos no son circulares del todo sino que son líneas rectas que se repiten una infinidad de veces sobre el perímetro del círculo creado por la cercanía o lejanía de las limaduras a la bobina energizada.

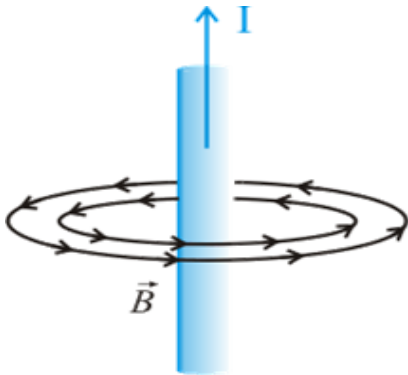


Figura 1.3

Figura 1.3; esta figura nos da una idea teórica de lo que pasa en la experimentación. Se crean círculos encerrando al conductor, pero la intensidad del campo magnético disminuye si se aleja del conductor inducido. es lo que le ocurre a las limaduras de hierro de la figura 1.2 se puede observar que se crean círculos y conforme se van alejando del embobinado van perdiendo simetría hasta hacerse una línea recta que significa que está chocando con el campo magnético del otro lado de la bobina. Esto ocurre una infinidad de veces en cada punto a lo largo de la separación entre las partes de la bobina.

Volviendo a la ecuación (1.1)

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 * I_{\text{Encerrada por el campo}} \quad (1.1)$$

El vector  $\vec{B}$  es una magnitud vectorial y esto significa que es una línea que posee magnitud y sentido.  $d\vec{l}$  Es el valor que se refiere a la infinidad de puntos que conforman el perímetro del círculo y en los que se repetirá  $\vec{B}$ .

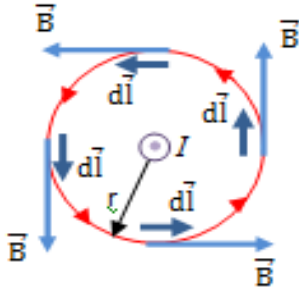


Figura 1.4

Los vectores  $\vec{B}$  y  $d\vec{l}$  siempre van a ser tomados *tangentes* a la circunferencia como se muestra en la figura 1.4. Esto significa que para los cálculos y demostraciones estas vectores solo tocarán la circunferencia que se desea evaluar a la longitud  $r$ .

Para seguir con la demostración recordaremos “*el producto punto*” o producto escalar de dos vectores es un número real que resulta al multiplicar el producto de sus módulos por el coseno del ángulo que forman.

$$\vec{U} \cdot \vec{V} = |\vec{U}| \cdot |\vec{V}| \cdot \cos(\alpha)$$

Tomando en cuenta que los 2 vectores se consideran tangentes a la circunferencia trazada en el mismo punto y que estos se repiten una infinidad de veces a lo largo del perímetro sin perder sus propiedades escalares. Se tendrá en cuenta que el coseno de  $\alpha$  es igual a cero y tendrá el valor de 1 por lo que nos quedará la multiplicación del valor absoluto de las magnitudes de los 2 vectores entonces podemos considerar lo siguiente.

$$\oint_C |\vec{B}| \cdot |d\vec{l}| \cdot \cos(0) = \mu_0 * I_{Encerrada\ por\ el\ campo} \tag{1.2}$$

### 1.1.2 Permeabilidad magnética ( $\mu_0$ )

La permeabilidad magnética nos indica con qué facilidad atraviesa el campo magnético la materia, o sea si esta es buena conductora o no del campo magnético. La permeabilidad es una característica magnética de la materia (por ejemplo del aire, cartón, aluminio, hierro). La permeabilidad se considera baja en el vacío y es elevada en materiales como el hierro.

La permeabilidad del vacío, conocida también como *constante magnética*, se representa mediante el símbolo  $\mu_0$  y en el sistema internacional de unidades se define como:

$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \frac{\text{Newton}}{\text{Ampere}^2}$$

Regresando a la ecuación 1.2

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} \cdot \cos(0) = \mu_0 * I_{\text{Encerrada por el campo}} \quad (1.2)$$

El valor absoluto del valor del campo magnético puede salir de la integral

$$B \oint_C dl = \mu_0 * I_{\text{Encerrada por el campo}} \quad (1.3)$$

La operación contraria a la diferencial es la integral por lo que se eliminan y queda de la siguiente manera.

$$B * l = \mu_0 * I_{\text{Encerrada por el campo}} \quad (1.4)$$

$l = \text{longitud total del perímetro} = \text{diametro} * \pi$

*o de la forma más común encontrada*  $l = 2 * \text{radio} * \pi$

Entonces el campo magnético generado por el conductor circular cuando se le pasa una corriente será igual a:

$$B = \frac{\mu_0 * I_{\text{Encerrada por el campo}}}{2 * \pi * \text{radio}} \quad (1.5)$$

Dónde:

B: campo magnético (en Teslas)

$\mu_0$ : permeabilidad magnética del aire en el vacío (en Newton/ampere<sup>2</sup>)

I : Es la corriente eléctrica que pasa por el conductor (Ampere)

Radio: la distancia del centro a la distancia donde se desea evaluar el campo magnético (metros)

Y aplicando el análisis dimensional tenemos que.

$$B = \frac{\frac{\text{Newton}}{\text{Ampere}^2} * \frac{\text{Ampere}}{1}}{\frac{\text{metro}}{1}} = \frac{\frac{\text{Newton}}{\text{Ampere}}}{\frac{\text{Metro}}{1}} = \frac{\text{Newton}}{\text{Ampere} * \text{Metro}} = \text{Teslas}$$



## 1.2 Carga eléctrica

La Carga Eléctrica es aquella propiedad de determinadas partículas subatómicas que se produce cuando se relacionan unas con otras, esta interacción es electromagnética y se hace con las cargas positivas y negativas de la partícula. Cualquier elemento considerado materia tiene un conjunto de cargas, positivas y negativas.

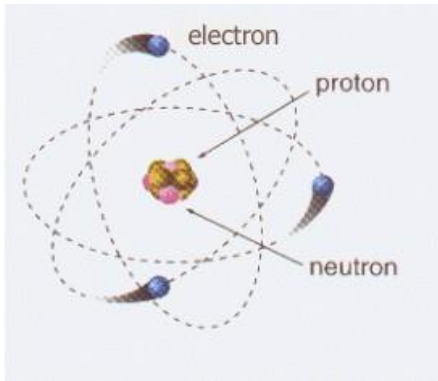


Figura 1.5

Existen dos tipos de cargas eléctricas, cargas positivas y cargas negativas, según la Ley de Coulomb, se establece que las cargas iguales se repelen, las cargas diferentes se atraen.

## 1.3 Ley de coulomb

En 1785, Charles Agustín de Coulomb (1736-1806), físico e ingeniero francés enunció las leyes sobre el rozamiento, presentó en la Academia de Ciencias de París, una memoria en la que se recogían sus experimentos realizados sobre cuerpos cargados, y cuyas conclusiones se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Los cuerpos cargados sufren una fuerza de atracción o repulsión al aproximarse.
- El valor de dicha fuerza es proporcional al producto (multiplicación) del valor de sus cargas.
- La fuerza es de atracción si las cargas son de signo opuesto y de repulsión si son del mismo signo.
- La fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.

### 1.3.1 Coulomb y relación con el ampere

Las investigaciones actuales de la física apuntan que la carga eléctrica es una propiedad que puede ser cuantificada y la unidad más elemental de carga que se ha encontrado es la carga que tiene el electrón, es decir alrededor de  $1,602\ 176\ 487 \times 10^{-19}$  culombios (C).

El coulomb (C) es la unidad derivada del sistema internacional para la medir la cantidad de electricidad (carga eléctrica). Nombrada en honor del físico francés Charles-Agustín de Coulomb.

Se define como la cantidad de carga transportada en un segundo por una corriente de un amperio. El culombio puede ser negativo o positivo. El culombio negativo equivale a  $6,241\ 509\ 629\ 152\ 650 \times 10^{18}$  veces la carga de un electrón.

Un culombio corresponde a la carga de  $6,241\ 509 \times 10^{18}$  electrones que es el inverso de la carga de un electrón entonces:

$$1 \text{ Coulomb} = \frac{1}{\text{carga elemental del electrón}} = \frac{1}{1.602\ 176\ 487 \times 10^{-19}} = 6.241509647 \times 10^{18}$$

$$1 \text{ Coulomb} = 6.241509647 \times 10^{18} \text{ veces la carga de un electron}$$

$$1 \text{ Coulomb} = 1 \text{ ampere} * \text{segundo}$$

$$1 \text{ ampere} = \frac{1 \text{ coulomb}}{\text{segundo}}$$

Entonces la cantidad de electricidad que hay en un ampere por segundo es de  $6.241509647 \times 10^{18}$  coulomb y esta cantidad de electricidad para darnos una cantidad de electrones en un ampere are la siguiente proporción

$$1 \text{ electron tiene una carga de } 1.602176487 * 10^{-19}$$

$$\text{¿cuantos electrones tendran una carga de } 6,241509629152650 * 10^{18}$$

$$\text{cantidad de electrones} = \frac{1 \text{ electron} * 6,241509629152650 * 10^{18}}{1.602176487 * 10^{-19}} = 3.895644256 * 10^{37}$$

Esta cantidad de electrones es la que se encuentra en la sección transversal de un conductor cuando se tiene una corriente de 1 ampere.

Entonces se puede concluir que un ampere es la cantidad de electricidad que genera la interacción de  $3.895644256 * 10^{37}$  electrones que pasan por la sección trasversal en un punto del hilo conductor.

## 1.4 Voltaje

### 1.4.1 Definiciones más usuales

El voltio o volt es la unidad derivada del sistema Internacional de Unidades para el potencial eléctrico, fuerza electromotriz y el voltaje. Recibe su nombre en honor de Alessandro Volta, quien en 1800 inventó la pila voltaica, la primera batería química.

El voltio se define como la diferencia de potencial a lo largo de un conductor cuando una corriente con una intensidad de un amperio utiliza un vatio de potencia.

El voltio también puede ser definido como la diferencia de potencial existente entre dos puntos tales que hay que realizar un trabajo de 1 julio para trasladar del uno al otro la carga de 1 coulomb.

### 1.4.2 Relación de voltaje con la ley de coulomb

En el caso del ampere para su definición y visualización solo usamos las magnitudes de las cargas elementales. Para el caso del voltaje debemos hacer uso de los postulados que la conforman y de su ecuación.

Recordando un poco; la ley de coulomb se puede resumir en 4 postulados que son:

- Los cuerpos cargados sufren una fuerza de atracción o repulsión al aproximarse.
- El valor de dicha fuerza es proporcional al producto (multiplicación) del valor de sus cargas.
- La fuerza es de atracción si las cargas son de signo opuesto y de repulsión si son del mismo signo.
- La fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.

Lo anterior se sintetiza con la siguiente ecuación:

$$\vec{F} = K * \frac{Q_1 * Q_2}{r^2} \quad (1.6)$$

Dónde:

$\vec{F}$  : Es la fuerza eléctrica de atracción o repulsión. En el S.I. se mide en Newton (N).

$Q_1$  y  $Q_2$  : Son los valores de las dos cargas puntuales. En el S.I. se miden en Culombios (C).

$r$  : Es el valor de la distancia que las separa. En el S.I. se mide en metros (m).

$K$  : Es una constante de proporcionalidad llamada constante de la ley de Coulomb. No se trata de una constante universal y depende del medio en el que se encuentren las cargas. En concreto para el vacío  $k$  es aproximadamente  $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$  utilizando unidades en el sistema internacional.

### 1.4.3 El campo eléctrico ( $E$ )

Se define como la fuerza eléctrica por unidad de carga. La dirección del campo se toma como la dirección de la fuerza que ejercería sobre una carga positiva de prueba. El campo eléctrico está dirigido radialmente hacia fuera de una carga positiva y radialmente hacia el interior de una carga puntual negativa.

*En otras palabras, una campo eléctrico es una propiedad del espacio mediante la cual “se propaga” la interacción entre cargas. Una región del espacio donde existe una perturbación tal que a cada punto de dicha región le podemos asignar una magnitud vectorial, llamada intensidad de campo eléctrico  $E$ .*

#### Representación del campo.

Un campo se representa dibujando las llamadas líneas de campo. Para el campo creado por una carga puntual, las líneas de campo son radiales como se muestra en la figura 1.9.

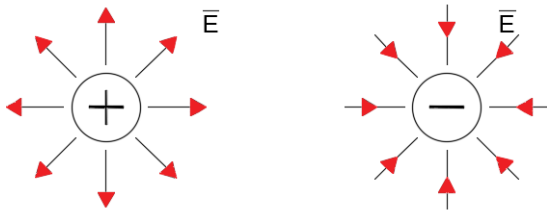


Figura 1.6

Como se muestra en la figura 1.10 para el caso de un campo creado por dos cargas puntuales iguales del mismo signo se repelerán las cargas

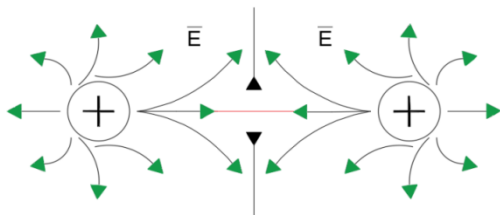


Figura 1.7

Para el caso de un campo creado por dos cargas puntuales iguales de distinto signo como se muestra en la figura 1.11, se atraerán las cargas siempre de un positivo a un negativo.

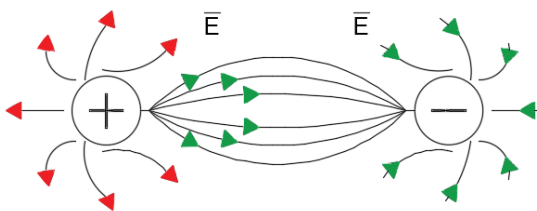


Figura 1.8

La magnitud vectorial de una línea de campo eléctrico en el espacio se puede determinar usando la ecuación 1.6.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \rightarrow \frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb}} \quad (1.7)$$

La magnitud del campo eléctrico total de una carga puntual se puede obtener de la ley de Coulomb y la ecuación 1.4.

$$E = \frac{F}{q} = \frac{K * Q_{Fuente} * q}{q * r^2} = \frac{K * Q_{Fuente}}{r^2} \quad (1.8)$$

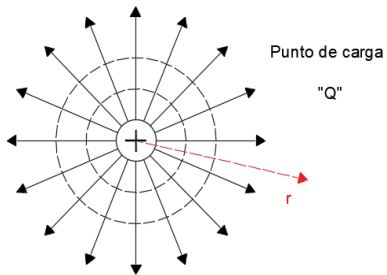


Figura 1.9

## 1.5 Ley de Faraday

El fenómeno de inducción electromagnética se puede resumir en un enunciado más conocido como la ley de Faraday:

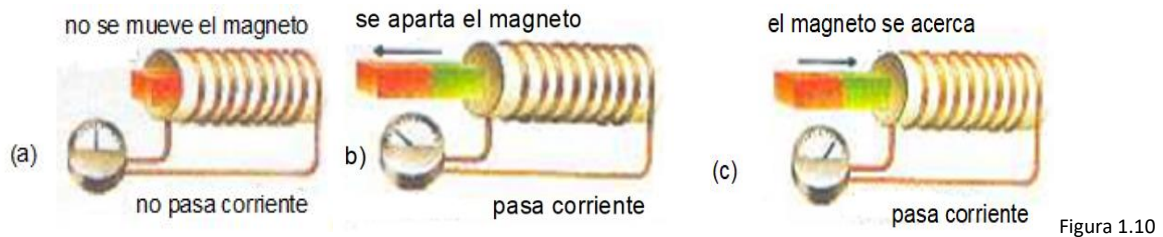
*“El voltaje inducido en una bobina es proporcional al producto del número de espiras y a la razón del cambio del campo magnético dentro de dichas espiras. La magnitud de la corriente que se genere por inducción electromagnética depende no solo del voltaje inducido, sino además de la resistencia de la bobina y del circuito al cual está conectada”.*

La ley de Faraday nos indica lo contrario que si en el área central de un embobinado se introduce un campo magnético se formara una corriente en el hilo conductor del mismo.

En este caso el campo magnético (B) debe estar moviéndose ya que si por ejemplo introducimos un imán en un embobinado y solo se introduce sin moverse no habrá ni una “FEM inducida” la “dirección de la FEM” varia del movimiento del imán como se ve en la figura 1.13

Y así podemos declarar un enunciado al ver estas características

La FEM inducida es directamente proporcional a la rapidez con que cambia con el tiempo el flujo de campo magnético que atraviesa el área que encierra la espira.



Entrando al tema de la FEM y a esta corriente en “sentido contrario” que algunas veces hemos llamado semi ciclo negativo, pero no adelantemos juicios que a aun falta más de la ley de Faraday.

Ya habíamos analizado como la regla de la mano derecha nos ayuda a estudiar el sentido del campo magnético y aquí lo retomamos un poco, pero seguimos con la ley de Faraday

$$FEM_{Inducida} = -N * \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (1.9)$$

Dónde:

$-N$  Es el número de vueltas de la bobina.

$\Phi_B$  Es el flujo de campo magnético.

La derivada no nos indica otra cosa que la variación del flujo de campo magnético respecto del tiempo.

## 1.6 Volt

Partiendo de esta ecuación 1.6 que es la ecuación que sintetiza los estatutos de la ley de Coulomb

$$\vec{F} = K * \frac{Q_1 * Q_2}{r^2} \quad (1.6)$$

Hay que hacer mención de que esta fuerza es conservativa y eso quiere decir que cuando el trabajo de dicha fuerza es igual a la diferencia entre los valores iniciales y final de una función que solo depende de las coordenadas. A dicha función se le denomina energía potencial. Ahora usaremos otra ecuación usada en cinemática que relaciona el trabajo realizado por una fuerza a través de una trayectoria.

$$W = \int_C \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0 \quad (1.10)$$

Como hemos estudiado si aplicas una fuerza sobre una caja y esta se desplaza, decimos que la fuerza que ejercemos realiza un trabajo. De igual forma, si un cuerpo que se encuentra cargado ejerce una fuerza eléctrica de atracción o repulsión sobre otro que también se encuentre cargado, dicha fuerza realizará un trabajo mientras este último se desplace.

$$\vec{W}_{e(A \rightarrow B)} = \vec{F} \cdot \Delta d_{(A \rightarrow B)} \quad (1.11)$$

Las ecuaciones 1.10 y 1.11 b. son prácticamente iguales solo que la integral indica la sumatoria de todos los vectores trabajo a lo largo de una trayectoria de A a B que son por así decirlo una infinidad de puntos

Y recordando la ecuación 1.7 se puede obtener una nueva ecuación:

$$\begin{aligned} \vec{F} &= q * \vec{E} \quad (\text{forma despejada de la ecuación 1.7}) \\ W &= -\Delta U \end{aligned} \quad (1.12)$$

Dónde:

$W$  : Trabajo debido a la fuerza de atracción o repulsión

$\vec{F}$  : Es una magnitud vectorial que indica la fuerza de atracción o repulsión de dos cargas en el espacio

$-\Delta U$  es el cambio de energía potencial.

$\vec{E}$  : La magnitud vectorial de una línea de campo eléctrico en el espacio.

### 1.6.1 energía potencial.

La energía potencial es una energía que resulta de la posición o configuración del objeto. Un objeto puede tener la capacidad para realizar trabajo como consecuencia de su posición en un campo gravitacional (energía potencial gravitacional), un campo eléctrico (energía potencial eléctrica), o un campo magnético (energía potencial magnética). Puede tener energía potencial elástica como resultado de un muelle estirado u otra deformación elástica.

#### **Energía potencial eléctrica**

Como en el inciso anterior se mencionó la energía potencial se puede definir como la capacidad para realizar trabajo que surge de la posición o configuración. En el caso eléctrico, una carga ejercerá una fuerza sobre cualquier otra carga y la energía potencial surge del conjunto de cargas. Por ejemplo, si fijamos en cualquier punto del espacio una carga positiva  $Q$ , cualquier otra carga positiva que se traiga a su cercanía, experimentará una fuerza de repulsión y por lo tanto tendrá energía potencial. La energía potencial de una carga de prueba  $q$  en las inmediaciones de esta fuente de carga será:

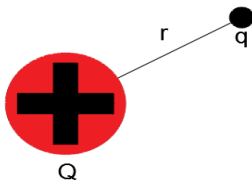


Figura 1.11

$$U = \frac{K * Q * q}{r} \quad (1.13)$$

Dónde  $K$  es la constante de Coulomb.

***En electricidad, normalmente es más conveniente usar la energía potencial eléctrica por unidad de carga, llamado expresamente potencial eléctrico o voltaje.***

Ahora volvamos a las ecuaciones de campo eléctrico y de trabajo

Recordando la ecuación 1.7 y la ecuación 1.10

$$W = \int_C \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_C q * \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (1.14)$$

Tomando en cuenta de que la carga es una constante se tendrá una nueva ecuación.

$$\frac{W}{q} = \int_C \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (1.15)$$

Y recordando la ecuación 1.13

$$\frac{-\Delta U}{q} = \int_C \vec{E} \cdot d\vec{l} \rightarrow \frac{\Delta U}{q} = - \int_C \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (1.16)$$



**Y haciendo caso a nuestra recomendación:**

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} \tag{1.17}$$

$$\Delta V = \frac{\text{Joules}}{\text{coulomb}} = \text{Voltaje}$$

**Entonces podemos decir que  $\Delta V$  es el trabajo por unidad de carga para transportar una carga de un punto "a" a un punto "b"**

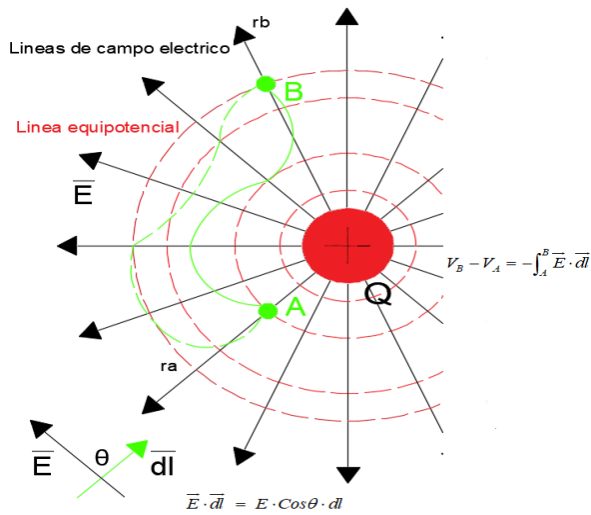


Figura 1.12

La integral tiene el mismo valor a lo largo de cualquiera de las trayectorias indicadas entre A y B debido a la naturaleza conservadora del campo eléctrico como se indica en la figura 1.21.

### 1.6.2 Joule

Unidad de trabajo, energía y cantidad de calor del Sistema Internacional, de símbolo  $J$ , que equivale al trabajo producido por la fuerza de 1 newton al desplazar un cuerpo una distancia de 1 m en la misma dirección y sentido.

La energía cinética (movimiento) de un cuerpo con una masa de dos kilogramos, que se mueve con una velocidad de un metro por segundo (m/s) en el vacío.

El trabajo necesario para mover una carga eléctrica de un coulomb a través de una tensión (diferencia de potencial) de un volt. Es decir, un volt-coulomb (V·C). Esta relación puede ser utilizada, a su vez, para definir la unidad volt.

El trabajo necesario para producir un watt de potencia durante un segundo. Es decir, un watt-segundo (W·s). Esta relación puede además ser utilizada para definir el watt

## 1.7 Corriente alterna y directa

La diferencia entre la corriente continua y la corriente alterna está en la forma en que fluyen los electrones.



Figura 1.13

En la figura 1.13 vemos la representación de un generador de corriente directa que manda un flujo de electrones a un motor. En corriente directa se envía los electrones a realizar el trabajo y después los electrones regresan al generador, pero hay que tomar en cuenta que aparte de transportarse a lo largo del conductor el electrón o flujo de estos tiene que vencer la resistencia natural del conductor por lo que una gran parte de la energía se pierde en el traslado.

En el caso de la corriente alterna literalmente los electrones viajan hacia el motor (tomando en cuenta el ejemplo anterior) y hacia el generador una y otra vez "n" veces por segundo (a esto se le llama frecuencia). Se "Alterna" la corriente haciéndola avanzar y retroceder como se muestra en las figuras 1.14

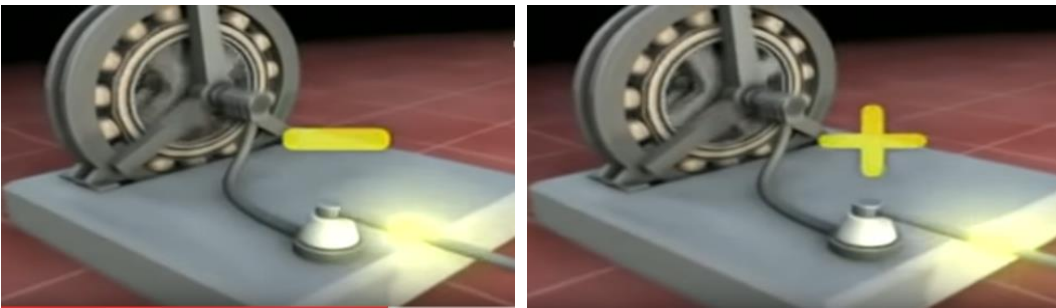


Figura 1.14

Aprovechando lo previamente visto en el marco teórico; las fuerzas de atracción y repulsión generan una energía potencial en los electrones debido a su posición dentro del conductor que a su vez hace que los electrones realicen un trabajo debido a esta fuerza (voltaje). En el caso de la corriente alterna no es necesario que los electrones hagan el recorrido completo a lo largo de todo el conductor haciendo además que las pérdidas eléctricas sean considerablemente menores aprovechando más la energía de los electrones y pudiendo trasportarla a mayores distancias.

## Representación en el eje de coordenadas

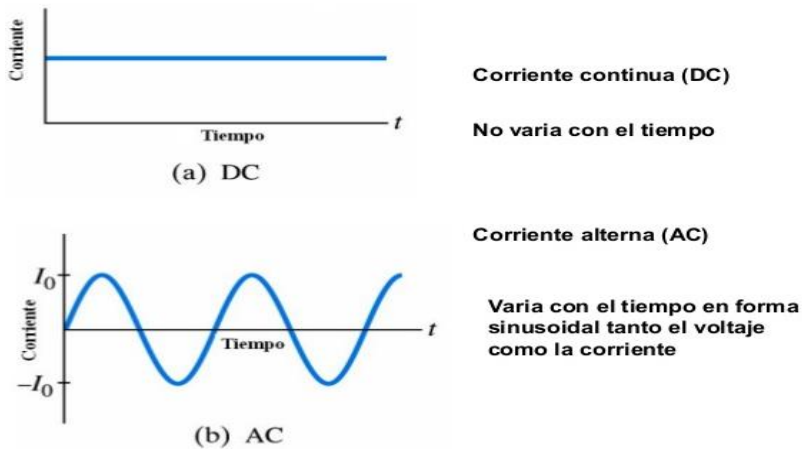


Figura 1.15

Como se puede ver en la figura 1.15 la corriente directa no tiene variaciones en el tiempo. Por lo que haciendo una comparación podemos decir que es como una manguera y un flujo de agua; cada gota tendrá que hacer un recorrido lineal de inicio al final (figura a).

Y en el caso de la corriente alterna se observa que se tiene una variación en el tiempo y de sentido como lo habíamos visto previamente cuando tocamos la ley de Faraday. Al momento de introducir el imán al embobinado la fuerza electro motriz tiene un sentido y al momento de sacarlo tenía otro. De ahí la forma de la senoidal que se ve gráficamente en la figura 1.15 (figura b) y en la figura 1.16 donde se alcanzan picos máximos con respecto al movimiento y posición del imán.

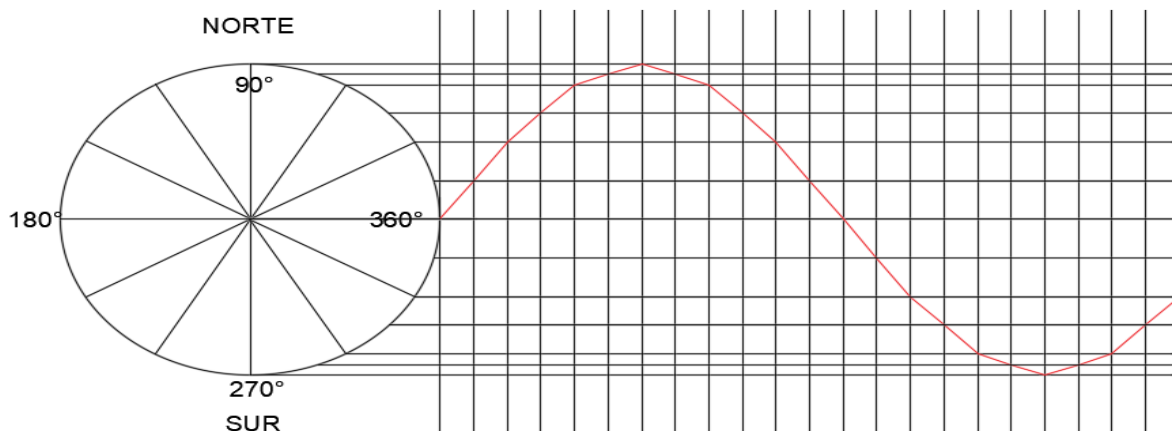


Figura 1.16

Esta es la representación de como la fuerza electromotriz que mueve los electrones en la bobina va alternando el sentido de la señal según se mueven los polos del imán a una bobina a otra.

**1.7.1 Sistema de distribución de la corriente alterna.**

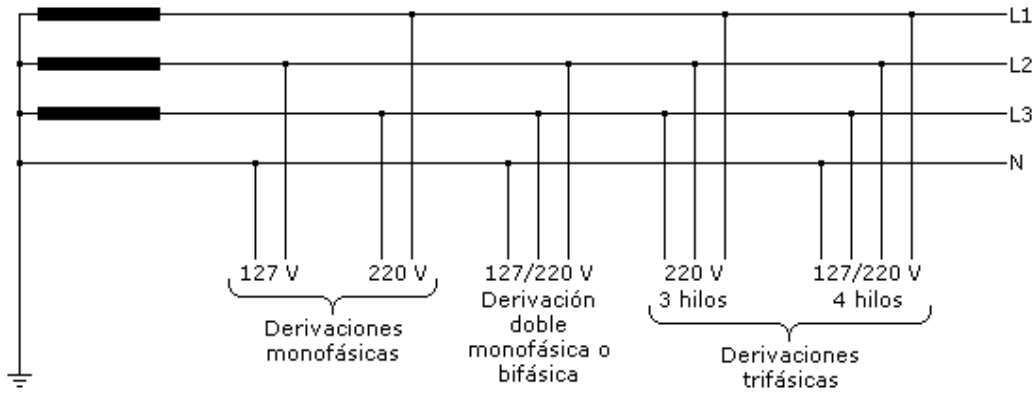


Figura 1.17

El diagrama de la figura 1.20 prácticamente bien nos puede explicar que es un sistema monofásico, bifásico y trifásico solo que hay que tomar en cuenta que el diagrama no corresponde a un poste de luz de la calle si no que estas líneas ya pasaron por un transformador. A continuación, se mencionaran características de los 3 sistemas.

**1.7.2 Sistema monofásico**

Un sistema monofásico es en sí un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por una única corriente alterna o fase y por lo tanto todo el voltaje varía de la misma forma (no hay desfases).

La distribución monofásica de la electricidad se suele usar cuando las cargas son principalmente de iluminación y de calefacción, y para pequeños motores eléctricos. Un suministro monofásico conectado a un motor eléctrico de corriente alterna no producirá un campo magnético giratorio, por lo que los motores monofásicos necesitan circuitos adicionales para su arranque, y son poco usuales para potencias por encima de los 10 kW. El voltaje y la frecuencia de esta corriente dependen del país o región, siendo 230 y 115 Voltios los valores más extendidos para el voltaje y 50 o 60 Hz para la frecuencia.

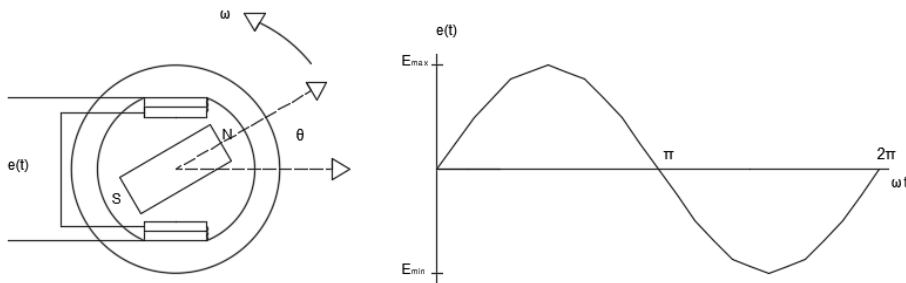


Figura 1.18

La figura 1.21 se puede observar un generador monofásico y señal de salida que tendría el voltaje.

### 1.7.3 Sistema bifásico

El sistema bifásico es aquel que tiene dos sistemas monofásicos senoidales con semejantes valores de amplitud y frecuencia (teóricamente idénticas). Pero estos sistemas tienen la característica de que las dos líneas monofásicas están desfasadas 90 grados eléctricos.

En un generador bifásico se encuentran dos arrollamientos iguales e independientes interconectados en el estator de forma que quedan desplazadas en el espacio 90°

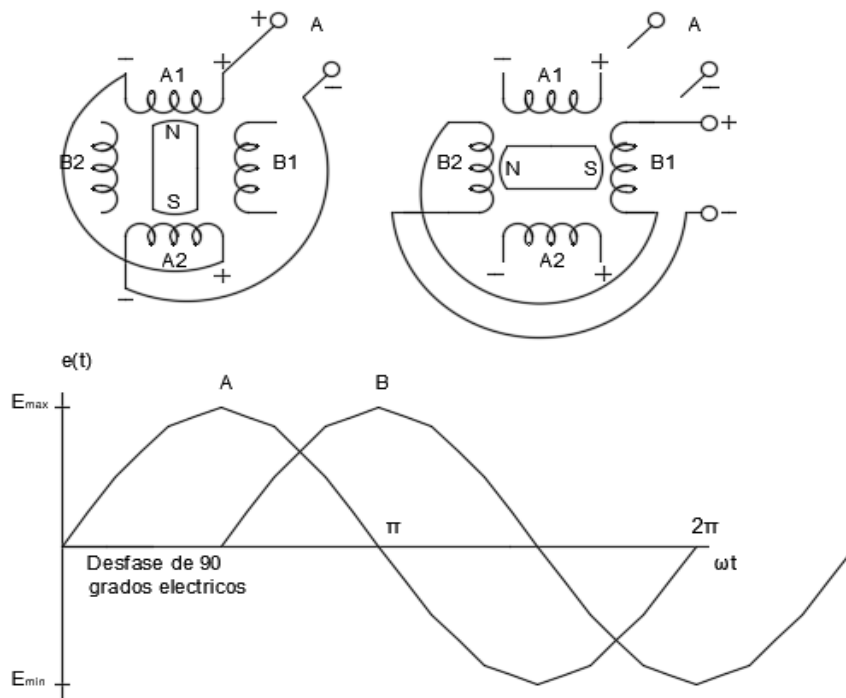


Figura 1.19

En la figura 1.22 se puede observar un generador de corriente bifásica y la señal del voltaje producido por este con un desfase de 90 grados eléctricos.

### 1.7.4 Sistema trifásico

La tensión trifásica, es esencialmente un sistema de tres tensiones alternas, acopladas, (se producen simultáneamente las 3 en un generador), y desfasadas  $120^\circ$  entre sí (o sea un tercio del Periodo).

Estas tensiones se transportan por un sistema de 3 conductores (3 fases), o de cuatro (tres fases + un neutro).

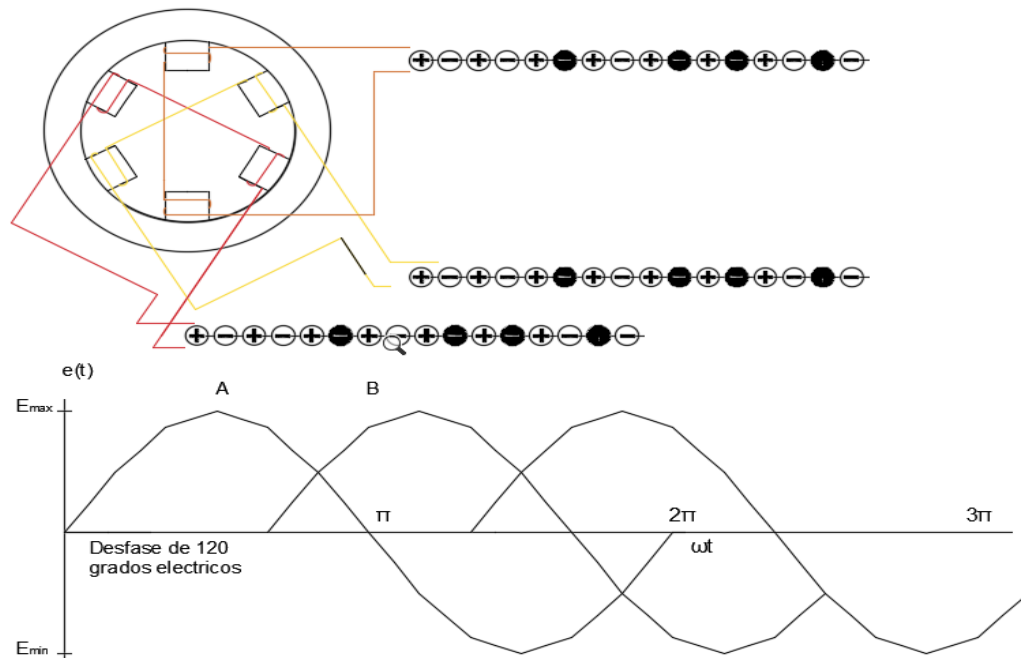


Figura 1.20

En la figura 1.23 se puede observar un generador trifásico donde los embobinados están desfasados  $120^\circ$  grados en el generador y la señal de las 3 corrientes generadas están desfasados  $120$  grados eléctricos entre sí.

***Ahora que ya sabemos que es lo que lleva nuestro cable, como puede ser llevado, como puede ser producido y como puede ser transportado ahora hablemos de nuestro tema los motores como se acoplan estos a las líneas de distribución y sus características principales.***

***A pesar de que hay motores de corriente alterna y directa y cada uno tiene su propio estudio independiente no se mencionaran los de corriente directa por el motivo de prioridad en el escrito por lo que solamente analizaremos los motores de inducción o asíncronos trifásicos.***

## ***Capítulo 2***

### ***El motor de inducción.***



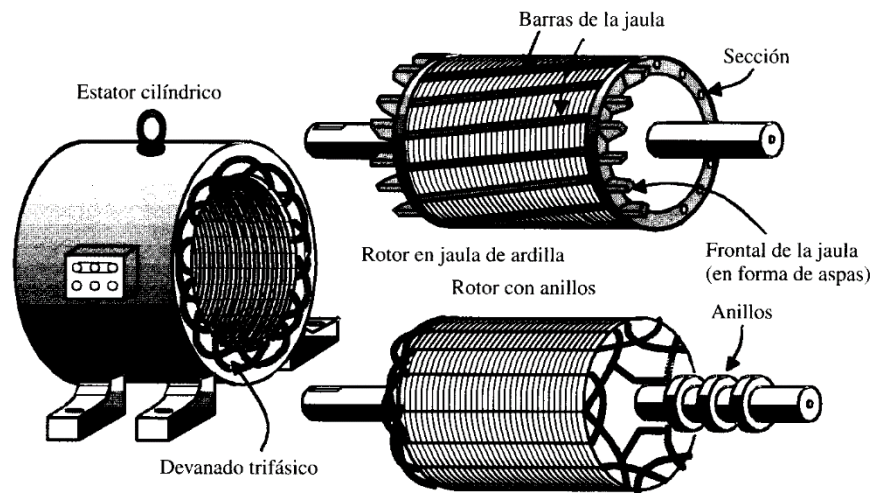
## 2.1 Principio de inducción

### Motor de inducción trifásico

Las máquinas eléctricas son el resultado de una aplicación muy inteligente de los principios del electromagnetismo y en particular de la ley de inducción de Faraday. Se caracterizan por tener circuitos eléctricos y magnéticos entrelazados y realizan una conversión de energía de una forma a otra una de las cuales al menos una es eléctrica; es posible clasificarlas en tres tipos: generadores, motor y transformador.

La diferencia de la máquina asíncrona con los demás tipos de máquinas eléctricas es que no existe corriente conducida a uno de los arrollamientos. La corriente que circula por uno de los devanados (por lo regular en el rotor) se debe a la fuerza electromotriz inducida por la acción del flujo del otro devanado (por lo general el del estator) y por esta razón se denominan máquinas de inducción, pero también reciben el nombre de máquinas asíncronas debido a que la velocidad de giro del rotor no es la de sincronismo impuesta por la frecuencia de la red de alimentación.

La máquina asíncrona al igual que cualquier otro dispositivo de conversión electromecánica de la energía de tipo rotativo está formada de un estator y un rotor. El estator por lo general es el inductor (donde circula la corriente de alimentación eléctrica) y el rotor es el inducido y las corrientes que circulan por el aparecen como consecuencia de la interacción con el flujo del estator. Dependiendo del tipo de rotor estas máquinas se clasifican en rotor en jaula de ardilla o en corto circuito y rotor devanado o con anillos.



Tipos de máquinas asíncronas o de inducción.

Figura 2.1



## 2.2 Elementos del motor de inducción trifásico.

En términos muy generales una máquina eléctrica y síncrona se componen de los mismos componentes

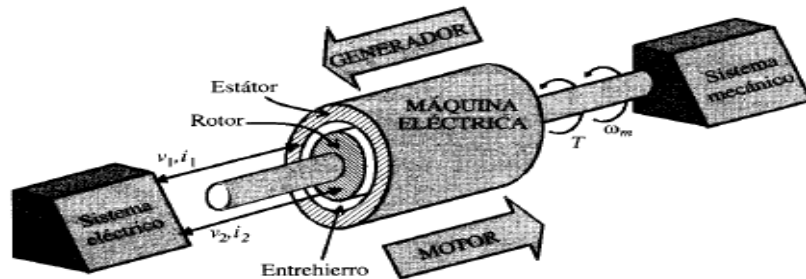


Figura 2.2

En la *figura 2.2* se puede hacer evidente la semejanza que hay del motor con el generador; ya que ambas son máquinas eléctricas rotativas que poseen estator y rotor, aunque cabe mencionar que los motores si pueden funcionar como generadores y viceversa. Pero no cumplen con el rendimiento necesario para cada máquina. Hay que tomar en cuenta que mecánicamente no es tan simple hacer una máquina de otra, aunque funcionan con el mismo principio eléctrico.

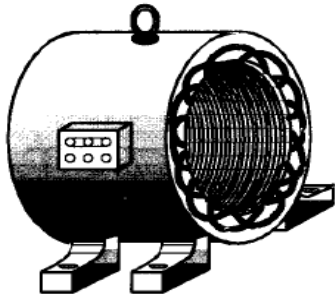
En ambos existe una parte fija que se denomina estator y que tiene forma cilíndrica que en el caso de que se requiera una gran velocidad este cilindro es largo en comparación con su diámetro mientras que para velocidades bajas esta longitud relativamente se acorta.

En la cavidad de estator se coloca el rotor que como su nombre indica es la parte giratoria de la máquina. El rotor se monta en un eje que descansa en dos rodamientos o cojinetes estos a su vez pueden estar montados en sendas que se apoyan en la bancada. El espacio de aire que separa el estator del rotor que por cierto es necesario para que pueda funcionar la máquina se denomina entrehierro u otras veces encontrado como air gap. Siendo el campo magnético existente en el entrehierro el que constituye el medio de acoplamiento entre los sistemas eléctrico y mecánico.

Tanto en el estator como en el rotor existen devanados hechos con conductores de cobre por los que circulan corrientes. Uno de los devanados tiene por cometido crear un flujo magnético en el entrehierro y por ello se denomina inductor; el devanado del rotor recibe el flujo electromagnético resultado de la circulación de corriente en los devanados del estator produciendo una fuerza electromotriz en los devanados del rotor (inducido) y por consecuencia un campo magnético propio que interactuara con el campo del estator produciendo que gire.

### 2.2.1 Estator

El estator está formado por un apilamiento de chapas de acero al silicio que disponen de unas ranuras en su periferia interior en las que se sitúa un devanado distribuido. Está rodeado por la carcasa como se indica en las figuras 2.3 disponiendo de esta las correspondientes patas de fijación y los anillos de elevación y de transporte.



Estátor de un motor asíncrono.



Figuras 2.3 a y 2.3 b

En los motores trifásicos asíncronos o de inducción se pueden tener dos configuraciones de bobinado para el estator que puede ser: concéntricos y excentricos. Ya que el bobinado de motores es materia de otra tesis y un oficio en sí; solo mencionare aspectos fundamentales del bobinado del estator.

#### 2.2.1.1 Bobinado concéntrico.

Se dice que un bobinado de corriente alterna es concéntrico cuando los lados activos de una misma fase, situados frente a polos consecutivos, son unidos mediante conexiones o cabezas concéntricas.

Los bobinados concéntricos pueden ser construidos tanto por polos como por polos consecuentes. La forma de ejecutar los bobinados de una y dos fases es por polos, mientras que en los bobinados trifásicos se realizan por polos consecuentes.

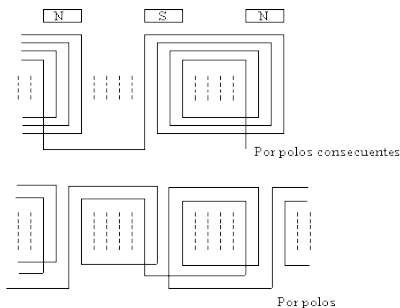


Figura 2.4

#### Polos consecuentes

Se dice que un bobinado es por polos consecuentes, cuando existen por cada fase tantos grupos de bobinas como la mitad de número de polos, es decir tantos grupos como pares de polos.

### 2.2.1.2 Bobinado excéntrico

Se dice que un bobinado de corriente alterna es excéntrico cuando los lados activos de una misma fase, situados frente a polos consecutivos, son unidos mediante un solo tipo de conexiones o cabezas, de forma que el conjunto del bobinado está constituido por un determinado número de bobinas iguales.

Este tipo de bobinado es normalmente ejecutado por polos, pudiendo ser imbricados u ondulados, ejecutándose indistintamente en una o dos capas por ranura. Los bobinados excéntricos pueden ser enteros o fraccionarios, según resulte el valor del número de bobinas por grupo U.

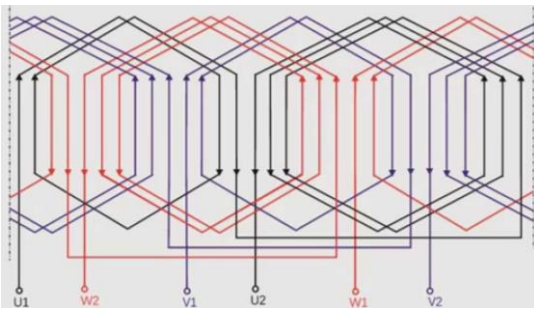


Figura 2.5

$$U = K / 2.p.q$$

Al aplicar la fórmula anterior debemos tener presente que los bobinados de dos capas por ranura, el número de bobinas es igual al de ranuras  $B=K$ , mientras que los de una capa por ranura, el número de bobinas es la mitad que el de ranuras  $B=K/2$

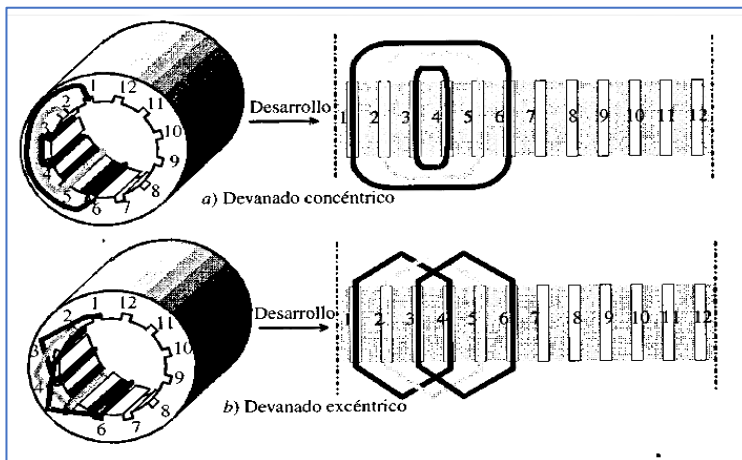


Figura 2.6

En la figura 2.6 se muestra de manera práctica los 2 diferentes tipos de bobinado para el motor de inducción trifásico

### **2.2.2 Rotor**

Para los motores de inducción trifásicos se tienen 2 tipos de rotor que pueden ser: motores con rotor de “jaula de ardilla” y motores de anillos deslizantes. A continuación, se nombrarán las características de cada uno de estos.

#### **2.2.2.1 jaula de ardilla**

El motor de rotor de jaula de ardilla, también llamado de rotor en cortocircuito, es el más sencillo y el más utilizado actualmente. En el núcleo del rotor está construido de chapas estampadas de acero al silicio en el interior de las cuales se disponen unas barras, generalmente de aluminio moldeado a presión. Las barras del devanado van conectadas a unos anillos conductores denominados anillos extremos. El bobinado así dispuesto tiene forma de jaula de ardilla.

Las ranuras del rotor suelen hacerse oblicuas respecto al eje para evitar así puntos muertos en la inducción electromagnética.

Un inconveniente de los motores con rotor de jaula de ardilla es que en el arranque absorbe una corriente muy intensa (de 4 a 7 veces la nominal o asignada), y lo hace además con un bajo factor de potencia, y a pesar de ello, el par de arranque suele ser bajo.

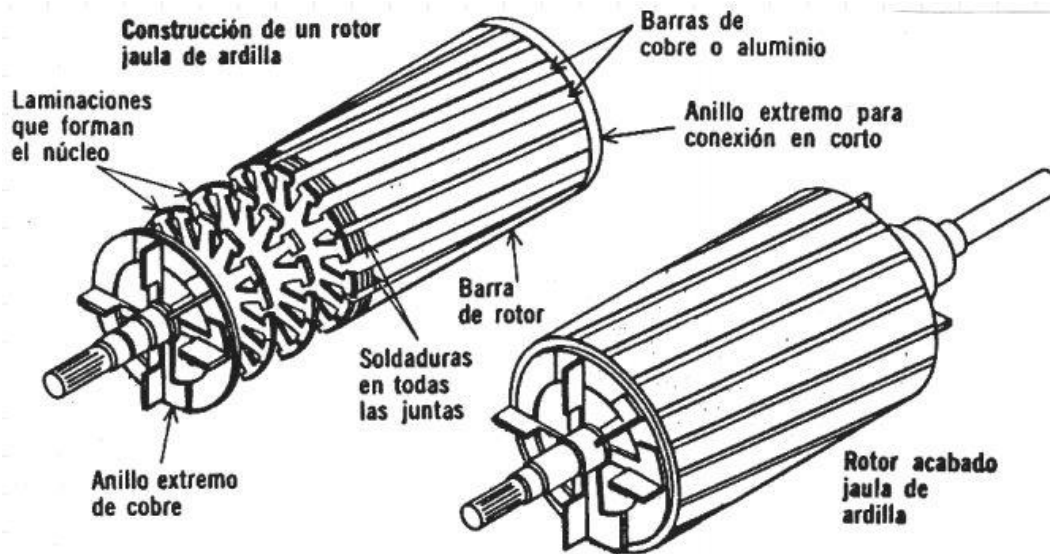
La baja resistencia del rotor hace que los motores de jaula de ardilla tengan excelentes características para marchas a velocidad constante. Hasta hace unos cuantos años (década de los 90), un inconveniente de los motores con rotor de jaula de ardilla era que su velocidad no era regulable, pero actualmente con los variadores de velocidad electrónicos se puede conseguir un control perfecto de la práctica totalidad de parámetros del motor, entre los que destacan el par, la corriente absorbida y la velocidad de giro.

#### ***Ventajas del rotor jaula de ardilla***

- a) Barato en costo
- b) Simple construcción con una buena resistencia
- c) Bajo costo de mantenimiento
- d) A prueba de explosiones
- e) Debido a los anillos puestos en la base esta máquina se puede enfriar mejor
- f) Mayor torque a la salida
- g) Arreglos de conexión más simples
- h) Su capacidad de sobrecarga es elevada
- i) Factor de potencia es considerablemente alto (0.75 – 0.90) considerando diversos factores

#### ***Desventajas***

- a) Un par de arranque inicial bajo debido a la baja resistencia del rotor
- b) No es posible variar la velocidad (por sí mismo)
- c) Bajo factor de potencia con una carga ligera
- d) Sumamente sensitivo al voltaje que lo alimenta



El rotor jaula de ardilla usado en los motores de inducción c-a es extremadamente simple en construcción cuando se compara, por ejemplo, con la armadura de un motor c-c, con todas sus disposiciones y complicaciones de devanado

Figura 2.7

### 2.2.2.2 Motor con rotor devanado o de anillos deslizantes

Son motores asíncronos con un devanado trifásico de cobre dispuesto en las ranuras de rotor, que va conectado a tres anillos metálicos por uno de sus extremos en tanto que por el otro lado se conectan en estrella. De este modo se puede controlar desde el exterior la resistencia total del circuito del rotor, facilitando un control de la velocidad y corriente de arranque con un elevado par de arranque y un mejor factor de potencia que con el rotor en jaula de ardilla.

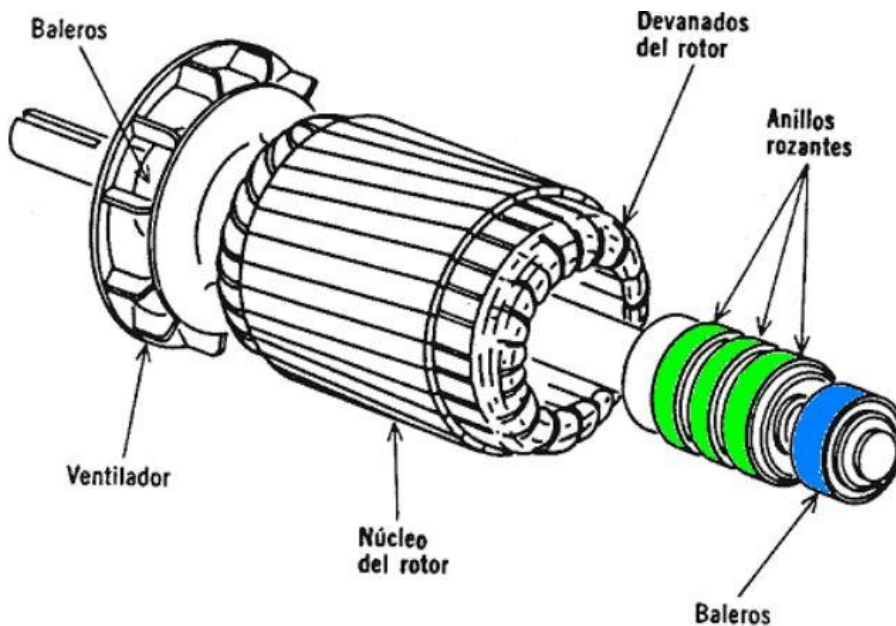


Figura 2.8

En el caso del rotor devanado o con anillos se tiene un arrollamiento similar al situado en el estator (salidos de fábrica) en el que las tres fases se conectan por un lado en estrella como se observa en la figura 2.7 y por el otro se envían aislados entre sí haciendo posible la introducción de resistencias externas por los anillos para limitar las corrientes de arranque mejorar las características del par y controlar la velocidad.

#### Ventajas del rotor devanado

- Alto torque de inicio
- Alta capacidad de sobrecarga
- Mantiene una misma velocidad
- Consume poca corriente al arranque

#### Desventajas

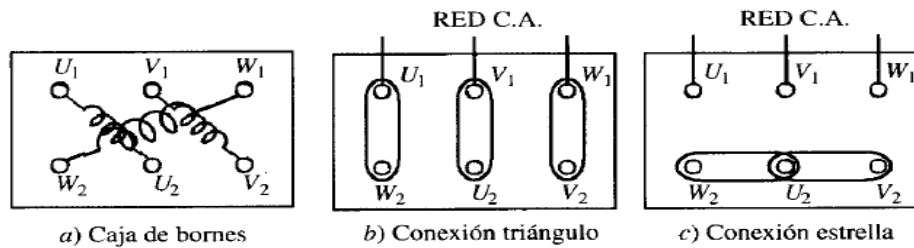
- Bajo factor de potencia con poca carga
- Baja eficiencia
- El costo de mantenimiento es alto
- La regulación de velocidad se logra con resistencias externas conectadas al circuito del rotor.

### 2.3 Conexión de los motores trifásicos

Un detalle importante que hay que considerar en los motores asíncronos es la disposición de las terminales del devanado del estator en la llamada caja de bornes de la máquina.

La caja de bornes de las máquinas de corriente alterna permite conectar los devanados del estator a la red de potencia que alimenta a la máquina o recibe energía de ella.

Según la norma UNE-EN 60034-8, los principios de los arrollamientos del estator se designan con las letras  $U_1$ ,  $V_1$  y  $W_1$  y los extremos finales con  $U_2$ ,  $V_2$  y  $W_2$ . Antiguamente, los principios de los devanados se designaban con  $U$ ,  $V$  y  $W$  y los extremos finales con  $X$ ,  $Y$  y  $Z$ .



Placa de bornes. Conexiones estrella y triángulo.

Figura 2.9

La conexión en triángulo y en estrella de la máquina modifica el valor nominal de tensión de red que debe ser aplicado a la máquina para su correcto funcionamiento, siendo el valor de tensión en estrella  $\sqrt{3}$  veces mayor que la tensión de red en triángulo. Sin embargo, la tensión de fase aplicada a los devanados del estator es la misma para ambas conexiones.

### 2.3.1 Conexión estrella

Las 3 fases del bobinado del motor se encuentran conectadas a un nodo común con un amperaje de alimentación de cada bobina igual que a la de la red.

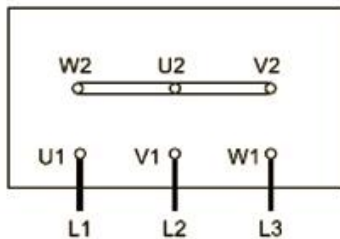
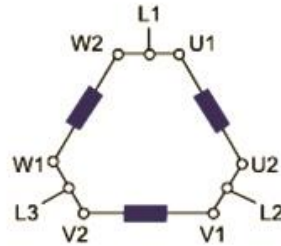
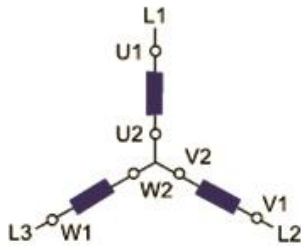


Figura 2.10

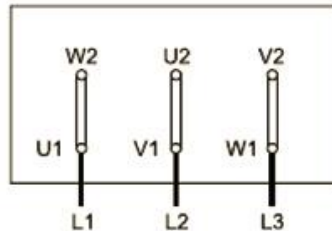


Figura 2.11

### 2.3.2 Conexión delta

Las 3 fases del bobinado del motor se encuentran conectadas en corto circuito conformando un circuito con 3 resistencias en paralelo con un voltaje dividido entre raíz de tres en este caso tendremos una intensidad de corriente igual que la de red circulando por cada fase.

El sentido de giro de la máquina está determinado por el sentido de giro del campo magnético giratorio en el estator. Si se conecta el borne *U1* a la fase *R* el borne *V1* a la fase *S* y el borne *W1* a la fase *T* y el sentido de giro es horario, bastará con permutar dos fases cualesquiera conectando el borne *V1* a la fase *T* y *W1* a la fase *S* por ejemplo- para invertir el sentido de giro independientemente de la conexión en triángulo o en estrella de la máquina.

Como regla general debes recordar que:

- 1.- La tensión mayor y la corriente menor corresponden a la conexión estrella.
- 2.-La tensión menor y la corriente mayor corresponden a la conexión triángulo.
- 3.-La relación entre las dos tensiones y entre las dos corrientes es "raíz de tres"



## 2.4 Campo magnético del motor

Los motores asíncronos o de inducción son motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma que genera la frecuencia de alimentación o la velocidad el campo magnético generado en el estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias.

Un motor de inducción está formado por un rotor y un estator, los devanados que se encuentran en el estator son los inductores mientras que el rotor es el inducido. El estator se encuentra conectado a la red alimentado a una tensión y a una frecuencia. Como consecuencia se producirá un consumo de corriente  $I_1$  y un campo magnético  $\vec{B}$  giratorio que inducirá una fuerza electromotriz " $E_2$ " en el rotor provocando la aparición de una Fuerza Magneto motriz  $\vec{F}_B$  que hará girar al rotor a una determinada velocidad  $\vec{v}$ .

El devanado del estator está constituido por tres arrollamientos (motor trifásico) desfasados  $120^\circ$  en el espacio y de un número de polos.

Los motores trifásicos de 6 bornes son los de tipo europeo y consisten en 3 bobinas que pueden conectarse en estrella (voltaje mayor) o en triángulo (voltaje menor). Estos dos niveles de voltaje se llevan una relación de raíz cuadrada de 3.

El motor más típico es el que viene marcado a 220-380V - 230/400V. Se puede conectar en triángulo a 220V y en estrella a 380V. También existen para 380-660V... 400-690V.

Los motores de 9 o 12 bornes son del tipo americano y llevan 6 bobinas, dos por fase. Estas dos bobinas por fase pueden conectarse en serie o paralelo.

al introducir por ellos corrientes de una red trifásica de frecuencia  $f_1$  o frecuencia de la red de alimentación, se produce una onda rotativa de fuerza magneto motriz distribuida sinodalmente por la periferia del entrehierro que produce un flujo giratorio cuya velocidad viene expresada de acuerdo con:

$$\omega_0 = \omega_{sincronismo} = \frac{120 * f_1}{P} \quad (2.1)$$

Hay que especificar que en muchos problemas se tendrá el caso de que el dato de los polos vendrá en **pares de polos** por lo que es aceptable usar:

$$\omega_0 = \omega_{sincronismo} = \frac{60 * f_1}{P} \quad (2.2)$$

Esta velocidad recibe el nombre de velocidad de "sincronismo". Debido a la presencia de un campo magnético  $\vec{B}$  creado en el estator que se generara en el entrehierro y se calculara con la siguiente ecuación.

$$B_{\text{Creado en el estator}} = \frac{\mu_o * N * i}{2 * g} \quad (2.3)$$

$$B_{\text{Creado en el estator}} = \frac{\frac{\text{Newton}}{\text{Ampere}^2} * (\text{número de conductores}) * \frac{\text{Ampere}}{1}}{2 * \frac{\text{metro}}{1}} = \frac{\frac{\text{Newton}}{\text{Ampere}}}{\frac{\text{Metro}}{1}} = \frac{\text{Newton}}{\text{Ampere} * \text{Metro}} = \text{Teslas}$$

Dónde:

"N" son los conductores que tiene el estator

"i" es la intensidad de corriente que lleva cada uno

"g" es el espesor del estator (separación del embobinado del rotor y el rotor)

Se produce en entrehierro la velocidad del campo magnético y posteriormente en el rotor una fuerza electromotriz "E" que provocará la aparición de una intensidad en el conductor del rotor. Esta intensidad en presencia del campo magnético provocará una fuerza de giro o magneto motriz que se calcula:

$$F_B = i * (L * B) \quad (2.4)$$

$$F_B = \frac{\text{ampere}}{1} * \frac{\text{metro}}{1} * \frac{\text{newton}}{\text{ampere} * \text{metro}} = \text{newton}$$

Un newton es la cantidad de fuerza aplicada durante 1 segundo a una masa de 1kg para que esta adquiera la velocidad de 1m/s respecto a la velocidad colineal que tenía previamente a la aplicación de la fuerza

Siendo:

$\vec{F}_B$  = Fuerza generada por el campo  $\vec{B}$

L = Longitud del conductor.

$\vec{i}$  = Intensidad que circula por el conductor.

$\vec{B}$  = Campo magnético giratorio.

Lo que dará lugar a un variable a la que llamaremos par motor y se calculará empleando la siguiente ecuación:

$$M_B = \text{Par motor} = \left| \vec{F}_B \right| * r = L * i * B * r \quad (2.5)$$

$$M_B = \text{Par motor} = \left| \vec{F}_B \right| * r = \frac{\text{metro}}{1} * \frac{\text{ampere}}{1} * \frac{\text{newton}}{\text{ampere} * \text{metro}} * \frac{\text{metro}}{1} = \text{newton} * \text{metro}$$

Siendo  $r$  el radio del rotor

Cabe mencionar que este par (newton por metro) va acompañado de una velocidad a la cual gira el inducido que es la velocidad de giro del rotor (revoluciones por minuto) que denotaremos en este escrito como  $\omega_{Rotor}$  que puede calcularse con la siguiente ecuación.

$$\omega_r = \omega_{rotor} = \omega_0 * (1 - \text{deslizamiento fraccional}) \quad (2.6)$$

Es conveniente para la comodidad o simplemente por exigencia de algún procedimiento en los problemas como por ejemplo para el cálculo del torque o par que debemos usar radianes sobre segundo en vez de revoluciones sobre minuto la manera de manejar esta conversión es la siguiente.

$$\omega_{Rotor \text{ en radianes}} = \frac{\text{revoluciones}}{\text{minuto}} \left[ \frac{2\pi \text{radianes}}{1 \text{revolucion}} \right] \left[ \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} \right] = \frac{\text{radianes}}{\text{segundo}}$$

El deslizamiento se define como el porcentaje de velocidad del campo magnético que el rotor puede utilizar por lo que está estrechamente ligada a la carga que el motor tiene que mover y se puede calcular con las siguientes ecuaciones tomando en cuenta algunos parámetros.

$$S_{Plena \text{ carga}} = \frac{\omega_0 - \omega_r}{\omega_0} * 100 = \frac{\omega_{sincronismo} - \omega_{rotor}}{\omega_{sincronismo}} * 100 \quad (2.7)$$

Como la notación lo dice este es el deslizamiento a plena carga o trabajando cotidianamente

$$S_{maximo} = \text{deslizamiento maximo} = \frac{R_{rotor}}{X_{rotor}} \quad (2.8)$$

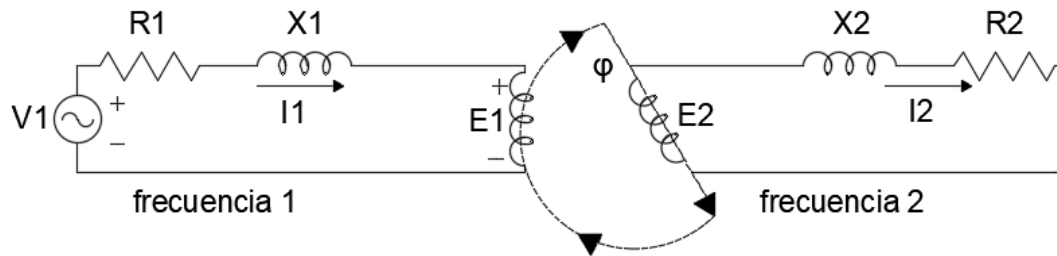
Hay que mencionar que es diferente a la velocidad de giro del campo magnético como  $\omega_0$  y la velocidad del rotor  $\omega_r$  y la diferencia de estas dos velocidades se conocerá como velocidad de deslizamiento o deslizamiento absoluto:

$$\omega_{Deslizamiento} = \text{Deslizamiento absoluto} = \omega_0 - \omega_{Rotor} \quad (2.9)$$

De acuerdo con lo anterior las frecuencias de la corriente del rotor están relacionadas con la frecuencia del estator o de la fuente por medio de la expresión:

$$f_{rotor} = S * f_{estator} \quad (2.10)$$

## 2.5 Circuito equivalente del motor de inducción trifásico.



Circuito equivalente por fase del motor asincrono trifasico

Figura 2.12

$$E_1 = 4.44 * K_1 * f_1 * N_1 * \varphi \quad (2.11)$$

$$E_2 = 4.44 * K_2 * f_2 * N_2 * \varphi \quad (2.12)$$

Dónde:

Se denomina como  $E_2$  como el valor eficaz de la fuerza electromotriz por fase del rotor a  $N_2$  como al número de espiras por fase y  $\varphi$  como el flujo magnético máximo que lo atraviesa y a  $K_2$  como el coeficiente del devanado y de forma similar se denominara como  $E_1$  como la fuerza electro motriz inducida por fase en el estator y a  $f_1$  y a  $f_2$  como la frecuencia de estator y del rotor respectivamente.

### 2.5.1 "K"

Como las características de los circuitos acoplados magnéticamente dependen en gran medida de las fugas magnéticas, el coeficiente de fuga resulta ser una cantidad importante en la teoría de transformadores y también en la de otros muchos tipos de aparatos electromagnéticos

El significado del coeficiente de acoplo en función de los flujos a que se refiere la teoría del transformador puede ponerse en manifiesto por medio de las relaciones entre dichos flujos y los cocientes de autoinducción e inducción mutua. Por definición, la autoinducción de un devanado es el cociente entre el flujo que lo atraviesa creado por su propia corriente y la intensidad de esta es así como llegamos a las siguientes ecuaciones:

$$L_1 = \frac{\lambda_{11}}{i_1} = \frac{N_1 * \varphi_{11}}{i_1} \quad (2.13)$$

$$L_2 = \frac{\lambda_{22}}{i_2} = \frac{N_2 * \varphi_{22}}{i_2} \quad (2.14)$$

Donde  $\lambda_{11}$  y  $\lambda_{22}$  son flujos totales creados por las corrientes  $i_1$  y  $i_2$  respectivamente y  $\varphi_{11}$  y  $\varphi_{22}$  son flujos equivalentes siendo  $N_1$  Y  $N_2$  los números de vueltas en cada devanado.

La inductancia mutua de dos devanados se define como el flujo que atraviesa un devanado por unidad de intensidad de la corriente del otro. En un sistema conservatorio la inductancia mutua del devanado 1 con respecto al devanado 2 es igual a la del devanado 2 con respecto al primer devanado

$$M = \frac{\lambda_{21}}{i_1} = \frac{N_2 * \varphi_{21}}{i_1} \quad (2.15)$$

$$M = \frac{\lambda_{12}}{i_2} = \frac{N_1 * \varphi_{12}}{i_2} \quad (2.16)$$

Donde

$\lambda_{21}$  Es el flujo que atraviesa todo el devanado 2 creado por la corriente  $i_1$

$\lambda_{12}$  Es el flujo que atraviesa todo el devanado 1 creado por la corriente  $i_2$

$\varphi_{21}$  y  $\varphi_{12}$  Son flujos mutuos equivalentes

Teniendo en cuenta lo anterior podemos definir como  $K_1$  como la razón del flujo mutuo  $\varphi_{21}$  creado por la corriente  $i_1$  al flujo total  $\varphi_{11}$  creado por  $i_1$  así:

$$K_1 = \frac{\varphi_{21}}{\varphi_{11}} = \frac{\left( \frac{M * i_1}{N_2} \right)}{\left( \frac{L_1 * i_1}{N_1} \right)} = \frac{\left( \frac{N_1 * M}{N_2} \right)}{L_1} \quad (2.17)$$

Y de la misma forma

$$K_2 = \frac{\varphi_{12}}{\varphi_{22}} = \frac{\left( \frac{N_2 * M}{N_1} \right)}{L_2} \quad (2.18)$$

Siguiendo con el proceso para hallar a K se multiplican las dos ecuaciones y se obtiene:

$$K_1 * K_2 = \frac{M^2}{L_1 * L_2} \quad (2.19)$$

Finalmente se hallara a K como:

$$K = \sqrt{K_1 * K_2} \quad (2.20)$$

### 2.5.2 Análisis de las magnitudes del circuito equivalente

Siguiendo con el análisis del circuito equivalente del motor se tendrá que cuando el rotor gira a la velocidad “n” en el sentido del campo giratorio, el deslizamiento ya no es la unidad y las frecuencias de las corrientes del rotor son iguales a  $f_2$ . Denominado como  $E_{2s}$  (aunque puede variar de la fuente de consulta) a la nueva fuerza electromotriz inducida en este devanado se cumplirá como en la ecuación 2.21. Y dará lugar a una nueva ecuación.

$$E_2 = 4.44 * K_2 * f_2 * N_2 * \varphi \quad (\text{motor de anillos}) \quad (2.21 a)$$

$$E_2 = S * E_1 \quad (\text{motor jaula de ardilla}) \quad (2.21 b)$$

La expresión que relaciona las fuerzas electro motrices inducidas en el rotor, se usarán en determinadas circunstancias; y **si está detenido** se sabe que las frecuencias son las mismas tanto la del estator como la del rotor pero si existe una circulación de corriente y voltaje esta condición cambiara dando lugar a nuevos valores en los devanados del rotor lo que en este escrito daremos una nomenclatura con un subíndice “2” que serán los valores en el segundo devanado o en los devanados del rotor. La fuerza electromotriz anterior la producirá corrientes en el rotor de frecuencia  $F_2$  de tal forma que estas a su vez crearan un campo giratorio cuya velocidad respecto a su propio movimiento será:

$$n_2 = \frac{60 * f_2}{p} \quad (2.22)$$

Donde p serán los números de polos.

Para la frecuencia del rotor también se utilizarán en determinadas circunstancias por lo que las siguientes expresiones se usarán para el cálculo en distintos ensayos

Esta expresión se usará para cuando el rotor este en movimiento.

$$f_2 = S * f_1 \quad (2.23)$$

Esta expresión se usara para cuando el rotor este detenido y el deslizamiento sea la unidad

$$f_1 = f_2 \quad (2.24)$$

Por otra parte no es regla estricta que el número de fases del estator sea igual al número de fases del rotor ya que el campo giratorio en el que se mueve el rotor es independiente del número de fases del estator para el caso de un motor de inducción de anillos deslizantes por lo general se construyen para 3 fases para ambos tanto como para el rotor y el estator.

Pero en el caso del motor jaula de ardilla está conformado por un gran número de barras puestas en cortocircuito dando lugar a un devanado polifásico en general de  $m_2$  fases

$$m_2 = \frac{\text{Barras}}{2\text{Polos}} \quad (2.25)$$

Para el caso del jaula de ardilla se tendrá que B es igual a las barras y 2 polos son los polos y  $m_2$  será el número de fases para hacer el estudio.

Si lo que se requiere es establecer las ecuaciones de comportamiento eléctrico del estator y del rotor, será preciso tener en cuenta que los arrollamientos tienen unas resistencias  $R_1$  y  $R_2$  Ohm/fase y que además existen flujos de dispersión en los devanados del estator y rotor que dan lugar a las autoinducciones  $L_1$  y  $L_2$  previamente vistas.

En consecuencia las reactancias de los arrollamientos en reposo cuando la pulsación de la red es  $\omega_1 = 2\pi f_1$  serán:

$$X_1 = L_1 * \omega_1 = L_1 * 2 * \pi * f_1 \quad (2.26)$$

$$X_2 = L_2 * \omega_1 = L_2 * 2 * \pi * f_1 \quad (2.27)$$

Cuando el rotor gira a una velocidad “n” el valor de la reactancia cambiara pudiéndose calcular de la siguiente manera

Tomado en cuenta de que la frecuencia del rotor cambia con respecto a la frecuencia de alimentación del estator se da lugar a la reactancia “real” que se obtiene cuando el rotor está en funcionamiento.

$$X_{2s} = L_2 * \omega_2 \quad (2.28)$$

$$X_{2s} = L_2 * 2 * \pi * f_2 \quad (2.29)$$

$$X_{2s} = S * X_2 \quad (2.30)$$

La impedancia del rotor está formada por la resistencia  $R_2$  y la reactancia  $X_{2s}$  estando este devanado cerrado en cortocircuito. Las ecuaciones eléctricas correspondientes se obtendrán aplicando el segundo lema de Kirchhoff a las mallas del primario y del secundario, resultando:

$$V_1 = E_1 + R_1 * I_1 + jX_1 * I_1 \quad (2.31)$$

$$E_2 = R_2 * I_2 + jX_2 * I_2 \quad (2.32)$$

Aunque las anotaciones anteriores “V” y “E” se refieren las 2 a voltaje en este caso se hace la diferencia tratando de hacer una diferencia entre voltaje de alimentación y voltaje o “fem” inducido al rotor por la acción de las magnitudes del estator o del circuito 1.

Mientras la corriente que pasa por el rotor será:

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2 + jX_{2s}} = \frac{S * E_2}{\frac{R_2}{S} + jX_2} \quad (2.33)$$

En la figura del circuito equivalente en la parte correspondiente a la resistencia del rotor se puede apreciar que consta de  $R_2$  y otra de valor  $R_c$ .

$$R_c = R_2 * \left( \frac{1}{S} - 1 \right) \quad (2.34)$$

Esta resistencia  $R_c$  que aparece en las figuras 2.17, 2.18 y 2.19 se denomina resistencia de carga y representa el efecto equivalente a la carga mecánica que lleve el motor o de otro modo la potencia eléctrica disipada en  $R_c$ , multiplicado por el número de fases representa la potencia desarrollada por el motor en su movimiento de rotación es decir la potencia mecánica en el eje.

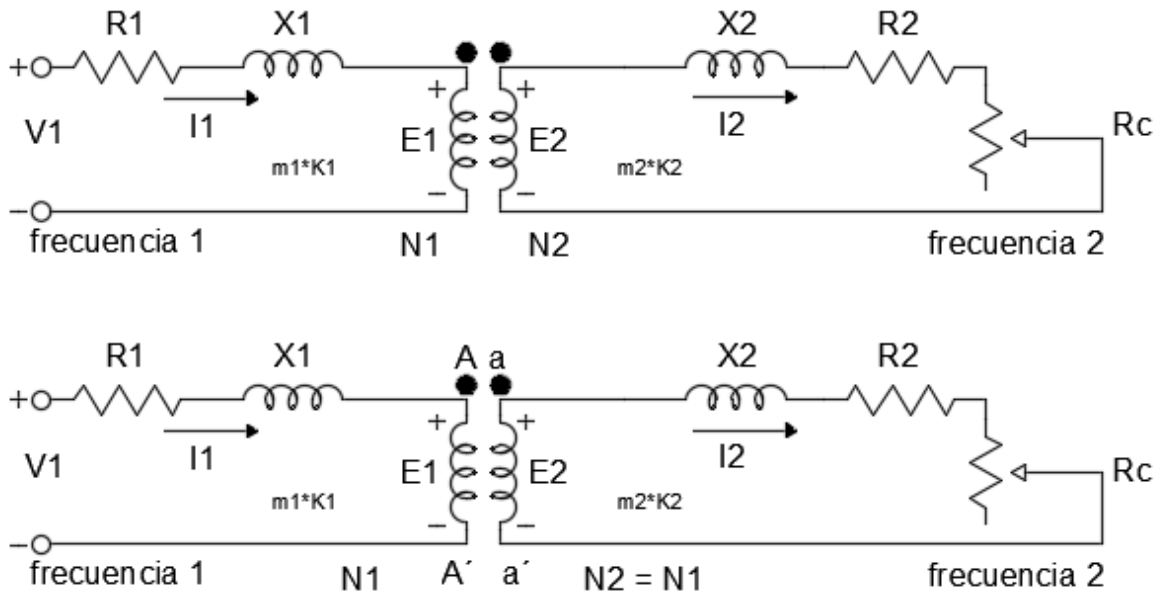


Figura 2.13a y 2.13 b

$$R_c = R_2 * \left( \frac{1}{s} - 1 \right)$$

### 2.5.3 Pérdidas del motor de inducción

**Como se mencionó al principio del apartado anterior cuando nos referimos a un motor asíncrono nos referimos a un motor trifásico porque es el de mayor uso (80% en la industria corresponde al motor de inducción con rotor jaula de ardilla) por los textos disponibles en su mayoría se enfocan a este tipo de motor ahora explicaremos la naturaleza de sus pérdidas.**

#### **Naturaleza de las pérdidas en los motores eléctricos:**

Se entiende por pérdidas la potencia eléctrica que se transforma y disipa en forma de calor en el proceso de conversión de la energía eléctrica en mecánica que ocurre en el motor.

Por su naturaleza se pueden clasificar en 5 áreas: pérdidas en el cobre del estator, pérdidas en el cobre del rotor, pérdidas en el núcleo, pérdidas por fricción y ventilación y pérdidas adicionales



### 2.5.3.1 Pérdidas en los conductores

#### a) Pérdidas en los conductores del estator.

Estas pérdidas son una función de la corriente que fluye en el devanado del estator y la resistencia de ese devanado. Son mínimas en vacío y se incrementan al aumentar la carga.

En función del factor de potencia (FP), la corriente de línea en el estator puede expresarse como:

$$I_L = \frac{\text{Potencia de entrada}}{\sqrt{3} * \text{Voltaje de línea} * FP} \quad (2.35)$$

Cuando se desea mejorar el comportamiento del motor, es importante reconocer la interdependencia entre la eficiencia (EF) y el factor de potencia (FP). Si se despeja el factor de potencia la ecuación se reescribe:

$$FP = \frac{\text{Potencia mecánica de salida}}{\sqrt{3} * \text{Voltaje de línea} * I_L * EF} \quad (2.36)$$

Por lo tanto si se incrementa la eficiencia, el factor de potencia tendrá a decrecer. Para que el factor de potencia permanezca constante, la corriente del estator debe reducirse en proporción al aumento de la eficiencia. Si se pretende que el factor de potencia mejore, entonces la corriente debe disminuir más que lo que la eficiencia aumente. Desde el punto de vista del diseño, esto es difícil de lograr debido a que hay que cumplir otras restricciones operacionales como el momento máximo. Por otra parte la corriente de línea se puede expresar:

$$I_L = \frac{\text{Potencia mecánica de salida}}{\sqrt{3} * \text{Voltaje de Salida} * FP * EF} \quad (2.37)$$

La expresión hace evidente que las pérdidas en el estator serán inversamente proporcionales al cuadrado de la eficiencia y del factor de potencia. Adicionalmente las pérdidas en los conductores del estator dependen de la resistencia del bobinado. Para un motor dado la resistencia del bobinado es inversamente proporcional al peso del bobinado del estator, es decir a mas material conductor en el estator menos pérdidas.

#### b) Pérdidas en los conductores del rotor.

Son directamente proporcionales a la resistencia del bobinado rotórico, dependen del cuadrado de la corriente que circula en el bobinado rotórico (barras y anillos) y dependen del flujo magnético que atraviesa el entrehierro. Son prácticamente cero en vacío y se incrementan con el cuadrado de la corriente en el rotor y también se incrementan con la temperatura. Las pérdidas en el rotor se pueden expresar en función del deslizamiento:

$$\text{Pérdidas}_{\text{Del rotor}} = \frac{\text{Pérdidas mecánicas de salida} + \text{pérdidas por fricción y ventilación}}{1 - \text{Deslizamiento}} * \text{Deslizamiento} \quad (2.38)$$

**c) Pérdidas en el núcleo magnético.**

Estas pérdidas tienen dos componentes, a) las pérdidas por el fenómeno de histéresis y b) Pérdidas por corrientes de Eddy. Incluyendo las pérdidas superficiales en la estructura magnética del motor.

**d) Pérdidas por Histéresis.**

Son causadas debido a la propiedad de remanencia que tienen los materiales magnéticos al ser excitados por un flujo magnético en una dirección. Como el flujo de excitación está cambiando de dirección en el núcleo magnético, la remanencia hace que se forme el ciclo de histéresis, cuya área está relacionada por la energía gastada en magnetizar y desmagnetizar el núcleo continuamente. Estas pérdidas dependen del flujo máximo de excitación, de la frecuencia de variación del flujo y de la característica del material que determina el ancho del ciclo de histéresis.

**2.5.4 Diagrama de pérdidas y su cálculo**

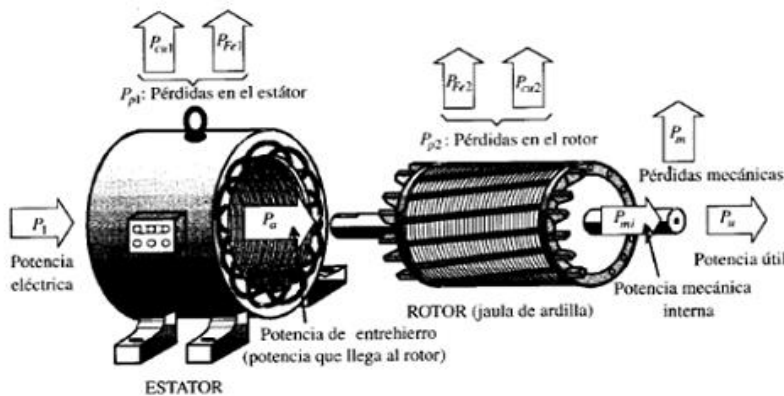
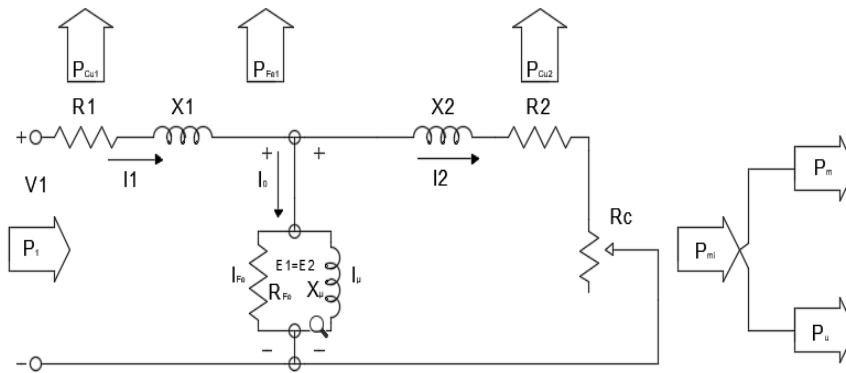


Figura 2.14

En la *figura 2.16* se observan las pérdidas según la posición en el motor. La potencia que la máquina absorbe de la red, si  $V_1$  es la tensión aplicada por fase e  $I_1$  la corriente de la red por fase y  $\cos \phi_1$  el factor de potencia el desfase entre ambas magnitudes será:

$$P_1 = \text{Potencia}_{\text{Entrada}} = m_1 * V_1 * I_1 * \cos \phi \quad (2.39)$$

$$P_1 = \text{Potencia}_{\text{Entrada}} = 3 * V_1 * I_1 * \cos \phi \quad (\text{se consideran 3 por las de fases}) \quad (2.40)$$

En algunos casos en la práctica no se tiene la corriente de entrada pero se puede calcular de la siguiente manera.

$$I_{\text{Línea}} = \frac{\text{Potencia}_{\text{De entrada}}}{\sqrt{3} * \text{Voltaje}_{\text{De Línea}} * \cos \theta} \quad (2.41)$$

Para muchos problemas sobre motores de inducción se tendrá que considerar la siguiente ecuación

$$P_1 = \text{Potencia}_{\text{De entrada}} = \text{Pérdidas}_{\text{En el Estator}} + \text{Pérdidas}_{\text{Entrehierro}} \quad (2.42)$$

Esta potencia o más bien las magnitudes que la originan llegan al estator y una parte se transforma en calor por efecto joule en sus devanados. Por lo que se tienen pérdidas en el estator tanto de cobre como de hierro y se calculan respectivamente de la siguiente manera.

$$P_{\text{Cu1}} = \text{Pérdidas}_{\text{De cobre en el estator}} = (I_1)^2 * R_1 * 3 \text{ fases} \quad (2.43)$$

$$P_{\text{Fe1}} = \text{Pérdidas}_{\text{De hierro en el estator}} = \text{Potencia}_{\text{De entrada}} - \text{Pérdidas}_{\text{En el entrehierro}} - \text{Pérdidas}_{\text{De cobre en el estator}} \quad (2.44)$$

Por lo que la pérdida total del estator se calcula con la suma de las dos anteriores

$$P_{\text{cu1}} + P_{\text{fe1}} = \text{Pérdidas}_{\text{De hierro en el estator}} + \text{Pérdidas}_{\text{Cobre en el estator}} = \text{Pérdidas totales del estator} \quad (2.45)$$

La potencia que “llega” al entrehierro es la potencia que se traslada del estator al rotor por medio del **entrehierro**. Es el punto de transformación de la potencia eléctrica en mecánica. Que mientras más bajo sea el deslizamiento del motor, la corriente en el embobinado del rotor disminuye y las **pérdidas** del rotor de la máquina son menores. Y su cálculo se obtiene con la siguiente ecuación.

$$P_a = \text{Pérdidas}_{\text{En el entrehierro}} = \frac{\text{Pérdidas}_{\text{De cobre en el rotor}}}{\text{Deslizamiento}} \quad (2.46)$$

$$P_a = \text{Pérdidas}_{\text{En el entrehierro}} = \text{Potencia}_{\text{Del cobre en el rotor}} + \text{Potencia}_{\text{Desarrollada}} \quad (2.47)$$

$$P_a = \text{Pérdidas}_{\text{En el entrehierro}} = \text{Potencia}_{\text{Del rotor}} = E_2 * I_2 * \cos \theta_2 \quad (2.48)$$

Donde

$E_2$  es el voltaje inducido al rotor por el bobinado del estator

$I_2$  es la corriente inducida al rotor por el bobinado del estator

$\cos \theta_2$  es el factor de potencia del devanado del inducido

La fuerza electromotriz inducida al rotor a partir de las propiedades físicas de sus devanados.

$$E_2 = \frac{\text{Voltaje}_{De\ Línea} * S}{\sqrt{3}} \quad (2.49)$$

$$E_2 * S = I_2 * \sqrt{(R_2)^2 + (X_2 * S)^2} \quad (2.50)$$

Para usar la ecuación anterior debemos de considerar que cuando el motor está en “parada” el deslizamiento “ $S$ ” del motor es de 1 por que en algunos problemas se considerara de esta forma.

Para el cálculo de la corriente inducida al rotor se usara la siguiente ecuación.

$$I_2 = \frac{\left( \frac{\text{Voltaje}_{De\ Línea} * S}{\sqrt{3}} \right)}{\sqrt{(R_2)^2 + (X_2 * S)^2}} \quad (2.51)$$

Y el factor de potencia en la bobina del rotor por fase será indicado con “ $\cos \theta_2$ ” y para su cálculo usaremos las siguientes ecuaciones.

$$\cos \theta_2 = \frac{R_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (X_2 * S)^2}} \quad \cos \theta_2 = \frac{\left( \frac{R_2}{S} \right)}{\sqrt{\left( \frac{R_2}{S} \right)^2 + (X_2)^2} \quad (2.52\ a\ y\ 2.52\ b)$$

Por ser un bobinado “inducido” las pérdidas del rotor son exclusivamente en los hilos conductores en los que se inducen tanto voltaje como corriente que por lo regular (por no decir exclusivamente) están hechos de cobre y estar perdidas se calculan de la siguiente manera.

$$P_{Cu2} = \text{Pérdidas}_{De\ cobre\ en\ el\ rotor} = \frac{\text{Potencia}_{Desarrollada}}{\left( \frac{1}{\text{Deslizamiento}} - 1 \right)} \quad (2.53)$$

Las pérdidas en el hierro del rotor son despreciables debido al pequeño valor de la frecuencia del rotor. La potencia que llega al árbol de la maquina denominada potencia mecánica interna.

Y a su vez estos valores inducidos tendrán una frecuencia propia que llamaremos frecuencia del rotor que también se mide en Hz.

$$f_{Rotor} = f_{Linea} * S \quad (2.54)$$

La potencia desarrollada se encuentra en los textos como potencia mecánica interna que es la potencia que genera en total el motor.

$$P_{mi} = Potencia_{Desarrollada} = Potencia_{De salida} + Pérdidas_{Mecánicas} \quad (2.55)$$

$$P_{mi} = Potencia_{Desarrollada} = Potencia_{En el entrehierro} * (1 - Deslizamiento) \quad (2.56)$$

Las **pérdidas mecánicas** en los motores eléctricos, como en los generadores se deben a la fricción de las chumaceras (baleros), fricción en los anillos colectores (en su caso) y a la acción del aire en la ventilación, de aquí que se agrupan como pérdidas por fricción y ventilación.

Por lo que la potencia útil o potencia de salida entregada por el motor sería entonces la potencia desarrollada menos las pérdidas mecánicas.

$$P_U = Potencia_{De salida} = Potencia_{Desarrollada} - Pérdidas_{Mecánicas} \quad (2.57)$$

### 2.5.5 Torque

Para seguir avanzando en este apartado debemos de definir torque en su concepto más elemental para que se entiendan del todo los cálculos y los conceptos que a continuación daremos.

Cuando se aplica una fuerza en algún punto de una flecha, dicho cuerpo tiende a realizar un movimiento de rotación en torno a algún eje en nuestro caso el eje del motor.

Ahora bien, la propiedad de la fuerza aplicada para hacer girar al cuerpo se mide con una magnitud física que llamamos torque o momento de la fuerza.

Entonces, se llama torque o momento de una fuerza a la capacidad de dicha fuerza para producir un giro o rotación alrededor de un punto.

Entonces, considerando la intensidad de la fuerza y distancia de aplicación desde su eje, el momento de una fuerza es, matemáticamente, igual al producto de la intensidad de la fuerza (módulo) por la distancia desde el punto de aplicación de la fuerza hasta el eje de giro.

$$Torque = Fuerza \cdot distancia$$

En los motores la fuerza sería la desarrollada por el motor medida en watts y la distancia sería medida en radianes/segundo para la conveniencia en los cálculos. En la mayoría de los textos el torque se representa con la letra griega  $\tau$  y se calcula con las siguientes ecuaciones.

$$\tau_{\text{En la flecha del motor}} = \frac{\text{Potencia}_{\text{A la salida}}}{\omega_{\text{rotor en radianes}}} \quad (2.58)$$

Potencia de salida y potencia útil es lo mismo en las traducciones al español por lo que muchas veces es conveniente saber este tipo de consideraciones para evitar errores. La potencia en el eje tiene que ver con la potencia desarrollada del motor restando las pérdidas mecánicas y también hay que tener la consideración de que muchas veces este torque por problemas de interpretación de las traducciones y autores se llamara también torque a plena carga o torque de arranque.

$$\tau_{\text{Bruto}} = \frac{\text{Potencia}_{\text{Desarrollada}}}{\omega_{\text{rotor en radianes}}} \quad (2.59)$$

El torque bruto o torque bruto desarrollado se calcula con toda la potencia que desarrolla el motor contando las pérdidas mecánicas por lo que este torque será el máximo que un motor pueda alcanzar.

Finalmente el rendimiento del motor vendrá expresado por:

$$\eta = \frac{P_U}{P_1} = \frac{P_U}{P_U + P_m + P_{Cu2} + P_{Fe} + P_{cu1}} = \frac{\text{Potencia}_{\text{A la salida}}}{\text{Potencia}_{\text{De entrada}}} \quad (2.60)$$

Hay que tomar en cuenta que las relaciones entre estas magnitudes medidas a veces nos darán como resultado datos útiles para el completo estudio del motor a continuación señalaremos unas

$$\frac{\tau_{\text{Máximo}}}{\tau_{\text{Plena carga}}} = \text{la capacidad de sobrecarga del motor} \quad (2.61)$$

Hay que definir bien dos puntos para usar esta consideración de la ecuaciones (2.61) se obtienen dos tipos de deslizamientos uno a plena carga y otra máxima y usando la ecuación (2.62) que involucra la velocidad de sincronismo y el deslizamiento. Se tienen que hacer dos cálculos para cada tipo de deslizamiento y ambos transformándolos a radianes sobre segundo.

Su inverso se calculará de la siguiente manera

$$\frac{\tau_{\text{Plena carga}}}{\tau_{\text{Máximo}}} = \frac{2}{\left( \frac{S_{\text{Máximo}}}{S_{\text{Plena carga}}} + \frac{S_{\text{Plena carga}}}{S_{\text{Máximo}}} \right)} \quad (2.62)$$

## 2.6 Problemas de visualización

1) Un motor de inducción trifásico de 4 polos, 50 Hz tiene una conexión estrella en el rotor. La resistencia del rotor por fase es de  $0.12 \Omega$  mientras la reactancia por fase es de  $1.8 \Omega$  en reposo. La fuerza electro motriz inducida entre los anillos deslizantes en circuito abierto es de 100 volts. Si la velocidad a plena carga es de 1460 rpm. Calcular para plena carga: i) Deslizamiento ii) fuerza electromotriz inducida al rotor por fase iii) Corriente del rotor por fase iv) factor de potencia del rotor

Suponga que los anillos deslizantes son cortocircuitados en marcha

Datos :

$$frecuencia = f = 50 \text{ Hz}$$

$$Polos = P = 4$$

$$R_{Rotor} = \frac{0.12 \Omega}{fase}$$

$$X_{Rotor} = \frac{1.8 \Omega}{fase}$$

$$fem = 100 \text{ V}$$

$$\omega_r = \omega_{rotor} = 1460 \text{ rpm.}$$

Inciso i)

$$\omega_0 = \omega_{sincronismo} = \frac{120 * f}{P} = \frac{120 * 50 \text{ Hz}}{4 \text{ Polos}} = 1500 \text{ rpm.}$$

$$S = \text{deslizamiento} = \frac{\omega_0 - \omega_r}{\omega_0} * 100 = \frac{\omega_{sincronismo} - \omega_{rotor}}{\omega_{sincronismo}} * 100 = \frac{(1500 \text{ rpm} - 1460 \text{ rpm})}{1500 \text{ rpm}} * 100 = 2.666666\%$$

Inciso ii)

$$fem_{Por\ fase} = \frac{fem}{\sqrt{3}} * S = \frac{100 \text{ V}}{\sqrt{3}} * 0.0266666 = 1.539600718 \text{ V}$$

Inciso iii)

$$I_{Por\ fase} = \frac{fem_{Por\ fase}}{\sqrt{R_{Rotor}^2 + (X_{Rotor} * S)^2}} = \frac{1.539600718 \text{ V}}{\sqrt{0.12^2 + (1.8 * 0.0266666)^2}} = 11.9164662 \text{ A}$$

Inciso iv)

$$\text{Cos } \theta = \frac{R_{Rotor\ por\ fase}}{\sqrt{R_{Rotor}^2 + (X_{Rotor} * S)^2}} = 0.9287966203$$

2) Si la frecuencia de la tensión de alimentación aplicada al estator es de 50 Hz; mientras la frecuencia de la fuerza electro motriz del inducido es de 90 ciclos/minuto. Calcular: el deslizamiento y la velocidad del motor asúmase que el estator tiene 6 polos.

*Datos :*

$$frecuencia_{Estator} = f_{Estator} = 50 \text{ Hz}$$

$$frecuencia_{Rotor} = f_{Rotor} = \frac{90 \text{ Ciclos}}{\text{minuto}}$$

$$Polos = P = 6$$

$$\frac{90 \text{ ciclos}}{\text{minuto}} \left[ \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} \right] = 1.5 \text{ Hz}$$

$$S = \text{Deslizamiento} = \frac{f_{Rotor}}{f_{Estator}} = \frac{1.5 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}} = 0.03$$

$$\omega_0 = \omega_{sincronismo} = \frac{120 * f_{Estator}}{P} = \frac{120 * 50 \text{ Hz}}{6 \text{ Polos}} = 1000 \text{ rpm.}$$

$$\omega_r = \omega_{rotor} = \omega_0 * (1 - \text{deslizamiento fraccional}) = 1000 \text{ rpm} * (1 - 0.03) = 970 \text{ rpm.}$$

3) Si la FEM en el estator de un motor de inducción de 8 polos tiene una frecuencia de 50 Hz y la FEM en el rotor de  $1\frac{1}{2}$  ciclos/segundo.

a) ¿A qué velocidad gira el motor? b) ¿Cuál es el deslizamiento?

Inciso b)

$$\omega_0 = \omega_{sincronismo} = \frac{120 * f}{P} = \frac{120 * 50 \text{ Hz}}{8 \text{ Polos}} = 750 \text{ rpm.}$$

$$f_{Rotor} = f * S \Rightarrow S = \frac{f_r}{f} = \frac{1.5 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}}$$

$$S = 0.03$$

Inciso a)

$$\omega_r = \omega_{rotor} = \omega_0 * (1 - \text{deslizamiento fraccional})$$

$$\omega_r = 750 \text{ rpm.} * (1 - 0.03)$$

$$\omega_r = 727.5$$



3) El torque útil de un motor de inducción trifásico que opera a 50 Hz y tiene 8 polos es de 190 N\*m. La frecuencia del rotor es de 1.5 Hz; Calcular las pérdidas de cobre del rotor si las pérdidas mecánicas son de 700 Watts

*Datos :*

$$\tau = \text{torque util} = 190 \text{ N} * \text{m}$$

$$\text{frecuencia} = f = 50 \text{ Hz}$$

$$\text{Pérdidas}_{\text{Mecánicas}} = 700 \text{ Watts}$$

$$\text{Polos} = P = 8$$

$$S_{\text{Rotor}} = \text{deslizamiento}_{\text{Rotor}} = \frac{1.5 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}} = 0.03$$

$$\omega_0 = \omega_{\text{sincronismo}} = \frac{120 * f}{P} = \frac{120 * 50 \text{ Hz}}{8 \text{ Polos}} = 750 \text{ rpm.}$$

$$\omega_r = \omega_{\text{rotor}} = \omega_0 * (1 - \text{deslizamiento fraccional}) = 750 \text{ rpm} * (1 - 0.03) = 727.5 \text{ rpm.}$$

$$\omega_{\text{Rotor en radianes}} = \frac{727.5 \text{ revoluciones}}{\text{min uto}} \left[ \frac{2\pi \text{ radianes}}{1 \text{ revolucion}} \right] \left[ \frac{1 \text{ min uto}}{60 \text{ segundos}} \right] = \frac{76.183621 \text{ radianes}}{\text{segundo}}$$

$$\tau = \frac{\text{Potencia}_{\text{A la salida}}}{\omega_r} \rightarrow \text{Potencia}_{\text{A la salida}} = \tau * \omega_r$$

$$\text{Potencia}_{\text{A la salida}} = (190 \text{ N} * \text{m}) * \left( \frac{76.183621 \text{ radianes}}{\text{segundo}} \right) = 14474.888815 \text{ Watts}$$

$$\text{Potencia}_{\text{Desarrollada}} = \text{Pérdidas}_{\text{Mecánicas}} + \text{Potencia}_{\text{A la salida}}$$

$$\text{Potencia}_{\text{Desarrollada}} = 700 \text{ Watts} + 14474.888815 \text{ Watts} = 15174.888815 \text{ Watts}$$

$$\text{Pérdidas}_{\text{entrehierro}} = \text{Potencia}_{\text{Rotor}} + \text{Potencia}_{\text{Desarrollada}}$$

$$\frac{\text{Pérdidas}_{\text{Rotor}}}{S_{\text{Rotor}}} = \text{Pérdidas}_{\text{Rotor}} + \text{Potencia}_{\text{Desarrollada}}$$

$$\frac{\text{Pérdidas}_{\text{Rotor}}}{S_{\text{Rotor}}} - \text{Pérdidas}_{\text{Rotor}} = \text{Potencia}_{\text{Desarrollada}}$$

$$\text{Pérdidas}_{\text{Rotor}} * \left( \frac{1}{S_{\text{Rotor}}} - 1 \right) = \text{Potencia}_{\text{Desarrollada}}$$

$$\text{Pérdidas}_{\text{Rotor}} = \frac{\text{Potencia}_{\text{Desarrollada}}}{\left( \frac{1}{S_{\text{Rotor}}} - 1 \right)} = \frac{15174.888815 \text{ Watts}}{\left( \frac{1}{0.03} - 1 \right)} = 469.3264377 \text{ Watts}$$

4) Un motor de inducción trifásico de 4 polos y 50 Hz genera 25 KW a la salida y está trabajando a 1410 rpm. A plena carga las pérdidas mecánicas son de 850 tomando en cuenta que las pérdidas en el estator son 1.7 veces las pérdidas en el cobre del rotor a plena carga calcular:

i) potencia mecánica desarrollada bruta ii) perdidas en el cobre del rotor iii) el valor de la resistencia del rotor por fase si la corriente del rotor a plena carga por fase es de 65 A iv) la eficiencia a plena carga  
**(Respuestas: 25.85 KW, 1650 W, 0.13 Ω/fase, 82.49%)**

Datos :

$$Potencia_{A\ la\ salida} = 25\ KW$$

$$Pérdidas_{Mecánicas} = 850\ W$$

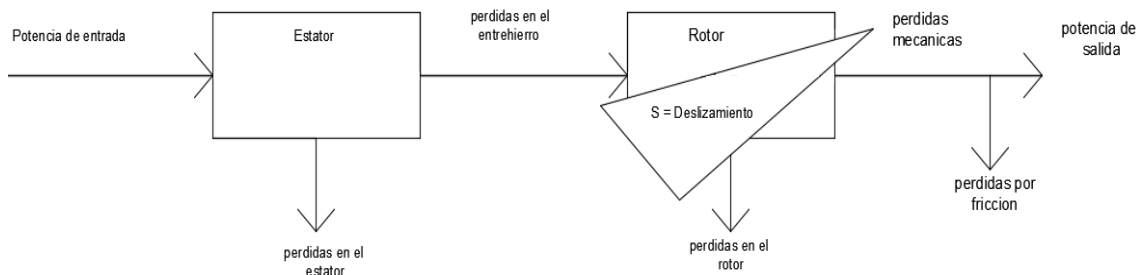
$$frecuencia = f = 50\ Hz$$

$$\omega_r = \omega_{rotor} = 1410\ rpm.$$

$$Polos = P = 4$$

$$\omega_0 = \omega_{sincronismo} = \frac{120 * f}{P} = \frac{120 * 50Hz}{4\ Polos} = 1500\ rpm.$$

$$S = deslizamiento = \frac{\omega_0 - \omega_r}{\omega_0} * 100 = \frac{\omega_{sincronismo} - \omega_{rotor}}{\omega_{sincronismo}} * 100 = \frac{(1500\ rpm - 1410\ rpm)}{1500\ rpm} * 100 = 6\%$$



**Inciso i)**

$$Potencia_{Desarrollada} = Pérdidas_{Mecánicas} + Potencia_{A\ la\ salida}$$

$$Potencia_{Desarrollada} = 850\ W + 25000\ W = 25850\ Watts$$

**Inciso ii)**

$$Pérdidas_{Rotor} = \frac{Potencia_{Desarrollada} * S}{(1-S)} = \frac{25850\ Watts * 0.06}{(1-0.06)} = 1650\ Watts$$

**Inciso iii)**

$$Pérdidas_{Rotor} = R * I^2 = Resistencia_{Rotor} * Corriente_{Rotor}^2$$

$$Resistencia_{Rotor} = \frac{Pérdidas_{Rotor}}{Corriente_{Rotor}^2} = \frac{1650 \text{ Watts}}{(65 \text{ Amperes})^2} = 0.390532 \Omega$$

$$Resistencia_{Rotor \text{ por fase}} = \frac{0.390532}{3} = 0.130177 \Omega$$

**Inciso iv)**

$$Pérdidas_{Estator} = 1.7 * Pérdidas_{Rotor}$$

$$Pérdidas_{Estator} = 1.7 * 1650 \text{ Watts}$$

$$Pérdidas_{Estator} = 2805 \text{ Watts}$$

$$Pérdidas_{entrehierro} = \frac{Potencia_{Rotor}}{S} = \frac{1650 \text{ Watts}}{0.06} = 27500 \text{ Watts}$$

$$Potencia_{Entrada} = Pérdidas_{Estator} + Pérdidas_{entrehierro}$$

$$Potencia_{Entrada} = 2805 \text{ Watts} + 27500 \text{ Watts} = 30305 \text{ Watts}$$

$$\eta = \text{eficiencia a plena carga} = \frac{Potencia_{A \text{ la salida}}}{Potencia_{Entrada}} * 100$$

$$\eta = \text{eficiencia a plena carga} = \frac{25000 \text{ Watts}}{30305 \text{ Watts}} * 100 = 82.4946\%$$

## 2.7 Glosario

**Para no caer en problemas de interpretación ni errores a la hora de resolver problemas de motores. Se deja las traducciones de las magnitudes previamente usadas.**

**Torque de rotura (Breakaway Torque):** Se refiere a la cantidad de esfuerzo necesario para que la carga se mueva desde una posición estacionaria. Esto incluye la inercia de rotación (tanto del motor y la carga) y la fricción, entre otras cosas. Este es el punto de la curva de la CARGA a velocidad cero.

**Torque de arranque o de rotor bloqueado (Locked Rotor torque):** Es el torque generado por el motor en el instante en que el eje del motor comienza a girar. Es el punto de la curva del MOTOR a velocidad cero.

**Torque mínimo o de enganche (Pull Up Torque):** Se refiere al par mínimo generado por el motor, el cual acelera la carga hasta alcanzar la plena velocidad, también se le denomina como Torque mínimo de aceleración.

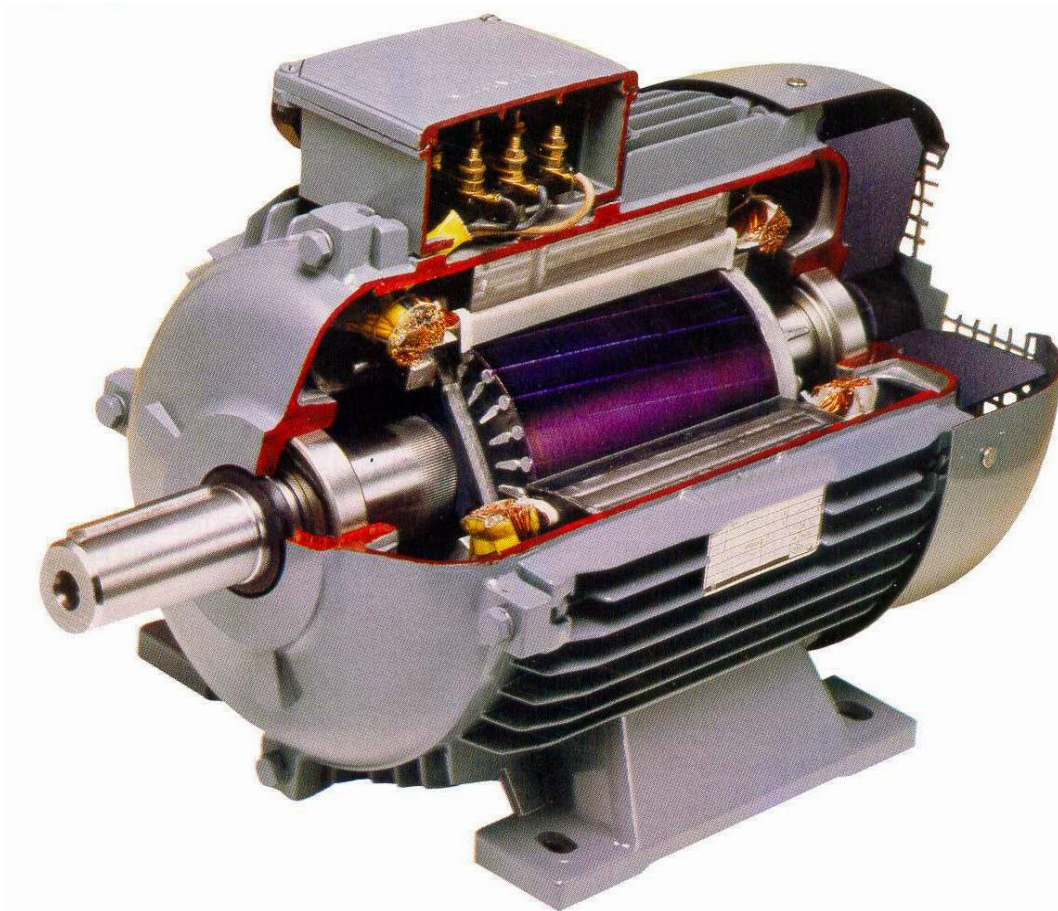
**Torque máximo o de desenganche (Break Down Torque):** Es el torque máximo que el motor puede generar antes de desengancharse del sincronismo. Esto también corresponde al punto donde el motor se bloquea.

**Torque de aceleración:** Es la diferencia entre el torque generado por el motor y el requerimiento de torque de carga correspondiente a una velocidad determinada. Una expectativa razonable es que hay una diferencia de 10 por ciento mínimo entre el motor y el torque de la carga en todos los puntos de velocidad, para tener una reserva de torque en el motor ante circunstancias imprevistas.

**Corriente de Rotor Bloqueado:** Corriente de arranque (Inrush) no está definida en las normas de fabricación, depende del diseño de cada fabricante. La que si aparece en la normativa que guía la construcción de motores eléctricos es la de Rotor Bloqueado. En el caso de motores NEMA, el aspecto que aparece en la placa, y que define la corriente de rotor bloqueado, es la Letra de Código (Code Letter en inglés), definida como la corriente consumida a plena tensión con el rotor trabado, sin posibilidad de giro. Es una condición estable, no transitoria.

## ***Unidad 3***

### ***Motores trifásicos de inducción de alta eficiencia***



### 3.1 Introducción

El acta de política energética en estados unidos (the energy policy act o también conocido como EAct) se hizo efectivo a partir de 1997 estas políticas buscan que los motores de uso general desde 1 hp hasta 200 hp que se comercializan en Norteamérica deben cumplir los estándares mínimos de niveles de eficiencia requeridos y está vigente hasta hoy día subiendo el rango de los motores hasta los de 500 hp.

La eficiencia en un motor es la relación entre la cantidad de trabajo mecánico realizado por el motor y la potencia eléctrica que consume para hacer el trabajo; es dependiente pero no limitado al diseño, el material, la manera en el cual se manufactura, los valores nominales, la carga que debe de mover, calidad de energía suministrada y condiciones de operación.

En la actualidad entre el 60 y 70 % del consumo eléctrico en la industria es debido a los motores de inducción y principalmente el de tipo “jaula de ardilla”; por este motivo es necesario que dichos motores trabajen al máximo rendimiento posible con el objetivo de ahorrar energía y con ello reducir costos en la industria por el consumo eléctrico.

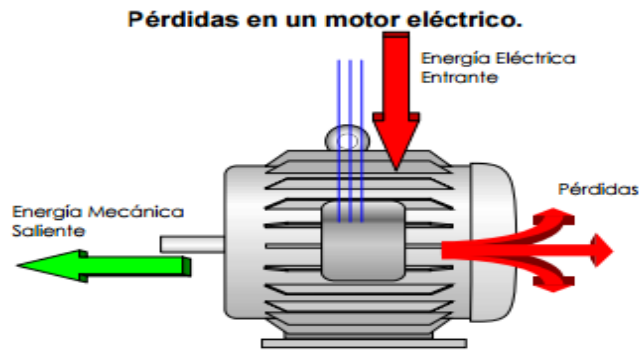


Figura 3.1

La eficiencia o rendimiento de un motor es la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada. Este es el concepto más importante desde el punto de vista del consumo de energía y del costo de operación de un motor eléctrico. La eficiencia se puede expresar de las siguientes maneras:

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ mecánica\ de\ salida}{Potencia\ eléctrica\ que\ entra} \quad (3.1)$$

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ eléctrica\ que\ entra - Pérdidas\ totales}{Potencia\ eléctrica\ que\ entra} \quad (3.2)$$

El valor obtenido en estas ecuaciones son decimales que por lo regular se multiplican por cien el valor más alto de eficiencia es uno o un 100%.

El objetivo de los motores de inducción de alta eficiencia es acercarse lo más posible a la unidad o al 100% de eficiencia. Por ello los fabricantes de motores están haciendo innovaciones

tecnológicas para disminuir las pérdidas lo máximo posible y lo están logrando con un diseño mejorado empleando materiales de alta calidad y un mejor proceso de fabricación.

Es importante mencionar que en la actualidad a pesar de todos los avances en la fabricación de motores no se ha podido llegar al 100% pero los motores de inducción de alta eficiencia están una eficiencia promedio de 0.90 a 0.96 %.

### **3.2 Factor de Potencia y eficiencia en los motores**

Ya que la **potencia reactiva** no realiza ningún trabajo, el factor de potencia indica el porcentaje de la potencia útil con respecto a la potencia total y es más eficiente cuando la relación se acerca a la unidad; un bajo factor de potencia contribuye con una menor eficiencia, aumento de las pérdidas y penalizaciones por parte de la empresa de energía eléctrica en México CFE.

Es importante recalcar que para su funcionamiento los motores requieren de tanto la energía activa como de la reactiva. La potencia real (kW) produce trabajo y calor; la potencia reactiva (kVAR) es la corriente que se transforma en campo magnético en el motor y permite que opere.

#### **3.2.1 Impedancia, Resistencia y Reactancia**

En los circuitos de corriente alterna los conductores presentan una oposición a la corriente que no depende únicamente de la resistencia óhmica del mismo si no también de los efectos de los campos magnéticos variables (bobinas).

En corriente alterna la oposición a esta recibe el nombre de impedancia (Z) que se mide en ohms. La relación entre voltaje (V), intensidad de la corriente eléctrica (I) e impedancia (Z), se determina mediante la "*Ley de Ohm generalizada*". En corriente alterna la impedancia consta de una parte real llamada Resistencia (R) (resistencia efectiva) y de una parte imaginaria llamada Reactancia X (resistencia reactiva).

##### **3.2.1.1 Resistencia**

Una resistencia es todo aquel elemento que conectado en un circuito eléctrico produce un impedimento en el movimiento de los electrones. La resistencia puede ser reactiva o inductiva.

La que se genera a partir de las características naturales del material conductor será "*reactiva*" y la que se genera por fenómenos electromagnéticos será "*inductiva*" como en el caso de la corriente alterna atravesando una bobina o inductancia.

### 3.2.1.2 Reactancia

La reactancia puede ser de dos tipos, inductiva  $X_L$  y capacitiva  $X_C$ .

#### 3.2.1.2.1 Reactancia inductiva $X_L$

$$X_L = \omega * L = 2 * \pi * f * L \quad (3.3)$$

$$\omega = 2 * \pi * f \left[ \frac{\text{radianes}}{\text{segundo}} \right] \quad (3.4)$$

Dónde:

$\omega$  = frecuencia angular

$f$  = frecuencia de la red en Hertz (Hz).

L = Inductancia en henrios

La reactancia inductiva tiene la característica de retrasar la onda de corriente con respecto a la tensión, debido a que la inductancia es la propiedad eléctrica de almacenar corriente en un campo eléctrico, que se opone a cualquier cambio de corriente.

#### 3.2.1.2.2 Reactancia capacitiva $X_C$

La reactancia capacitiva está determinada por la capacitancia del circuito, y se expresa como:

$$X_C = \frac{1}{\omega * C} = \frac{1}{2 * \pi * f * C} \quad (3.5)$$

Dónde:

$\omega$  = frecuencia angular

$f$  = frecuencia de la red en Hertz (Hz)

C = Capacitancia en faradios (F)

La reactancia capacitiva tiene la característica de adelantar la corriente con respecto a la tensión, debido a que la capacitancia es la propiedad eléctrica que permite almacenar energía por medio de un campo electrostático y de liberar esta energía posteriormente. Las reactancias mencionadas y definidas anteriormente, se pueden representar gráficamente en un triángulo. Entonces ya que el triángulo de las reactancias es un triángulo rectángulo, se puede calcular usando la suma vectorial.



### 3.2.1.3 Impedancia

$Z^2 = R^2 + X^2$  Estos valores están expresados en ohm

La suma de las reactancias en el circuito nos dará la reactancia real que predomine, o sea

$X_{Total} = X_L - X_C$ , por lo tanto:

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2 \quad (3.6)$$

### Desfase

El tipo de carga eléctrica determina en un circuito la impedancia y la posición de la onda de la corriente respecto a la onda de la tensión. Es decir la corriente en el circuito se puede descomponer en dos tipos de corriente, la corriente resistiva, en fase con la tensión, y la corriente reactiva, desfasada 90 grados respecto a la tensión.

$$I_R = \frac{V}{R} = I * \cos \theta \quad (3.7)$$

$$I_X = \frac{V}{X} = I * \text{sen} \theta \quad (3.8)$$

Todas estas corrientes están en amperes.

### 3.2.2 Triángulo de potencias

El llamado triángulo de potencias es la mejor forma de ver y comprender de forma gráfica qué es el factor de potencia o coseno de  $\theta$  y su estrecha relación con los restantes tipos de potencia presentes en un circuito eléctrico de corriente alterna.

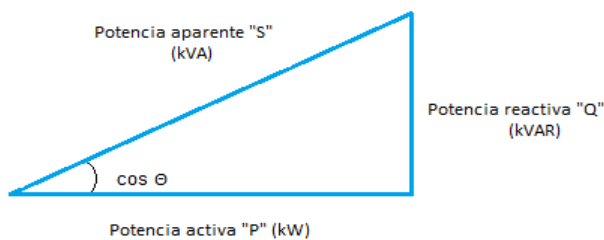


Figura 3.2

Como se podrá observar en el triángulo de la ilustración, el factor de potencia o coseno de  $\theta$  representa el valor del ángulo que se forma al representar gráficamente la potencia activa (**P**) y la potencia aparente (**S**), es decir, la relación existente entre la potencia real de trabajo y la potencia total consumida por la carga o el consumidor.

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \quad (3.9)$$

### 3.2.2.1 Potencia activa o resistiva "P"

Los circuitos resistivos, aquellos en los que los receptores son resistencias, se clasifican en tres tipos principales de acuerdo con el tipo de conexión de las resistencias: serie, paralelo y mixtos.

Comúnmente los equipos que presentan su potencia en kW son los equipos resistivos, como estufas eléctricas, calefacción, bombillo incandescente etc., estos equipos son de alto factor de potencia (Factor de potencia =0.9 o más) debido a que la mayor parte de la potencia eléctrica útil kW que reciben la convierten en otro tipo de energía, no queriendo decir con esto que son ahorradores o consumen poca energía eléctrica.

Los receptores eléctricos son capaces de aportar energía a su entorno. Esta energía puede fundamentalmente ser de tres formas distintas:

- 1- Energía de movimiento (trabajo).
- 2- Energía calorífica.
- 3- Energía luminosa.

La potencia activa en corriente alterna se puede calcular empleando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Potencia activa (P)} = V * I * \cos \theta \quad (3.10)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{X}{R}\right)$$

Recordando que:

$$\vec{Z} = R + jX$$

Otra manera de calcular esta potencia es de la siguiente manera

$$\text{Potencia activa (P)} = R * I^2 = \frac{V^2}{R} \quad (3.11)$$

Ahora bien, para producir energía en forma de movimiento, luz o calor, deben de absorber de la red eléctrica una energía eléctrica capaz de ser transformada. Esta energía se llama energía activa y su cuantificación por unidad de tiempo es la potencia activa. Tenemos entonces que:

$$\text{Energía activa en kilowatts * Hora [Kwh]} = \text{Potencia activa (P)} * \text{Tiempo en horas}$$

### 3.2.2.2 Potencia reactiva “Q”

Esta potencia la consumen los circuitos de corriente alterna que tienen conectadas cargas reactivas, como pueden ser motores, transformadores de voltaje y cualquier otro dispositivo similar que posea bobinas o enrollados. Esos dispositivos no sólo consumen la potencia activa que suministra la fuente de FEM, sino también potencia reactiva.

No es una potencia (energía) realmente consumida en la instalación, ya que no produce trabajo útil debido a que su valor medio es nulo. Aparece en una instalación eléctrica en la que existen bobinas o condensadores, y es necesaria para crear campos magnéticos y eléctricos en dichos componentes. Se representa por Q y se mide en voltamperios reactivos (VAR).

La compañía eléctrica mide la energía reactiva con el contador (kVARh) y si se superan ciertos valores, incluye un término de penalización por reactiva en la factura eléctrica.

La potencia reactiva o inductiva no proporciona ningún tipo de trabajo útil, pero los dispositivos que poseen enrollados de alambre de cobre, requieren ese tipo de potencia para poder producir el campo magnético con el cual funcionan. La unidad de medida de la potencia reactiva es el volt-ampere reactivo (VAR).

$$\text{Potencia reactiva } (Q) = V * I * \text{sen } \theta \quad (3.12)$$

$$\text{Potencia reactiva } (Q) = X * I^2 = \frac{V^2}{X} \quad (3.13)$$

La potencia reactiva es positiva si el receptor es inductivo y negativo si el receptor es capacitivo, coincidiendo en signo con la parte imaginaria de la impedancia.

La energía reactiva se utiliza para la generación de campos eléctricos y magnéticos de determinados receptores, como son los bobinados de motores y condensadores instalados en los ordenadores y equipos electrónicos. Por tanto, no se transforma en ningún tipo de trabajo denominado “útil”. Esta energía se mide en KVAR h.

### **Efectos de la energía reactiva en las instalaciones eléctricas**

La energía reactiva, al no ser transformada en trabajo “útil”, transita a través de la red provocando un aumento en la demanda de corriente eléctrica, provocando los siguientes efectos adversos:

- Pérdida de potencia “útil” en las instalaciones.
- Aumento de pérdidas de energía activa.
- Sobrecalentamientos de los conductores eléctricos.
- Menor rendimiento en los aparatos eléctricos conectados.
- Caídas de tensión y perturbaciones en la red eléctrica.
- Penalizaciones a los usuarios por parte de las compañías eléctricas.

La fórmula matemática para hallar la potencia reactiva de un circuito eléctrico es la siguiente:

$$\text{Potencia reactiva } (Q) = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (3.14)$$

### 3.2.2.3 Potencia aparente "S"

"S" o los kVA es la unidad de la potencia aparente: Es la cantidad total de potencia que consume un equipo eléctrico.

Esta potencia aparente cuya unidad de medición son los kVA (kilo volts- ampere o volt-ampere), designada comúnmente con la letra "S" no es realmente la "útil", salvo cuando el factor de potencia es la unidad (S=P).

Significa que la red de alimentación eléctrica no solo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de satisfacer la que "almacenan" las bobinas y condensadores.

Dicho en otras palabras, "S" es la suma vectorial de la potencia "P" kW (Potencia útil) que disipan los equipos en calor o trabajo y la potencia en "Q" kVAr (Potencia campos) utilizada para la formación de los campos eléctrico y magnético de sus componentes.

Los equipos que presentan la potencia en kVA son los que tienen componentes como transformadores, motores y equipos electrónicos, tales como: televisores, computadores, bombas hidráulicas, neveras, Aires acondicionados etc.

$$\text{Potencia aparente "S"} = V * I \quad (3.15)$$

$$\text{Potencia aparente "S"} = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.16)$$

**Entonces podemos decir que el factor de potencia es un indicador de cuanta energía de la red es aprovechada para realizar un trabajo o sobre el correcto aprovechamiento de la energía, de forma general es la cantidad de energía que se ha convertido en trabajo. El factor de potencia puede tomar valores entre 0 y 1, lo que significa que: El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo. Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.**

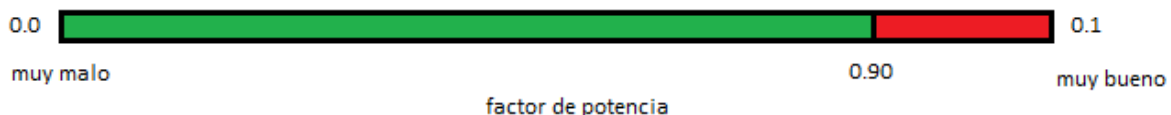


Figura 3.3

***Al incrementar el factor de potencia se tendrán evidentes beneficios en:***

- a) Disminución de pérdidas en los conductores.
- b) Reducción de las pérdidas de las caídas de tensión.
- c) Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores y líneas.
- d) Incremento de la vida útil de las instalaciones eléctricas.
- e) Reducción del costo de su facturación de energía eléctrica.

Ya que el bajo factor de potencia se origina por la carga inductiva (bobinas), que algunos equipos requieren para su funcionamiento, es necesario compensar este consumo reactivo mediante banco de capacitores y/o filtros de armónicas (Carga lineal y no lineal).

Se pueden manejar tres arreglos para la aplicación de capacitores, los cuales pueden combinarse entre sí según el arreglo que más beneficie en cada caso

Para lograr este cometido de incrementar el factor de potencia es necesario hacer un estudio (que por lo general no es muy barato) sobre si se necesita un banco de capacitores o no.

***3.3 Corrección del bajo factor de potencia.***

La corrección del F.P. consiste en disminuir la potencia reactiva (Q) que demanda la carga, de manera que, ahora, los KVA tienden a ser iguales a los KW.

Para lograr lo anterior es necesario reemplazar la fuente de los KVAR, en lugar de que éstos sean proporcionados por CFE, se busca una fuente alterna, es decir, un banco de capacitores. Es importante resaltar que el hecho, de que se instale un banco de capacitores para la corrección del factor de potencia, no quiere decir que va a existir un ahorro de energía, lo que se reemplaza es UNICAMENTE la fuente de KVAR, la carga siempre va a requerir los mismos KVAR, lo importante es que el medidor registre la demanda de KVAR provenientes de CFE en lo menor posible.

- 1- La corrección del factor de potencia es mediante la instalación de bancos de capacitores.
- 2- Una vez corregido el F.P. no es sinónimo de que hay un ahorro de energía, ya que los KW demandados no cambian.
- 3- La multa por bajo F.P. puede llegar a ser de hasta un 120% del costo de la facturación mensual.
- 4- La bonificación por un F.P. unitario (mejor caso) es del 2.5% del costo de la facturación mensual.

### 3.3.1 Banco de capacitores.

Los bancos de capacitores son utilizados como compensadores de potencia reactiva en un sistema eléctrico ayudan a la estabilidad del sistema; a la disminución de las pérdidas e incrementan la calidad del suministro eléctrico.



Figura 3.4

Los bancos de capacitores (figura 3.4) son modernos dispositivos que, por lo general, son instalados en los sistemas eléctricos, tanto de baja, mediana y alta presión para evitar las penalizaciones que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) impone por no corregir el factor de la potencia eléctrica.

Asimismo, cuando los bancos de capacitores son utilizados como parte del sistema de filtros armónicos, es posible reducir las corrientes armónicas que circulan a través de las redes eléctricas y que afectan a la correcta distribución de la energía. Así, estos dispositivos permiten evitar las pérdidas de energía eléctrica y el desgaste de los equipos encargados de realizar los deferentes procesos para llevar la energía eléctrica a los hogares de las familias mexicanas.

En palabras simples al momento de un arranque de motores se tiene una demanda de corriente de 3 a 5 veces la nominal (en operación normal) cuando pasa esto el circuito se sobreexcita lo que provoca que haya un mayor desfase entre cada línea lo que hace el capacitor es reducir este desfase de arranque “inyectando” corriente directa como se observa en la figura lo que ocasiona que no tenga fallas el circuito eléctrico al momento del arranque.

En función del costo mensual del cargo aplicado, comparar con el costo del banco y su instalación para calcular en cuanto se paga.

### 3.3.1.1 Tipos de conexión del banco de capacitores

Si bien no existen reglas específicas para los diferentes tipos de instalaciones y en teoría los condensadores pueden instalarse en cualquier punto es preciso evaluar su ejecución práctica y económica. A partir de las modalidades de ubicación de los condensadores, los principales métodos de corrección son:

- Corrección del factor de potencia distribuida.
- Corrección del factor de potencia por grupos.
- Corrección del factor de potencia centralizada.
- Corrección del factor de potencia mixta.
- Corrección del factor de potencia automática.

#### 3.3.1.1.1 Corrección del factor de potencia distribuida

La corrección distribuida se realiza conectando una batería de condensadores debidamente dimensionada directamente a los terminales del dispositivo que necesita la potencia reactiva.

La instalación es sencilla y poco costosa: el condensador y la carga pueden beneficiarse de las mismas protecciones contra sobre corrientes y se insertan o desconectan a la vez. Este tipo de corrección es aconsejable para grandes aparatos con carga y factor de potencia constantes y tiempos de conexión prolongados; por lo general, es utilizado para motores y lámparas fluorescentes.

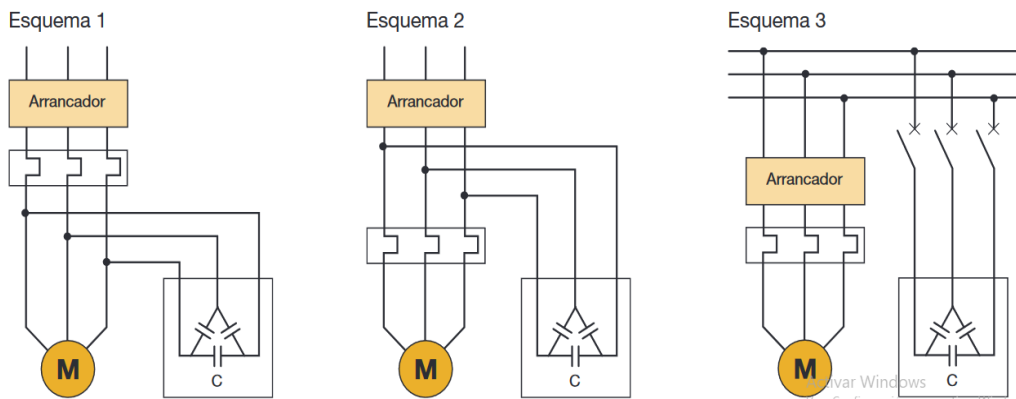


Figura 3.5

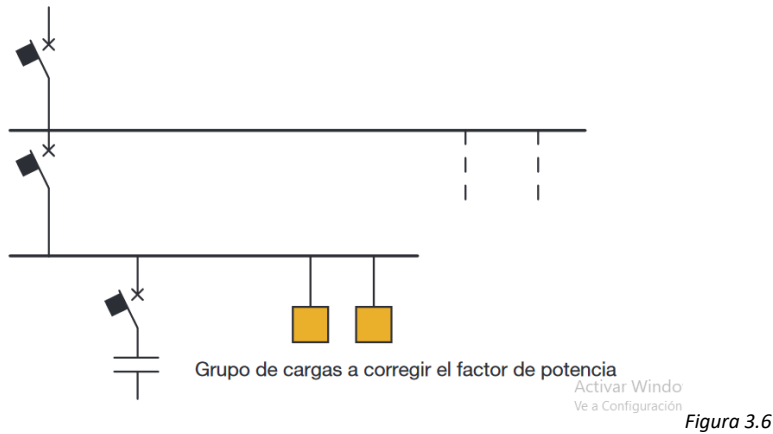
La figura 3.5 presenta los esquemas usuales de conexión para la corrección del factor de potencia de motores.

En caso de conexión directa (esquemas 1 y 2) se corre el riesgo de que, tras el corte de la alimentación, el motor al continuar rotando (energía cinética residual) y auto excitándose con la energía reactiva suministrada por la batería de condensadores, se transforme en un generador asíncrono. Si esto ocurre la tensión se mantiene en el lado de carga del dispositivo de maniobra y control con riesgo de peligrosas sobretensiones (hasta el doble de la tensión nominal).

Por medio del esquema 3, la batería de compensación se conecta al motor sólo cuando éste está en marcha y se desconecta del mismo antes de que se produzca el corte de la alimentación del motor

### 3.3.1.1.2 Corrección por grupos

Consiste en corregir localmente grupos de cargas con características de funcionamiento similares mediante la instalación de una batería de condensadores.



### 3.3.1.1.3 Corrección centralizada

En instalaciones con muchas cargas, en las que todos sus elementos funcionan de forma simultánea y/o algunos están conectados sólo unas pocas horas al día, es evidente que la solución de la corrección distribuida resulta demasiado costosa, quedando durante largos periodos inutilizados muchos de los condensadores instalados. Por tanto, el uso de un único sistema de corrección en el punto inicial de la instalación permite reducir notablemente la suma de potencias de los condensadores instalados.

En la corrección centralizada se emplean normalmente en circuitos automatizados con baterías fraccionadas en más escalones instalados directamente en los cuadros principales de distribución. El uso de una batería conectada permanentemente sólo es posible si la demanda de energía reactiva es lo suficientemente regular durante todo el día.

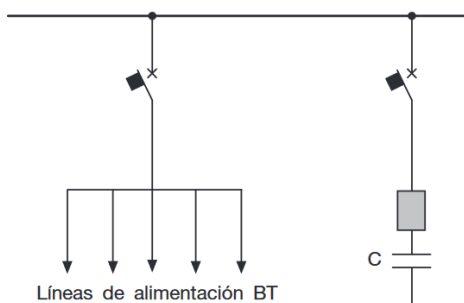


Figura 3.7



#### **3.3.1.1.4 Conexión mixta**

Esta solución deriva de una fusión entre las soluciones de corrección distribuida y conexión centralizada, combinando las ventajas de ambos. De esta forma se utiliza la corrección distribuida para los aparatos eléctricos de mayor potencia y la centralizada para la parte restante.

La corrección mixta se emplea generalmente cuando en una instalación sólo se utilizan con frecuencia los equipos más pesados, de manera que éstos son compensados individualmente mientras que los demás aparatos son compensados de forma centralizada.

#### **3.3.1.1.5 Corrección automatizada**

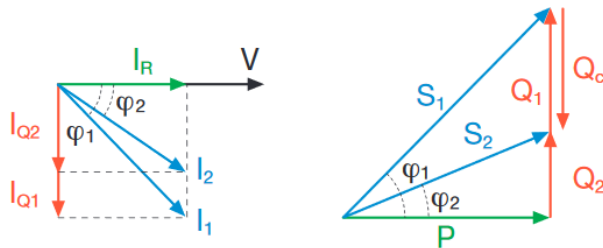
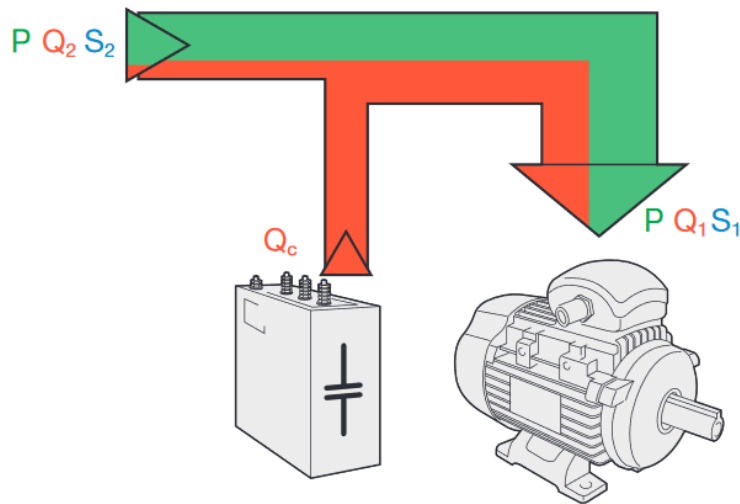
En la mayor parte de las instalaciones no tiene lugar una absorción constante de potencia reactiva por ejemplo a causa de ciclos de trabajo en los que se utilizan máquinas con diferentes propiedades eléctricas. En dichas instalaciones se emplean sistemas de corrección automatizados que por medio de un sistema de detección de tipo varimétrico y de un regulador del factor de potencia, permiten la inserción o la desconexión automática de las diferentes baterías de condensadores, siguiendo de esta forma las variaciones de la potencia reactiva absorbida y manteniendo constante el factor de potencia de la instalación.

Un sistema de corrección automática está compuesto por:

- a) sensores que detectan las señales de corriente y tensión.
- b) una unidad inteligente que compara el factor de potencia medido con el deseado y ejecuta la inserción o la desconexión de las baterías de condensadores en función de la potencia reactiva necesaria (regulador del factor de potencia); c)
- c) un cuadro eléctrico de potencia, que incluye los dispositivos de protección y maniobra
- d) baterías de condensadores. Con objeto de proporcionar una potencia lo más cercana posible a la requerida, la inserción de los condensadores tiene lugar de forma escalonada; la precisión de control será mayor cuanto más escalones haya y cuanto más pequeña sea la diferencia entre ellos.

### 3.3.1.2 Visualización de la corrección del factor de potencia

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P \cdot (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) \quad [2.1]$$

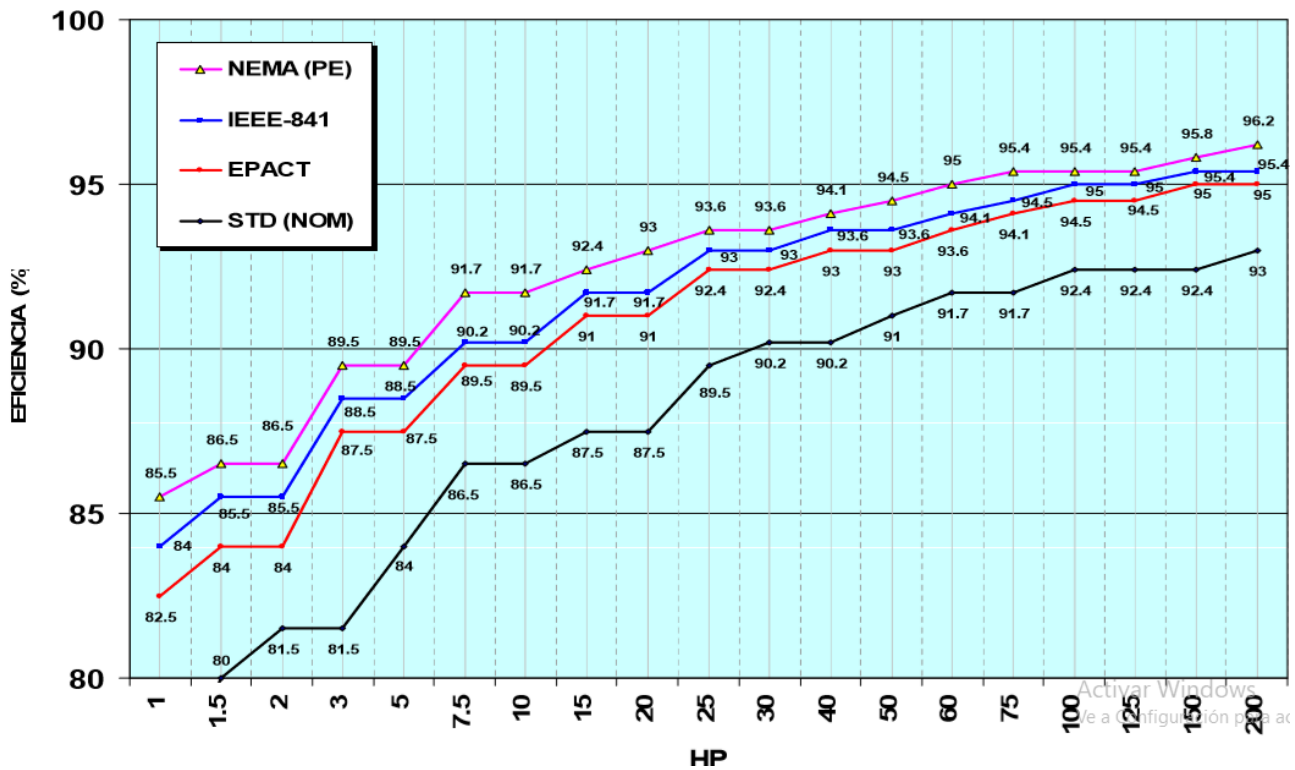


donde:

- P es la potencia activa;
- $Q_1, \varphi_1$  son la potencia reactiva y el ángulo de desfase antes de la corrección;
- $Q_2, \varphi_2$  son la potencia reactiva y el ángulo de desfase tras la corrección;
- $Q_c$  es la potencia reactiva de corrección.

### 3.4 Motores de inducción de alta eficiencia.

La tecnología de fabricación de motores ha evolucionado mucho los últimos años y hoy en día los motores estándar se van reemplazando por motores de alta eficiencia debido a que se obtienen menores costos de operación significado de un ahorro en el consumo de energía.



#### 3.4.1 Mejora de componentes

La mayor eficiencia de estos motores se debe a un conjunto de factores entre los principales se tienen las características de fabricación que son:

- Rotor inyectado en cobre y más compacto con una consecuente mayor conductividad y un menor momento de inercia.
- El ventilador tiene un diseño aerodinámico ligero y de bajas pérdidas por fricción poseen mayor cantidad y mejor calidad de cobre para reducir la resistencia a la corriente y reducir las pérdidas en este concepto.
- Reducción de la dispersión del campo a través de una mayor área de laminación.
- Rodamientos antifricción de bajo calentamiento, bajo ruido y bajas pérdidas por fricción.
- Entrehierro más estrecho lo que reduce las pérdidas magnéticas y por fricción.
- Núcleo estático con láminas de hierro-silicio, reduciendo las corrientes de Foucault y las pérdidas del campo magnético.

### **3.4.1.1 Rotor de cobre**

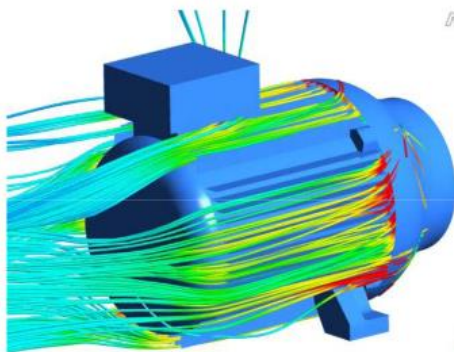
Las grandes armadoras de motores han realizado en los últimos años experimentos que buscan introducir al mercado los rotores de cobre, han arrojado excelentes resultados, demostrando que la eficiencia de los motores con rotores de cobre promedian un 90,7% de eficiencia, nivel que supera la de los motores producidos en la actualidad. También se mostró que los motores con barras conductoras de cobre en los rotores produjeron una reducción en las pérdidas totales de entre 15% a más de 20%, comparado con un rotor de aluminio equivalente.

Se ha encontrado que los rotores de cobre tienen alta calidad, menos porosidad y equilibrio casi perfecto, lo que no sólo mejora su desempeño, sino que hace innecesario el uso de contrapesos y reduce los costos. Además se descubrió una gran disminución en la temperatura operativa del motor, de 4,5 °C, lo cual alarga su vida útil en cerca de un 50%.



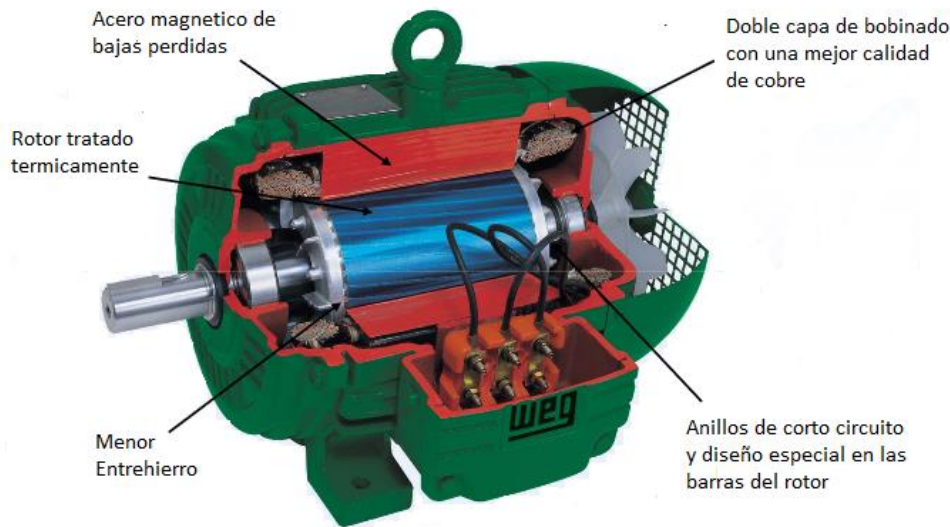
### **3.4.1.2 Diseño aerodinámico**

Rediseñado para proporcionar un flujo de aire mejorado en todas las carcasas manteniendo bajas temperaturas de funcionamiento y garantizar la fiabilidad y vida útil prolongada. El diseño aerodinámico de la deflectora aumenta el flujo de aire, reduciendo así al mínimo las pérdidas debidas a la recirculación de aire entre el ventilador y la deflectora. El ventilador fue diseñado para proporcionar resistencia y nivel de ruido reducido y baja temperatura general de funcionamiento que resulta en una vida útil más larga



### 3.4.1.3 Medidas para la reducción de pérdidas

- a) Acero al silicio usado en paquetes de laminación y cobre en bobinado con mejores propiedades magnéticas
- b) Calibre de la lámina más delgada
- c) Mayor longitud del núcleo
- d) Reducción de la distancia del entrehierro
- e) Mayor cantidad de cobre en bobinas
- f) Mayor sección transversal de los conductores
- g) Tipo de rodamientos(antifricción)



Este tipo de motores incluyen un diseño único de carcasa con aletas cuenta con una mayor superficie para disipar el calor en forma más eficiente que un diseño convencional con carcasa de fundición gris o de lámina rolada. Para aplicaciones de uso general, nuestros motores con carcasa de fundición de aluminio ofrecen una excepcional disipación de calor, especialmente en comparación con diseños de lámina rolada.

Ventilador de policarbonato con gran capacidad de flujo y un capuchón con un diseño único de aberturas radiales aseguran un flujo de aire óptimo.

- Un momento de inercia bajo de los componentes rotativos reducen las pérdidas por ventilación y fricción.
- Estator y rotor diseñados para trabajar en conjunto con el fin de agilizar la eliminación de calor del interior de la carcasa
- El avanzado diseño electromagnético de estos motores optimiza el uso de energía dentro del motor para lograr una máxima eficiencia.

### **3.4.2 Características de fabricación**

- a) Los fabricantes dan un mayor tiempo de garantía
- b) Mayores ciclos de lubricación
- c) Mayor tolerancia al estrés térmico y eléctrico
- d) Habilidad para operar en ambientes de elevadas temperaturas.
- e) Factores de servicio 1.15 en 50 Hz.

La viabilidad económica de cambiar motores estándar por motores de alta eficiencia depende del tiempo de utilización, del factor de carga, del porcentaje de rendimiento incrementado, de la potencia del motor y del incremento en el costo de los mismos.

Más allá de la preservación ambiental y el desarrollo sustentable, un motor de alto rendimiento genera bajas pérdidas de energía, reduce notablemente la elevación de la temperatura y por lo tanto brinda una mayor vida útil en comparación con un motor convencional, gracias a que poseen mayor cantidad de cobre y una mejor disposición y diseño de sus partes internas.

### **3.4.3 Ventajas de los Motores de Alta Eficiencia**

- a) Son normalmente más robustos y mejor construidos que los motores estándar, lo que traduce en menores gastos en mantenimiento y mayor tiempo de vida.
- b) Al tener una eficiencia mayor, se disminuye los costos de operación del motor y se puede recuperar la inversión adicional en un tiempo razonable, sobre todo si se opera a una carga cercana a la potencia nominal.

### **3.4.4 Limitaciones de los Motores de Alta Eficiencia.**

- a) Como operan a una velocidad mayor que los motores estándares, puede ocasionar un incremento en la carga, sobre todo cuando se accionan ventiladores o bombas centrífugas, este hecho debe valorarse en cada situación.
- b) El momento de arranque puede ser menores que los motores estándares, cuestión que resulte necesario analizar detalladamente en cada aplicación.
- c) La corriente de arranque suele ser mayor. Esto puede provocar que se sobrepasen los límites máximos de caída de voltaje en la red en el momento de arranque.
- d) La corriente transitoria en el arranque se incrementa debido a un mayor valor de la relación X/R. Esta corriente puede afectar el disparo instantáneo del interruptor del motor, por lo que hay que buscar un compromiso entre la coordinación del interruptor y los disparos del arranque.
- e) El factor de potencia del motor puede ser menor que un motor estándar en el intervalo de 15 a 40 HP

### **3.4.5 Factores que se deben tomar en cuenta para su instalación**

- a- Evitar el arranque y la operación simultánea de motores, sobre todo los de mediana y gran capacidad, para disminuir el valor máximo de la demanda.
- b- Evitar la operación en vacío de los motores.
- c- Verificar periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada. Una alineación defectuosa puede incrementar las pérdidas por rozamiento y en caso extremo ocasionar daños mayores en el motor y en la carga.
- d- Corregir la caída de tensión en los alimentadores. Una tensión reducida en los terminales del motor, genera un incremento de la corriente, sobrecalentamiento y disminución de su eficiencia. Las normas permiten una caída de tensión del 5%. Para ello utiliza conductores correctamente dimensionados.
- e- Equilibrar la tensión de alimentación en los motores trifásicos de corriente alterna. El desequilibrio entre fases no debe exceder en ningún caso del 5%, pero mientras menor sea el desequilibrio, los motores operarán con mayor eficiencia.
- f- Mantener bien ajustado y en óptimas condiciones el interruptor de arranque de los motores monofásicos de fase partida. El mal funcionamiento de este accesorio que se emplea para desconectar el devanado de arranque (y el condensador en los motores de arranque por condensador) provoca un sobrecalentamiento en los conductores ocasionando significativas pérdidas de energía y en caso extremo el fallo del motor.
- g- Utilizar arrancadores a tensión reducida en aquellos motores que realicen un número elevado de arranques. Con esto se evita un calentamiento excesivo en los conductores y se logra disminuir las pérdidas durante la aceleración.
- h- Sustituir en los motores de rotor devanado, los reguladores con resistencias para el control de la velocidad, por reguladores electrónicos más eficientes, porque las resistencias llegan a consumir hasta un 20% de la potencia que el motor toma de la red.
- i- Instalar equipos de control de la temperatura del aceite de lubricación de cojinetes de motores de gran capacidad a fin de minimizar las pérdidas por fricción y elevar la eficiencia.
- j- No se recomienda rebobinar los motores más de 2 veces, porque puede variar las características de diseño del motor, lo cual incrementaría las pérdidas de energía.

### **3.4.6 Instituciones regulatorias**

Los fabricantes de motores han utilizado la denominación 'motor de alto rendimiento' durante muchos años. Sin embargo, como esta afirmación ha sido utilizada generalmente por todos los fabricantes de motores, ha resultado difícil para los clientes decidir qué motores eran, de hecho, eficientes desde el punto de vista energético.

Para resolver este problema y para disminuir el consumo de energía en los EE.UU., el Congreso de los EE.UU. elaboró la Ley de Política Energética de 1992 (EPAAct) que entró en vigor el 24 de octubre de 1997. La EPAAct dictamina que los motores sobre pedestal importados o fabricados en los EE.UU. para la industria deben cumplir los requisitos mínimos de rendimiento indicados en la lista EPAAct.

Desde entonces, han hecho aparición otras normas de motores, algunas de las cuales se describen a continuación. En muchos aspectos se parecen entre sí, pero en ocasiones existen diferencias en los KW sobre los que se aplican.

#### **MEPS**

Normas de Rendimiento de Energía Mínima (MEPS), Legislación en Australia. Desde 2001, todos los motores eléctricos trifásicos desde 0,73 kW a 185 kW tienen que cumplir las MEPS. Las nuevas normas se describen en las normas AS/NZS 1359.5:2000 de Australia y Nueva Zelanda, y estas son obligatorias por ley. MEPS indica que los productos se deben retirar del mercado si tienen un rendimiento energético inaceptablemente bajo. MEPS define también los niveles de rendimiento mínimo antes de que un motor se pueda designar como un motor de alto rendimiento.

#### **IEC/EN**

Las normas IEC/EN cubren lo que normalmente se denominan motores 'IEC' (Europa, Asia). La International Electrotechnical Commission (IEC, Comisión Electrotécnica Internacional) establece las normas para motores que se utilizan en diversos países del mundo. Las normas IEC 60034 contienen prácticas eléctricas recomendadas que han sido desarrolladas por los países participantes en la IEC. Las tolerancias y dimensiones mecánicas de los motores se especifican en las normas IEC 600 72 y EN50347. Se aplican las unidades del sistema métrico (unidades SI).

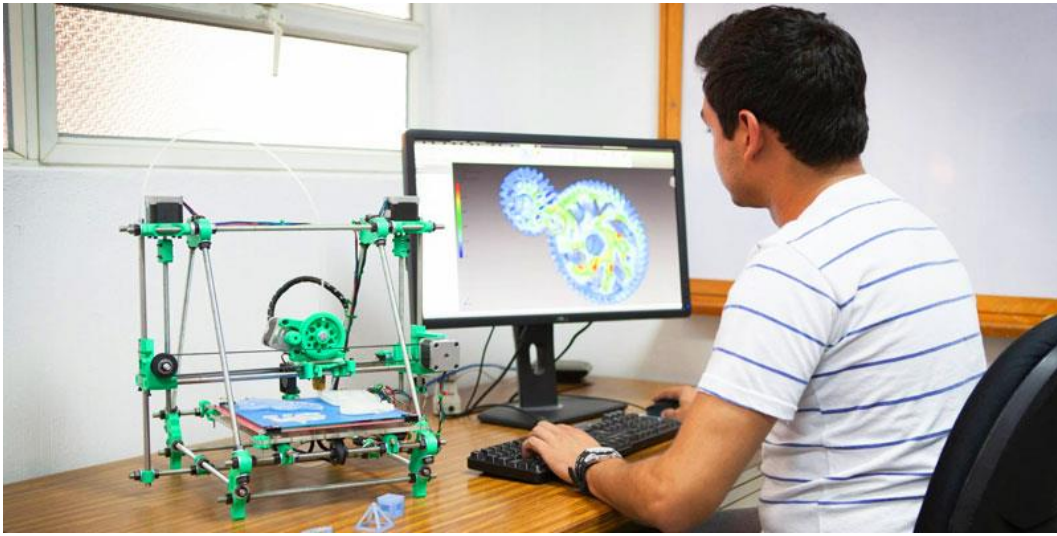
#### **NEMA**

Las normas NEMA hacen referencia a los motores de EE.UU., Canadá y otros países relacionados con EE.UU. Por tanto, NEMA se asocia principalmente con los motores utilizados en Norteamérica. La National Electrical Manufacturers Association (NEMA, Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) establece las normas para una amplia gama de productos eléctricos que incluyen los motores. Las normas representan el uso práctico en la industria en general y están respaldadas por los fabricantes de los equipos eléctricos. La norma para los motores se puede localizar en la Norma NEMA Publicación nº MG1. Algunos motores grandes podrían no estar dentro de la normativa NEMA. Se aplican las unidades imperiales (EE.UU.).



# Capítulo 4

## Software



***El siguiente programa calcula los valores del motor de inducción trifásico; debe de considerarse que es para uso didáctico (resolución de problemas) ya que para un uso industrial se debe de modificar para introducir valores más típicos que incluyen las placas de los motores***

***Esta realizado en código "C" y probado con el software "DEV C ++" te permite interactuar con el usuario e introducir valores según la variable que se requiere encontrar.***

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>
#include <stdlib.h>

main(){

int p=0;
int q=0;
int op;
int op2;

float
Deslizamiento,Polos,Frecuencia,Velocidad_de_sincronismo,Velocidad_del_rotor,Voltaje_de_entrada,Corriente_de_entrada,Factor_de_potencia,Potencia_de_entrada,Resistencia_del_estator_por_fase,
Perdidas_del_cobre_en_el_estator,Perdidas_del_cobre_en_el_rotor,Perdidas_del_hierro_en_el_estator,Velocidad_del_rotor_en_radianes,Perdidas_mecanicainternas,Corriente_del_rotor,Torque_bruto,Factor_de_potencia_del_rotor,
Perdidas_en_el_entrehierro,Voltaje_inducido_al_devanado_del_rotor,Corriente_inducida_en_el_devanado_del_rotor,Resistencia_del_rotor,Reactancia_del_rotor,Factor_de_potencia_en_el_devanado_del_rotor,Voltaje_del_rotor,
Densidad_del_campo_magnetico, Espiras, Voltaje_de_entrada2, FEM_del_estator,
Resistencia_de_estator, Reactancia_de_estator, Potencia_desarrollada, Eficiencia,
Torque_a_la_salida, Potencia_a_la_salida;

while(!p)
{
```

```

printf("-----\n");
printf("-----\n");

printf("Bienvenido al calculador de variables del motor de inducción trifásico\n", 160);
printf("si desconoces alguna variable responde con un cero a la pregunta\n");
printf("comencemos!!!!\n\n");

printf("indica la variable que deseas conocer\n");
printf("1.- Velocidad de sincronismo\n");
printf("2.- Velocidad del rotor\n");
printf("3.- Deslizamiento\n");
printf("4.- Corriente de alimentación\n");
printf("5.- Factor de potencia del estator\n");
printf("6.- Potencia eléctrica de entrada\n");
printf("7.- P%crdidas de cobre en el estator\n", 130);
printf("8.- P%crdidas de hierro en el estator\n", 130);
printf("9.- P%crdidas en el entrehierro o en el air gap\n", 130);
printf("10.- Corriente inducida en el rotor por fase\n");
printf("11.- Factor de potencia en el rotor\n");
printf("12.- P%crdidas de cobre en el rotor\n", 130);
printf("13.- P%crdidas de hierro en el rotor\n", 130);
printf("14.- Potencia %ctil o Potencia de salida\n", 163);
printf("15.- Potencia Desarrollada\n");
printf("16.- Torque en la flecha del motor\n");
printf("17.- Torque bruto o desarrollado por el motor\n");
printf("18.- Eficiencia del motor\n");
scanf("%d", &op);

```

```

switch(op)
{
case 1:
printf("Apartado del c%clculo de la velocidad de sincronismo\n", 160);
printf("
                \n");
printf("introduce el n%cmero de polos: ", 163);
scanf("%f", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%ctrice en Hertz: ", 162,130);
scanf("%f", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo es: ,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
printf("la velocidad de sincronismo en radianes es:
%f\n",Velocidad_de_sincronismo*((2*3.141592654)/60));
return main();

case 2:
printf("Apartado del c%clculo de la velocidad del rotor\n", 160);
printf("
                \n");
printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n%cmero de polos: ", 163);
scanf("%f", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%ctrice en Hertz: ", 162,130);
scanf("%f", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
break;

```

```

}

printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslizamiento);
if(Deslizamiento>1)
{
Deslizamiento=(Deslizamiento/100);
}
else
{
(Deslizamiento=Deslizamiento);
}
while(Deslizamiento==0)
{

printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"consejo %ctil para averiguar esta variable seria colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,162);
return main();
}

Velocidad_del_rotor=(Velocidad_de_sincronismo*(1-Deslizamiento));
printf("la velocidad del rotor en revoluciones por minuto es de: ,%f\n",Velocidad_del_rotor);
printf("la velocidad del rotor en radianes es de:
,%f\n",(Velocidad_del_rotor)*((2*3.141592654)/60));
break;

case 3:
printf("Apartado del c%clculo del deslizamiento del motor\n", 160);
printf("
\n");
printf("introduce la velocidad de sincronismo en rpm: ");

```

```

scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el nmero de polos: ", 163);
scanf("%d", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%ctrice en Hertz: ", 162,130);
scanf("%d", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo es: ,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
}

printf("introduce la velocidad a la que gira el rotor; el dato en tu problema debe estar abreviado
como wr\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while(Velocidad_del_rotor==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer el deslizamiento.\n"
"consejo %ctil para averiguar esta variable seria colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,162);
return main();
}

Deslizamiento=((Velocidad_de_sincronismo-Velocidad_del_rotor)/(Velocidad_de_sincronismo));
printf("el deslizamiento de tu motor es de: ,%f\n",Deslizamiento);
printf("el deslizamiento de tu motor en porcentaje es de: ,%f\n",Deslizamiento*100);
return main();

case 4:
printf("Apartado del c%clculo de la corriente de alimentaci%cn del motor\n", 160,162);
printf("a partir de la potencia el%ctrice de entrada y factor de potencia\n", 130);
printf("
\n");
printf("introduce el valor del voltaje de l%cnea\n", 161);

```

```

printf("si el valor de tu problema es el valor del voltaje entre fases multipl%ccalo por ra%cz de
tres\n", 161,161);

printf("si es el valor de la placa del motor introd%ccelo igual\n", 163);

scanf("%f", &Voltaje_de_entrada);

while(Voltaje_de_entrada==0)
{

printf("este dato es f%ccil de obtener ya sea del tablero de distribuci%cn o viendo la placa y la
conexi%cn del motor\n"

"es forzoso este dato para cualquiera de los 2 m%ctodos de obtenci%cn de la corriente lo siento
no podemos continuar\n", 160,162,162,130,162);

return main();

}

printf("introduce el factor de potencia del motor\n");
printf("este dato viene en la placa del motor\n");

printf("si no tienes este dato en tu problema ve al apartado del c%clculo del factor de potencia\n",
160);

scanf("%f", &Factor_de_potencia);

while(Factor_de_potencia==0)
{

printf("este dato lo puedes obtener de la placa del motor\n");

printf("si es un problema el que tienes en tus manos ve al apartado del c%clculo del factor de
potencia\n", 160);

printf("Aunque en este apartado se supone tendr%cas que tener este dato\n", 161);

return main();

}

printf("introduce la potencia de entrada del motor\n");

printf("este dato viene en la placa del motor por si no lo tuvieras\n");

scanf("%f", &Potencia_de_entrada);

while(Potencia_de_entrada==0)
{

```

```

printf("introduce el valor de la eficiencia del motor\n");

printf("en algunas placas de motores viene este dato sin embargo no es un dato que venga
siempre y en todas las placas\n");

scanf("%f", &Eficiencia);

if(Eficiencia>1)
{
Eficiencia=(Eficiencia/100);
}
else
{
(Eficiencia==Eficiencia);
}

while(Eficiencia==0)
{
printf("este dato a veces viene en la placa del motor su calculo depende de la variable que
est%cs buscando\n", 160,160);

printf("sin este dato no podemos avanzar más\n");

return main();
}

printf("introduce el valor de la potencia de salida del motor el dato en un problema viene c%cmo P
out\n", 162);

printf("este dato se debe ingresar en watts\n");

scanf("%f", &Potencia_a_la_salida);

while (Potencia_a_la_salida==0)
{
printf("introduce el valor de la velocidad del rotor en radianes\n");

```



```

scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while (Velocidad_del_rotor==0)
{

printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);
while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n%cmero de polos: ", 163);
scanf("%f", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%cctrica en Hertz: ", 162,130);
scanf("%f", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);

}

printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslisamiento);

if(Deslisamiento>1)
{
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
}
else
{
(Deslisamiento=Deslisamiento);
}
while(Deslisamiento==0)
{

```

```

printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"un consejo %ctil para averiguar esta variable seria colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,162);

return main();
}

Velocidad_del_rotor=((Velocidad_de_sincronismo*(1-Deslisamiento))*((2*3.141592654)/60));

printf("la velocidad del rotor en radianes: ,%f\n",Velocidad_del_rotor);

}

printf("introduce el torque del motor a la salida, este dato tiene que estar en newtons por
metro");

printf("este dato es dif%ccil de medir se necesita estar en un laboratorio con dinam%cmetro\n",
161,162);

printf("y es m%cs com%cn encontrar el dato en un problema\n", 160,163);

scanf("%f", &Torque_a_la_salida);

while(Torque_a_la_salida==0)

{

printf("sin este dato no podemos seguir el c%clculo de la potencia a la salida lo siento\n", 160);

return main();

}

Potencia_a_la_salida=(Torque_a_la_salida*Velocidad_del_rotor);

printf("la potencia de salida es de: ,%f\n",Potencia_a_la_salida);

}

Potencia_de_entrada=(Potencia_a_la_salida/Eficiencia);

printf("la potencia de entrada es de: ,%f\n",Potencia_de_entrada);

}

Corriente_de_entrada=(Potencia_de_entrada/(sqrt(3)*Factor_de_potencia*Voltaje_de_entrada));

printf("la corriente de alimentaci%cn es de: ,%f\n", 162,Corriente_de_entrada);

```

```
return main();
```

case 5:

```
printf("apartado del calculo del factor de potencia del estator\n\n", 160,160);
```

```
printf("                                \n");
```

```
printf("introduce el valor del voltaje de alimentacion al motor\n", 162);
```

```
printf("si el valor de tu problema es el valor de voltaje por fase multiplicado por raíz de tres\n",  
161,161);
```

```
scanf("%f", &Voltaje_de_entrada);
```

```
while(Voltaje_de_entrada==0)
```

```
{
```

```
printf("este dato es necesario de obtener ya sea del tablero de distribución o viendo la placa y la  
conexión del motor\n", 160,162,162);
```

```
printf("no podemos continuar en este apartado si no cuentas con este dato\n");
```

```
return main();
```

```
}
```

```
printf("introduce el valor de la corriente de alimentacion si tienes el dato por fase multiplicado  
por raíz de 3\n", 162,161,161);
```

```
scanf("%f", &Corriente_de_entrada);
```

```
while(Corriente_de_entrada==0)
```

```
{
```

```
printf("el dato de la corriente eléctrica es necesario para el calculo del factor de potencia\n",  
130,160);
```

```
printf("este dato lo puedes obtener de la placa del motor o del tablero de distribución  
eléctrica\n", 162,130);
```

```
return main();
```

```
}
```

```

printf("introduce la potencia de elccctrica de entrada al motor en watts\n", 130);
printf("este dato lo podemos obtener de la placa del motor\n");
scanf("%f", &Potencia_de_entrada);
while(Potencia_de_entrada==0)

{
printf("apartado del cálculo del factor de potencia del estator\n\n");
printf("
                \n");
printf("introduce el valor del voltaje de alimentación al motor\n");
printf("si el valor de tu problema es el valor de voltaje por fase multiplícalo por raíz de tres\n");
scanf("%f", &Voltaje_de_entrada);
while(Voltaje_de_entrada==0)
{
printf("este dato es fácil de obtener ya sea del tablero de distribución o viendo la placa y la
conexión del motor\n");
printf("no podemos continuar en este apartado si no cuentas con este dato\n");

return main();
}

printf("introduce el valor de la corriente de alimentación si tienes el dato por fase multiplícalo por
raíz de 3\n");
scanf("%f", &Corriente_de_entrada);
while(Corriente_de_entrada==0)
{
printf("el dato de la corriente eléctrica es necesario para el cálculo del factor de potencia\n");
printf("este dato lo puedes obtener de la placa del motor o del tablero de distribución
eléctrica\n");
return main();
}

printf("introduce la potencia de eléctrica de entrada al motor en watts\n");
printf("este dato lo podemos obtener de la placa del motor\n");

```

```

scanf("%f", &Potencia_de_entrada);
while(Potencia_de_entrada==0)

{
printf("introduce el valor de la eficiencia del motor\n");
printf("en algunas placas de motores viene este dato sin embargo no es un dato que venga
siempre y en todas las placas\n");
scanf("%f", &Eficiencia);

if(Eficiencia>1)
{
Eficiencia=(Eficiencia/100);
}
else
{
(Eficiencia==Eficiencia);
}

while(Eficiencia==0)
{
printf("este dato a veces viene en la placa del motor su cálculo depende de la variable que estás
buscando\n");
printf("sin este dato no podemos avanzar más\n");
return main();
}

printf("introduce el valor de la potencia de salida del motor el dato en un problema viene como P
out\n");
printf("este dato se debe ingresar en watts\n");
scanf("%f", &Potencia_a_la_salida);
while (Potencia_a_la_salida==0)

```

```

{
printf("introduce el valor de la velocidad del rotor en radianes\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while (Velocidad_del_rotor==0)
{

printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el número de polos: ");
scanf("%f", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentación eléctrica en Hertz: ");
scanf("%f", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);

}

printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslisamiento);

if(Deslisamiento>1)
{
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
}
else
{
(Deslisamiento=Deslisamiento);
}
}

```

```

}
while(Deslisamiento==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"consejo útil para averiguar esta variable seria colocar un tacómetro en la flecha del motor\n\n");
return main();
}
Velocidad_del_rotor=((Velocidad_de_sincronismo*(1-Deslisamiento))*((2*3.141592654)/60));
printf("la velocidad del rotor en radianes: ,%f\n",Velocidad_del_rotor);

}

printf("introduce el torque del motor a la salida, este dato tiene que estar en newtons por
metro");
printf("este dato es difícil de medir se necesita estar en un laboratorio con dinamómetro\n");
printf("y es más común encontrar el dato en un problema\n");
scanf("%f", &Torque_a_la_salida);
while(Torque_a_la_salida==0)

{
printf("sin este dato no podemos seguir el cálculo de la potencia a la salida lo siento\n");
return main();
}

Potencia_a_la_salida=(Torque_a_la_salida*Velocidad_del_rotor);
printf("la potencia de salida es de: ,%f\n",Potencia_a_la_salida);
}

Potencia_de_entrada=(Potencia_a_la_salida/Eficiencia);
printf("la potencia de entrada es de: ,%f\n",Potencia_de_entrada);
}

```

```
Factor_de_potencia=(Potencia_de_entrada/(sqrt(3)*Corriente_de_entrada*Voltaje_de_entrada));
printf("El factor de potencia en el estator es de: ,%f\n",Factor_de_potencia);

}
```

```
Factor_de_potencia=(Potencia_de_entrada/(sqrt(3)*Corriente_de_entrada*Voltaje_de_entrada));
printf("El factor de potencia en el estator es de: ,%f\n",Factor_de_potencia);
```

```
break;
```

```
case 6:
```

```
while(!q){
```

```
printf("Apartado del c%clculo de la potencia el%cctrica de alimentaci%cn\n", 160,130,161);
```

```
printf("                                \n");
```

```
printf("indica los datos con los que cuentas para calcular la potencia de entrada del motor\n");
```

```
printf("1.- a partir de la eficiencia del motor y de la potencia de salida\n");
```

```
printf("2.- a partir del voltaje de entrada, corriente de entrada y factor de potencia\n");
```

```
scanf("%d", &op2);
```

```
switch(op2)
```

```
{
```

```
case 1:
```



```

printf("introduce el valor de la eficiencia del motor\n");

printf("en algunas placas de motores viene este dato sin embargo no es un dato que venga
siempre y en todas las placas\n");

scanf("%f", &Eficiencia);

if(Eficiencia>1)
{
Eficiencia=(Eficiencia/100);
}
else
{
(Eficiencia==Eficiencia);
}

while(Eficiencia==0)
{
printf("este dato a veces viene en la placa del motor su calculo depende de la variable que
est%c buscando\n", 160,130);

printf("sin este dato no podemos avanzar m%c\n", 160);

return main();
}

printf("introduce el valor de la potencia de salida del motor el dato en un problema viene como P
out\n");

printf("este dato se debe ingresar en watts\n");

scanf("%f", &Potencia_a_la_salida);

while (Potencia_a_la_salida==0)
{

printf("introduce el valor de la velocidad del rotor en radianes\n");

scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);

```

```

while (Velocidad_del_rotor==0)
{

printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n%cmerno de polos: ", 163);
scanf("%f", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%cctrica en Hertz: ", 162,130);
scanf("%f", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);

}

printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslisamiento);

if(Deslisamiento>1)
{
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
}
else
{
(Deslisamiento=Deslisamiento);
}
while(Deslisamiento==0)
{

```

```

printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"consejo %ctil para averiguar esta variable seria colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,162);

return main();
}

Velocidad_del_rotor=((Velocidad_de_sincronismo*(1-Deslisamiento))*((2*3.141592654)/60));

printf("la velocidad del rotor en radianes: ,%f\n",Velocidad_del_rotor);

}

printf("introduce el torque del motor a la salida, este dato tiene que estar en newtons por
metro");

printf("este dato es d%cficil de medir se necesita estar en un laboratorio con dinam%cmetro\n",
161,162);

printf("y es m%cs común encontrar el dato en un problema\n", 160);

scanf("%f", &Torque_a_la_salida);

while(Torque_a_la_salida==0)

{

printf("sin este dato no podemos seguir el c%clculo de la potencia a la salida.... lo siento\n", 160);

return main();

}

Potencia_a_la_salida=(Torque_a_la_salida*Velocidad_del_rotor);

printf("la potencia de salida es de: ,%f\n",Potencia_a_la_salida);

}

Potencia_de_entrada=(Potencia_a_la_salida/Eficiencia);

printf("la potencia de entrada es de: ,%f\n",Potencia_de_entrada);

return main();

```

case 2:

```
printf("introduce el valor del voltaje de alimentaci%cn al motor\n", 162);

printf("si el valor de tu problema es el valor de voltaje de l%cnea multipl%ccalo por ra%cz de
tres\n", 161,161,161);

scanf("%f", &Voltaje_de_entrada);

while(Voltaje_de_entrada==0)

{

printf("este dato es f%ccil de obtener ya sea del tablero de distribuci%cn o viendo la placa del
motor\n", 160,162);

printf("no podemos continuar en este apartado si no cuentas con este dato\n");

return main();

}

printf("introduce el valor de la corriente de alimentaci%cn, si tienes el dato por fase multipl%ccalo
por raíz de 3\n", 162,161);

scanf("%f", &Corriente_de_entrada);

while(Corriente_de_entrada==0)

{

printf("el dato de la corriente el%cctrica es necesario para el c%clculo de la potencia el%cctrica de
alimentaci%cn\n", 130,160,130,162);

printf("este dato lo puedes obtener de la placa del motor o del tablero de distribuci%cn
el%cctrica\n", 162,130);

return main();

}

printf("introduce el valor del factor de potencia del motor\n");

scanf("%f", &Factor_de_potencia);

if(Factor_de_potencia>1)
```

```

{
Factor_de_potencia=(Factor_de_potencia/100);
}
else
{
(Factor_de_potencia=Factor_de_potencia);
}
while(Factor_de_potencia==0)
{
printf("necesitas este valor forzosamente para el c%clculo de la potencia de entrada del motor\n",
160);
return main();
}

```

```

Potencia_de_entrada=(Factor_de_potencia*Corriente_de_entrada*Voltaje_de_entrada*sqrt(3));
printf("la potencia de entrada del motor es de: ,%f\n",Potencia_de_entrada);
return main();
}
}

```

case 7:

```

printf("apartado del cálculo de las p%crdidas de cobre en el estator\n", 130);
printf("
\n");
printf("introduce el valor de la corriente de alimentaci%cn, si tienes el dato por fase multipl%ccalo
por raíz de 3\n", 162,161);
scanf("%f", &Corriente_de_entrada);
while(Corriente_de_entrada==0)
{
printf("el dato de la corriente el%cctrica es necesario para el c%clculo de la potencia el%cctrica de
alimentaci%cn\n", 130,160,130,162);

printf("este dato lo puedes obtener de la placa del motor o del tablero de distribuci%cn
el%cctrica\n", 162,130);
}
}

```

```
return main();
```

```
}
```

```
printf("introduce el valor de la resistencia por fase del estator\n");
```

```
printf("este valor no tiene una manera directa de calcularse. una manera de obtenerlo es medir directamente la resistencia del embobinado\n");
```

```
scanf("%f", &Resistencia_del_estator_por_fase);
```

```
while(Resistencia_del_estator_por_fase==0)
```

```
{
```

```
printf("este valor es no es posible calcularlo la forma de obtenerlo es medirlo directamente\n");
```

```
return main();
```

```
}
```

```
Perdidas_del_cobre_en_el_estator=(pow(Corriente_de_entrada,2)*(Resistencia_del_estator_por_fase)*3);
```

```
printf("las p%crdidas del cobre en el estator son de: ,%f\n",  
130,Perdidas_del_cobre_en_el_estator);
```

```
return main ();
```

```
case 8:
```

```
printf("apartado para el c%clculo de las p%crdidas de hierro en el estator\n", 160,130);
```

```
printf("                                \n");
```

```
printf("introduce el valor de la potencia el%cctrica de entrada del motor\n", 130);
```

```
scanf("%f", &Potencia_de_entrada);
```

```
while(Potencia_de_entrada==0)
```

```
{
```

```
while(!q){
```

```

printf("indica los datos con los que cuentas para calcular la potencia de entrada del motor\n");
printf("1.- a partir de la eficiencia del motor y de la potencia de salida\n");
printf("2.- a partir del voltaje de entrada, corriente de entrada y factor de potencia\n");

scanf("%d", &op2);
switch(op2)

{
case 1:

printf("introduce el valor de la eficiencia del motor\n");

printf("en algunas placas de motores viene este dato sin embargo no es un dato que venga
siempre y en todas las placas\n");

scanf("%f", &Eficiencia);

if(Eficiencia>1)
{
Eficiencia=(Eficiencia/100);
}
else
{
(Eficiencia==Eficiencia);
}

while(Eficiencia==0)
{

printf("este dato a veces viene en la placa del motor su calculo depende de la variable que
est%cs buscando\n", 160,130,160);

printf("sin este dato no podemos avanzar m%cs\n", 160);

return main();
}

```

```

printf("introduce el valor de la potencia de salida del motor el dato en un problema viene como P
out\n");

printf("este dato se debe ingresar en watts\n");
scanf("%f", &Potencia_a_la_salida);
while (Potencia_a_la_salida==0)
{
printf("introduce el valor de la velocidad del rotor en radianes\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while (Velocidad_del_rotor==0)
{

printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el nmero de polos: ", 163);
scanf("%f", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%cctrica en Hertz: ", 162,130);
scanf("%f", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);

}

printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslisamiento);

if(Deslisamiento>1)

```



```

{
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
}
else
{
(Deslisamiento=Deslisamiento);
}
while(Deslisamiento==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"un consejo %ctil para averiguar esta variable seria colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n");
return main();
}
Velocidad_del_rotor=((Velocidad_de_sincronismo*(1-Deslisamiento))*((2*3.141592654)/60));
printf("la velocidad del rotor en radianes: ,%f\n",Velocidad_del_rotor);
}
printf("introduce el torque del motor a la salida, este dato tiene que estar en newtons por
metro");
printf("este dato es dif%ccil de medir se necesita estar en un laboratorio con dinam%cmetro\n",
161,162);
printf("y es m%cs común encontrar el dato en un problema\n", 160);
scanf("%f", &Torque_a_la_salida);
while(Torque_a_la_salida==0)

{
printf("sin este dato no podemos seguir el c%clculo de la potencia a la salida lo siento\n", 160);
return main();
}

Potencia_a_la_salida=(Torque_a_la_salida*Velocidad_del_rotor);

```

```
printf("la potencia de salida es de: ,%f\n",Potencia_a_la_salida);  
}
```

```
Potencia_de_entrada=(Potencia_a_la_salida/Eficiencia);  
printf("la potencia de entrada es de: ,%f\n",Potencia_de_entrada);
```

```
//PERDIDAS EN EL AIRGAP Y DESARROLLADA//
```

```
printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");  
scanf("%f", &Deslisamiento);  
if(Deslisamiento>1)  
{  
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);  
}  
else  
{  
(Deslisamiento=Deslisamiento);  
}  
while(Deslisamiento==0)  
{  
printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");  
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);  
while(Velocidad_de_sincronismo==0)  
{  
printf("introduce el n%cmerno de polos: ", 163);  
scanf("%d", &Polos);  
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%ctrice en Hertz: ", 162,130);  
scanf("%d", &Frecuencia);  
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);  
printf("la velocidad de sincronismo es: ,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
```

```

}

printf("introduce la velocidad a la que gira el rotor; el dato en tu problema debe estar abreviado
como wr\n");

scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);

while(Velocidad_del_rotor==0)

{

printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer el deslizamiento.\n"

"consejo %ctil para averiguar esta variable seria colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,162);

return main();

}

Deslizamiento=((Velocidad_de_sincronismo-Velocidad_del_rotor)/(Velocidad_de_sincronismo));

printf("el deslizamiento de tu motor es de: ,%f\n",Deslizamiento);

printf("el deslizamiento de tu motor en porcentaje es de: ,%f\n",Deslizamiento*100);

}

printf("introduce el valor de las perdidas en el entrehierro de tu motor\n");

scanf("%f", &Perdidas_en_el_entrehierro);

while(Perdidas_en_el_entrehierro==0)

{

printf("introduce el valor de la potencia desarrollada en la tesis aparece abreviada como mi\n");

scanf("%f", &Potencia_desarrollada);

while(Potencia_desarrollada==0)

{

printf("introduce el valor de las perdidas mec%cnicas del motor en la bibliograf%ca se abrevia
como Pm\n", 160,161);

scanf("%f", &Perdidas_mecanicasinternas);

while(Perdidas_mecanicasinternas==0)

{

printf("necesitas este valor para calcular la potencia desarrollada total del motor\n");

return main();

```

```

}
printf("introduce el valor de la potencia %ctil o potencia de salida P out\n", 163);
scanf("%f", &Potencia_a_la_salida);
while(Potencia_a_la_salida==0)
{

printf("introduce el valor de la velocidad del rotor en radianes\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while (Velocidad_del_rotor==0)
{

printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n%cmerno de polos: ", 163);
scanf("%f", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%cctrica en Hertz: ", 162,130);
scanf("%f", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);

}

printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslisamiento);

if(Deslisamiento>1)
{
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);

```

```

}
else
{
(Deslisamiento=Deslisamiento);
}
while(Deslisamiento==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"consejo %ctil para averiguar esta variable seria colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,162);
return main();
}

Velocidad_del_rotor=((Velocidad_de_sincronismo*(1-Deslisamiento))*((2*3.141592654)/60));
printf("la velocidad del rotor en radianes: ,%f\n",Velocidad_del_rotor);

}

printf("introduce el torque del motor a la salida, este dato tiene que estar en newtons por
metro");

printf("este dato es dif%ccil de medir se necesita estar en un laboratorio con dinam%cmetro\n",
161,162);

printf("y es m%cs com%cn encontrar el dato en un problema\n", 160,163);

scanf("%f", &Torque_a_la_salida);

while(Torque_a_la_salida==0)

{

printf("sin este dato no podemos seguir el c%clculo de la potencia a la salida lo siento\n", 160);
return main();
}

```

```

Potencia_a_la_salida=(Torque_a_la_salida*Velocidad_del_rotor);
printf("la potencia de salida es de: ,%f\n",Potencia_a_la_salida);
}
Potencia_desarrollada=(Potencia_a_la_salida+Perdidas_mecanicainternas);
printf("el valor de la potencia desarrollada es de: %f\n",Potencia_desarrollada);

}

Perdidas_del_cobre_en_el_rotor=((Deslisamiento*Potencia_desarrollada)/(1-Deslisamiento));
printf("las p%crdidas de cobre en el rotor son de: %f\n", 130,Perdidas_del_cobre_en_el_rotor);
Perdidas_en_el_entrehierro=(Perdidas_del_cobre_en_el_rotor/Deslisamiento);
printf("las p%crdidas en el entrehierro son de: %f\n", 130,Perdidas_en_el_entrehierro);
}

printf("introduce las p%crdidas de cobre en el estator\n", 130);
scanf("%f", &Perdidas_del_cobre_en_el_estator);
while(Perdidas_del_cobre_en_el_estator==0)
{
printf("introduce el valor de la corriente de alimentaci%cn, si tienes el dato por fase multipl%ccalo
por raíz de 3\n", 162,161);
scanf("%f", &Corriente_de_entrada);
while(Corriente_de_entrada==0)
{
printf("el dato de la corriente el%cctrica es necesario para el c%clculo de la potencia el%cctrica de
alimentaci%cn\n", 130,160,130,162);
printf("este dato lo puedes obtener de la placa del motor o del tablero de distribuci%cn
el%cctrica\n", 162,130);
return main();
}
}

```

```

printf("introduce el valor de la resistencia por fase del estator\n");

printf("este valor no tiene una manera directa de calcularse. una manera de obtenerlo es medir
directamente la resistencia del embobinado\n");

scanf("%f", &Resistencia_del_estator_por_fase);

while(Resistencia_del_estator_por_fase==0)
{
printf("este valor es no es posible calcularlo directamente la forma de obtenerlo si no te lo da el
problema es medirlo directamente\n");

return main();
}

Perdidas_del_cobre_en_el_estator=(pow(Corriente_de_entrada,2)*(Resistencia_del_estator_por_
fase)*3);

printf("las p%crdidas del cobre en el estator son de: ,%f\n",
130,Perdidas_del_cobre_en_el_estator);
}

Perdidas_del_hierro_en_el_estator=(Potencia_de_entrada-Perdidas_en_el_entrehierro-
Perdidas_del_cobre_en_el_estator);

printf("las p%crdidas de hierro en el estator son de: %f\n",
130,Perdidas_del_hierro_en_el_estator);

return main();

//FINAL DEL MENU 1 DE POTENCIA//

case 2:

printf("introduce el valor del voltaje de alimentaci%cn al motor\n", 162);

printf("si el valor de tu problema es el valor de voltaje por fase multipl%ccalo por ra%cz de tres\n",
161,161);

scanf("%f", &Voltaje_de_entrada);

while(Voltaje_de_entrada==0)
{

```

```

printf("este dato es f%ccil de obtener ya sea del tablero de distribuci%cn o viendo la placa y la
conexi%cn del motor\n", 160,162,162);

printf("no podemos continuar en este apartado si no cuentas con este dato\n");

return main();
}

printf("introduce el valor de la corriente de alimentaci%cn, si tienes el dato por fase multipl%ccalo
por ra%cz de 3\n", 162,161,161);

scanf("%f", &Corriente_de_entrada);

while(Corriente_de_entrada==0)
{
printf("el dato de la corriente el%cctrica es necesario para el c%clculo de la potencia el%cctrica de
alimentaci%cn\n", 130,160,130,162);

printf("este dato lo puedes obtener de la placa del motor o del tablero de distribuci%cn
el%cctrica\n", 162,130);

return main();
}

printf("introduce el valor del factor de potencia del motor\n");

scanf("%f", &Factor_de_potencia);

if(Factor_de_potencia>1)
{
Factor_de_potencia=(Factor_de_potencia/100);
}
else
{
(Factor_de_potencia=Factor_de_potencia);
}

while(Factor_de_potencia==0)
{
printf("necesitas este valor forzosamente para el c%clculo de la potencia de entrada del motor\n",
160);
}

```



```

return main();
}
Potencia_de_entrada=(Factor_de_potencia*Corriente_de_entrada*Voltaje_de_entrada*sqrt(3));
printf("la potencia de entrada del motor es de: ,%f\n",Potencia_de_entrada);
printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslisamiento);
if(Deslisamiento>1)
{
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
}
else
{
(Deslisamiento=Deslisamiento);
}
while(Deslisamiento==0)
{
printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);
while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n°cmerno de polos: ", 163);
scanf("%d", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%cctrica en Hertz: ", 162,130);
scanf("%d", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo es: ,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
}
printf("introduce la velocidad a la que gira el rotor; el dato en tu problema debe estar abreviado
como wr\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while(Velocidad_del_rotor==0)

```

```

{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer el deslizamiento.\n"
"consejo %ctil para averiguar esta variable seria colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,162);
return main();
}
Deslizamiento=((Velocidad_de_sincronismo-Velocidad_del_rotor)/(Velocidad_de_sincronismo));
printf("el deslizamiento de tu motor es de: ,%f\n",Deslizamiento);
printf("el deslizamiento de tu motor en porcentaje es de: ,%f\n",Deslizamiento*100);
}
printf("introduce el valor de las perdidas en el entrehierro de tu motor\n");
scanf("%f", &Perdidas_en_el_entrehierro);
while(Perdidas_en_el_entrehierro==0)

{
printf("introduce el valor de la potencia desarrollada en la tesis aparece abreviada como mi\n");
scanf("%f", &Potencia_desarrollada);
while(Potencia_desarrollada==0)
{

printf("introduce el valor de las perdidas mec%cnicas del motor en la bibliograf%ca se abrevia
como Pm\n", 160,161);
scanf("%f", &Perdidas_mecanicasinternas);
while(Perdidas_mecanicasinternas==0)

{
printf("necesitas este valor para calcular la potencia desarrollada total del motor\n");
return main();
}
printf("introduce el valor de la potencia %ctil o potencia de salida P out\n", 163);
scanf("%f", &Potencia_a_la_salida);

```

```

while(Potencia_a_la_salida==0)
{

printf("introduce el valor de la velocidad del rotor en radianes\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while (Velocidad_del_rotor==0)
{

printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);
while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el nmero de polos: ", 163);
scanf("%f", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%ctrice en Hertz: ", 161,130);
scanf("%f", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
}
printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslisamiento);
if(Deslisamiento>1)
{
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
}
else
{
(Deslisamiento=Deslisamiento);
}
}
while(Deslisamiento==0)

```

```

{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"consejo %ctil para averiguar esta variable seria colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,162);
return main();
}

Velocidad_del_rotor=((Velocidad_de_sincronismo*(1-Deslisamiento))*((2*3.141592654)/60));
printf("la velocidad del rotor en radianes: ,%f\n",Velocidad_del_rotor);

}

printf("introduce el torque del motor a la salida, este dato tiene que estar en newtons por
metro");

printf("este dato es dif%ccil de medir se necesita estar en un laboratorio con dinam%cmetro\n",
161,162);

printf("y es m%cs com%cn encontrar el dato en un problema\n", 160,163);
scanf("%f", &Torque_a_la_salida);
while(Torque_a_la_salida==0)

{
printf("sin este dato no podemos seguir el c%clculo de la potencia a la salida lo siento\n", 160);
return main();
}

Potencia_a_la_salida=(Torque_a_la_salida*Velocidad_del_rotor);
printf("la potencia de salida es de: ,%f\n",Potencia_a_la_salida);
}

Potencia_desarrollada=(Potencia_a_la_salida+Perdidas_mecanicasinternas);
printf("el valor de la potencia desarrollada es de: %f\n",Potencia_desarrollada);

```

```

}
Perdidas_del_cobre_en_el_rotor=((Deslisamiento*Potencia_desarrollada)/(1-Deslisamiento));
printf("las p%crdidas de cobre en el rotor son de: %f\n", 130,Perdidas_del_cobre_en_el_rotor);
Perdidas_en_el_entrehierro=(Perdidas_del_cobre_en_el_rotor/Deslisamiento);
printf("las p%crdidas en el entrehierro son de: %f\n", 130,Perdidas_en_el_entrehierro);

}

printf("introduce las p%crdidas de cobre en el estator\n", 130);
scanf("%f", &Perdidas_del_cobre_en_el_estator);
while(Perdidas_del_cobre_en_el_estator==0)
{
printf("introduce el valor de la corriente de alimentaci%cn, si tienes el dato por fase multipl%ccalo
por ra%cz de 3\n", 162,161,161);
scanf("%f", &Corriente_de_entrada);
while(Corriente_de_entrada==0)
{
printf("el dato de la corriente el%ccctrica es necesario para el c%clculo de la potencia el%ccctrica de
alimentaci%cn\n", 130,160,130,162);

printf("este dato lo puedes obtener de la placa del motor o del tablero de distribuci%cn
el%ccctrica\n", 162,130);
return main();

}

printf("introduce el valor de la resistencia por fase del estator\n");
printf("este valor no tiene una manera directa de calcularse. una manera de obtenerlo es medir
directamente la resistencia del embobinado\n");
scanf("%f", &Resistencia_del_estator_por_fase);
while(Resistencia_del_estator_por_fase==0)
{

```

```

printf("este valor es no es posible calcularlo directamente la forma de obtenerlo si no te lo da el
problema es medirlo directamente\n");

return main();

}

Perdidas_del_cobre_en_el_estator=(pow(Corriente_de_entrada,2)*(Resistencia_del_estator_por_
fase)*3);

printf("las p%crdidas del cobre en el estator son de :%f\n",
130,Perdidas_del_cobre_en_el_estator);

}

Perdidas_del_hierro_en_el_estator=(Potencia_de_entrada-Perdidas_en_el_entrehierro-
Perdidas_del_cobre_en_el_estator);

printf("las p%crdidas de hierro en el estator son de :%f\n",
130,Perdidas_del_hierro_en_el_estator);

return main();

}

}

}

// FINAL DE CASO 2//

printf("introduce el deslizamiento de tu motor\n");
scanf("%f", &Deslisamiento);
if(Deslisamiento>1)
{
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
}
else
{
(Deslisamiento=Deslisamiento);
}

```

```

}
while(Deslizamiento==0)
{

printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n%cmerno de polos: ", 163);
scanf("%d", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%cctrica en Hertz: ", 162,130);
scanf("%d", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo es: ,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
}

printf("introduce la velocidad a la que gira el rotor; el dato en tu problema debe estar abreviado
como wr\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while(Velocidad_del_rotor==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer el deslizamiento.\n"
"consejo %ctil para averiguar esta variable seria colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,162);
return main();
}

Deslizamiento=((Velocidad_de_sincronismo-Velocidad_del_rotor)/(Velocidad_de_sincronismo));
printf("el deslizamiento de tu motor es de: ,%f\n",Deslizamiento);
printf("el deslizamiento de tu motor en porcentaje es de: ,%f\n",Deslizamiento*100);

}

```

```

printf("introduce el valor de las p%crdidas en el entrehierro de tu motor\n", 130);
scanf("%f", &Perdidas_en_el_entrehierro);
while(Perdidas_en_el_entrehierro==0)
{
printf("introduce el valor de la potencia desarrollada en la tesis aparece abreviada como mi\n");
scanf("%f", &Potencia_desarrollada);
while(Potencia_desarrollada==0)
{

printf("introduce el valor de las p%crdidas mec%cnicas del motor en la bibliograf%ca se abrevia
como Pm\n", 130,160,161);
scanf("%f", &Perdidas_mecanicasinternas);
while(Perdidas_mecanicasinternas==0)

{
printf("necesitas este valor para calcular la potencia desarrollada total del motor\n");
return main();
}
printf("introduce el valor de la potencia %ctil o potencia de salida P out\n", 163);
scanf("%f", &Potencia_a_la_salida);
while(Potencia_a_la_salida==0)
{

printf("introduce el valor de la velocidad del rotor en radianes\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while (Velocidad_del_rotor==0)
{

printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

```



```

while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n%cmero de polos: ", 163);
scanf("%f", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%cctrica en Hertz: ", 162,130);
scanf("%f", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);

}

printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslisamiento);

if(Deslisamiento>1)
{
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
}
else
{
(Deslisamiento=Deslisamiento);
}
while(Deslisamiento==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"un consejo %ctil para averiguar esta variable seria colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,162);
return main();
}

```

```

Velocidad_del_rotor=((Velocidad_de_sincronismo*(1-Deslisamiento))*((2*3.141592654)/60));
printf("la velocidad del rotor en radianes: ,%f\n",Velocidad_del_rotor);

}

printf("introduce el torque del motor a la salida, este dato tiene que estar en newtons por
metro");

printf("este dato es d%cficil de medir se necesita estar en un laboratorio con dinam%cmetro\n",
161,162);

printf("y es m%cs com%cn encontrar el dato en un problema\n", 160,163);

scanf("%f", &Torque_a_la_salida);
while(Torque_a_la_salida==0)

{
printf("sin este dato no podemos seguir el c%clculo de la potencia a la salida lo siento\n", 160);
return main();
}

Potencia_a_la_salida=(Torque_a_la_salida*Velocidad_del_rotor);
printf("la potencia de salida es de: ,%f\n",Potencia_a_la_salida);
}

Potencia_desarrollada=(Potencia_a_la_salida+Perdidas_mecanicasinternas);
printf("el valor de la potencia desarrollada es de: %f\n",Potencia_desarrollada);

}

Perdidas_del_cobre_en_el_rotor=((Deslisamiento*Potencia_desarrollada)/(1-Deslisamiento));
printf("las p%crdidas de cobre en el rotor son de: %f\n", 130,Perdidas_del_cobre_en_el_rotor);

```

```

Perdidas_en_el_entrehierro=(Perdidas_del_cobre_en_el_rotor/Deslisamiento);
printf("las p%crdidas en el entrehierro son de: %f\n", 130,Perdidas_en_el_entrehierro);

}

printf("introduce las p%crdidas de cobre en el estator\n", 130);
scanf("%f", &Perdidas_del_cobre_en_el_estator);
while(Perdidas_del_cobre_en_el_estator==0)
{
printf("introduce el valor de la corriente de alimentaci%cn, si tienes el dato por fase multipl%ccalo
por ra%cz de 3\n", 162,161,161);
scanf("%f", &Corriente_de_entrada);
while(Corriente_de_entrada==0)
{
printf("el dato de la corriente el%cctrica es necesario para el c%clculo de la potencia el%cctrica de
alimentaci%cn\n", 130,160,130,162);

printf("este dato lo puedes obtener de la placa del motor o del tablero de distribuci%cn
el%cctrica\n", 161,130);

return main();

}

printf("introduce el valor de la resistencia por fase del estator\n");
printf("este valor no tiene una manera directa de calcularse. una manera de obtenerlo es medir
directamente la resistencia del embobinado\n");
scanf("%f", &Resistencia_del_estator_por_fase);
while(Resistencia_del_estator_por_fase==0)
{
printf("este valor es no es posible calcularlo directamente la forma de obtenerlo si no te lo da el
problema es medirlo directamente\n");

return main();

}

```

```
Perdidas_del_cobre_en_el_estator=(pow(Corriente_de_entrada,2)*(Resistencia_del_estator_por_fase)*3);
```

```
printf("las p%crdidas del cobre en el estator son de: ,%f\n",  
130,Perdidas_del_cobre_en_el_estator);
```

```
}
```

```
Perdidas_del_hierro_en_el_estator=(Potencia_de_entrada-Perdidas_en_el_entrehierro-  
Perdidas_del_cobre_en_el_estator);
```

```
printf("las p%crdidas de hierro en el estator son de: %f\n",  
130,Perdidas_del_hierro_en_el_estator);
```

```
return main();
```

```
case 9:
```

```
printf("Apartado del c%clculo de las perdidas en el entrehierro o en el airgap\n", 160);
```

```
printf("                                \n");
```

```
printf("introduce el deslizamiento de tu motor\n");
```

```
scanf("%f", &Deslisamiento);
```

```
if(Deslisamiento>1)
```

```
{
```

```
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
(Deslisamiento=Deslisamiento);
```

```
}
```

```
while(Deslisamiento==0)
```

```
{
```

```
printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
```

```

scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n°mero de polos: ", 163);
scanf("%d", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%ctrice en Hertz: ", 162,130);
scanf("%d", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo es: ,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
}

printf("introduce la velocidad a la que gira el rotor; el dato en tu problema debe estar abreviado
como wr\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while(Velocidad_del_rotor==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer el deslizamiento.\n"
"consejo %ctil para averiguar esta variable seria colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,162);
return main();
}

Deslizamiento=((Velocidad_de_sincronismo-Velocidad_del_rotor)/(Velocidad_de_sincronismo));
printf("el deslizamiento de tu motor es de: ,%f\n",Deslizamiento);
printf("el deslizamiento de tu motor en porcentaje es de: ,%f\n",Deslizamiento*100);

}

printf("introduce el valor de la potencia desarrollada en la tesis aparece abreviada como mi\n");
scanf("%f", &Potencia_desarrollada);
while(Potencia_desarrollada==0)
{

```

```

printf("introduce el valor de las perdidas mecánicas del motor en la bibliografía se abrevia
como Pm\n", 160,161);

scanf("%f", &Perdidas_mecanicasinternas);

while(Perdidas_mecanicasinternas==0)

{

printf("necesitas este valor para calcular la potencia desarrollada total del motor\n");

return main();

}

printf("introduce el valor de la potencia %ctil o potencia de salida P out\n", 163);

scanf("%f", &Potencia_a_la_salida);

while(Potencia_a_la_salida==0)

{

printf("introduce el valor de la velocidad del rotor en radianes\n");

scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);

while (Velocidad_del_rotor==0)

{

printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");

scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

while(Velocidad_de_sincronismo==0)

{

printf("introduce el número de polos: ", 163);

scanf("%f", &Polos);

printf("introduce la frecuencia de alimentación eléctrica en Hertz: ", 162,130);

scanf("%f", &Frecuencia);

Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);

printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);

```

```

}
printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslizamiento);
if(Deslizamiento>1)
{
Deslizamiento=(Deslizamiento/100);
}
else
{
(Deslizamiento=Deslizamiento);
}
while(Deslizamiento==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"consejo %ctil para averiguar esta variable ser%ca colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,161,162);
return main();
}
Velocidad_del_rotor=((Velocidad_de_sincronismo*(1-Deslizamiento))*((2*3.141592654)/60));
printf("la velocidad del rotor en radianes: ,%f\n",Velocidad_del_rotor);
}

printf("introduce el torque del motor a la salida, este dato tiene que estar en newtons por
metro");

printf("este dato es d%cficil de medir se necesita estar en un laboratorio con dinam%cmetro\n",
161,162);

printf("y es m%cs com%cn encontrar el dato en un problema\n", 160,163);
scanf("%f", &Torque_a_la_salida);
while(Torque_a_la_salida==0)

{

```

```

printf("sin este dato no podemos seguir el c%clculo de la potencia a la salida lo siento\n", 160);
return main();
}

```

```

Potencia_a_la_salida=(Torque_a_la_salida*Velocidad_del_rotor);

```

```

printf("la potencia de salida es de: ,%f\n",Potencia_a_la_salida);

```

```

}

```

```

Potencia_desarrollada=(Potencia_a_la_salida+Perdidas_mecanicasinternas);

```

```

printf("el valor de la potencia desarrollada es de: %f\n",Potencia_desarrollada);

```

```

}

```

```

Perdidas_del_cobre_en_el_rotor=((Deslisamiento*Potencia_desarrollada)/(1-Deslisamiento));

```

```

printf("las p%crdidas de cobre en el rotor son de: %f\n", 130,Perdidas_del_cobre_en_el_rotor);

```

```

Perdidas_en_el_entrehierro=(Perdidas_del_cobre_en_el_rotor/Deslisamiento);

```

```

printf("Las p%crdidas en el entrehierro son de: %f\n", 130,Perdidas_en_el_entrehierro);

```

```

return main();

```

case 10:

```

printf("Apartado del c%clculo de la corriente inducida al rotor por fase\n");

```

```

printf("
                \n");

```

```

printf("introduce el deslizamiento de tu motor\n");

```

```

scanf("%f", &Deslisamiento);

```

```

if(Deslisamiento>1)

```

```

{

```

```

Deslisamiento=(Deslisamiento/100);

```

```

}

```

```

else

```

```

{

```

```

(Deslisamiento=Deslisamiento);

```



```

}
while(Deslizamiento==0)
{

printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n°mero de polos: ", 163);
scanf("%d", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%ctrice en Hertz: ", 162,130);
scanf("%d", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo es: ,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
}

printf("introduce la velocidad a la que gira el rotor; el dato en tu problema debe estar abreviado
como wr\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while(Velocidad_del_rotor==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer el deslizamiento.\n"
"un consejo útil para averiguar esta variable seria colocar un tacómetro en la flecha del
motor\n\n", 163,162);
return main();
}
Deslizamiento=((Velocidad_de_sincronismo-Velocidad_del_rotor)/(Velocidad_de_sincronismo));
printf("el deslizamiento de tu motor es de: ,%f\n",Deslizamiento);
printf("el deslizamiento de tu motor en porcentaje es de: ,%f\n",Deslizamiento*100);
}

printf("introduce el valor del voltaje o FEM inducida en el devanado del rotor\n");

```

```

scanf("%f", &Voltaje_del_rotor);
while(Voltaje_del_rotor==0)
{
printf("introduce el valor del voltaje de alimentación al motor\n");
scanf("%f", &Voltaje_de_entrada);
while(Voltaje_de_entrada==0)
{
printf("sin este valor no se puede calcular el voltaje inducido a los devanados del rotor\n");
return main();
}
Voltaje_del_rotor=((Voltaje_de_entrada/sqrt(3))*Deslisamiento);
printf("el voltaje inducido al rotor por fase es de: %f\n",Voltaje_del_rotor);
}
printf("introduce el valor de la resistencia por fase del rotor\n");
scanf("%f", &Resistencia_del_rotor);
while(Resistencia_del_rotor==0)
{
printf("no hay un cálculo directo para sacar este valor un consejo para obtenerlo sería medirlo directamente\n", 160,161);
printf("sin este dato no podemos calcular la corriente inducida en el rotor por fase\n");
return main();
}
printf("introduce el valor de la reactancia por fase del rotor\n");
scanf("%f", &Reactancia_del_rotor);
while(Reactancia_del_rotor==0)
{
printf("no hay un cálculo directo para sacar este valor un consejo para obtenerlo sería medirlo directamente\n", 160,161);
printf("sin este dato no podemos calcular la corriente inducida en el rotor por fase\n");
return main();
}

```

```
Corriente_del_rotor=((Voltaje_del_rotor)/(sqrt((pow(Resistencia_del_rotor,2))+((pow((Reactancia_
del_rotor*Deslisamiento),2))))));
```

```
printf("la corriente inducida por fase al rotor es de: %f\n",Corriente_del_rotor);
```

```
return main();
```

```
case 11:
```

```
printf("apartado del calculo del factor de potencia del rotor\n");
```

```
printf("                                \n");
```

```
printf("introduce el deslizamiento del motor\n");
```

```
scanf("%f", &Deslisamiento);
```

```
while(Deslisamiento==0)
```

```
{
```

```
printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
```

```
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);
```

```
while(Velocidad_de_sincronismo==0)
```

```
{
```

```
printf("introduce el numero de polos: ", 163);
```

```
scanf("%d", &Polos);
```

```
printf("introduce la frecuencia de alimentacion elctrica en Hertz: ", 162,130);
```

```
scanf("%d", &Frecuencia);
```

```
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
```

```
printf("la velocidad de sincronismo es: ,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
```

```
}
```

```
printf("introduce la velocidad a la que gira el rotor; el dato en tu problema debe estar abreviado
como wr\n");
```

```
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
```

```

while(Velocidad_del_rotor==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer el deslizamiento.\n"
"un consejo %ctil para averiguar esta variable ser%ca colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,161,162);
return main();
}
Deslizamiento=((Velocidad_de_sincronismo-Velocidad_del_rotor)/(Velocidad_de_sincronismo));
printf("el deslizamiento de tu motor es de: ,%f\n",Deslizamiento);
printf("el deslizamiento de tu motor en porcentaje es de: ,%f\n",Deslizamiento*100);

}
printf("introduce la resistencia por fase del rotor\n");
scanf("%f", &Resistencia_del_rotor);
while(Resistencia_del_rotor==0)
{
printf("no hay un cálculo directo para sacar este valor un consejo para obtenerlo sería medirlo
directamente\n");
printf("sin este dato no podemos calcular la corriente inducida en el rotor por fase\n");
return main();
}
printf("introduce la reactancia por fase del rotor\n");
scanf("%f", &Reactancia_del_rotor);
while(Reactancia_del_rotor==0)
{
printf("no hay un cálculo directo para sacar este valor; un consejo para obtenerlo ser%ca medirlo
directamente\n", 160,161);
printf("sin este dato no podemos calcular la corriente inducida en el rotor por fase\n");
return main();
}
Factor_de_potencia_del_rotor=((Resistencia_del_rotor)/(sqrt((pow(Resistencia_del_rotor,2))+
(pow((Reactancia_del_rotor*Deslizamiento),2)))));

```

```
printf("el factor de potencia en el rotor por fase es de: %f\n",Factor_de_potencia_del_rotor);  
return main();
```

case 12:

```
printf("Apartado del c%clculo de las p%crdidas de cobre en el rotor\n", 160,130);
```

```
printf("                                \n");
```

```
while(!q){
```

```
printf("indica los datos con los que cuentas para calcular las p%crdidas de cobre en el rotor\n");
```

```
printf("1.- a partir de la potencia desarrollada, del deslizamiento y las pérdidas mecánicas\n");
```

```
printf("2.- a partir de la corriente del devanado del rotor I2 y de la resistencia del devanado del  
rotor R2\n");
```

```
scanf("%d", &op2);
```

```
switch(op2)
```

```
{
```

case 1:

```
printf("apartado del c%clculo de las p%crdidas del cobre en el rotor\n", 160,130);
```

```
printf("                                \n");
```

```
printf("introduce el deslizamiento de tu motor\n");
```

```
scanf("%f", &Deslisamiento);
```

```
if(Deslisamiento>1)
```

```
{
```

```
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
```

```
}
```

```
else
```

```

{
(Deslizamiento=Deslizamiento);
}
while(Deslizamiento==0)
{
printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n°mero de polos: ", 163);
scanf("%d", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%ctrice en Hertz: ", 162,130);
scanf("%d", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo es: ,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
}

printf("introduce la velocidad a la que gira el rotor; el dato en tu problema debe estar abreviado
como wr\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while(Velocidad_del_rotor==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer el deslizamiento.\n"
"consejo %ctil para averiguar esta variable seria colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,162);
return main();
}

Deslizamiento=((Velocidad_de_sincronismo-Velocidad_del_rotor)/(Velocidad_de_sincronismo));
printf("el deslizamiento de tu motor es de: ,%f\n",Deslizamiento);
printf("el deslizamiento de tu motor en porcentaje es de: ,%f\n",Deslizamiento*100);

```

```

}

printf("introduce el valor de la potencia desarrollada en la tesis aparece abreviada como mi\n");
scanf("%f", &Potencia_desarrollada);
while(Potencia_desarrollada==0)
{

printf("introduce el valor de las p%crdidas mecánicas del motor en la bibliograf%ca se abrevia
como Pm\n", 130,161);

scanf("%f", &Perdidas_mecanicasinternas);
while(Perdidas_mecanicasinternas==0)

{

printf("necesitas este valor para calcular la potencia desarrollada total del motor\n");
return main();
}

printf("introduce el valor de la potencia %ctil o potencia de salida P out\n", 163);
scanf("%f", &Potencia_a_la_salida);
while(Potencia_a_la_salida==0)
{

printf("introduce el valor de la velocidad del rotor en radianes\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while (Velocidad_del_rotor==0)
{

printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);
while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{

printf("introduce el n%cmerno de polos: ", 163);
scanf("%f", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%cctrica en Hertz: ", 162,130);

```

```

scanf("%f", &Frecuencia);

Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);

printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
}

printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslisamiento);
if(Deslisamiento>1)
{
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
}
else
{
(Deslisamiento=Deslisamiento);
}
while(Deslisamiento==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"un consejo %ctil para averiguar esta variable ser%ca colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,161,162);
return main();
}
Velocidad_del_rotor=((Velocidad_de_sincronismo*(1-Deslisamiento))*((2*3.141592654)/60));
printf("la velocidad del rotor en radianes: ,%f\n",Velocidad_del_rotor);
}

printf("introduce el torque del motor a la salida, este dato tiene que estar en newtons por
metro");

printf("este dato es dif%ccil de medir se necesita estar en un laboratorio con dinam%cmetro\n",
161,162);

printf("y es m%cs com%cn encontrar el dato en un problema\n", 160,163);

```



```

scanf("%f", &Torque_a_la_salida);
while(Torque_a_la_salida==0)

{
printf("sin este dato no podemos seguir el c%clculo de la potencia a la salida lo siento\n", 160);
return main();
}

```

```

Potencia_a_la_salida=(Torque_a_la_salida*Velocidad_del_rotor);
printf("la potencia de salida es de: ,%f\n",Potencia_a_la_salida);
}
Potencia_desarrollada=(Potencia_a_la_salida+Perdidas_mecanicasinternas);
printf("el valor de la potencia desarrollada es de: %f\n",Potencia_desarrollada);
}
Perdidas_del_cobre_en_el_rotor=((Deslizamiento*Potencia_desarrollada)/(1-Deslizamiento));
printf("las p%crdidas de cobre en el rotor son de: %f\n", 130,Perdidas_del_cobre_en_el_rotor);
return main();

```

```

case 2:
printf("introduce el valor de la corriente en el devanado del rotor o I2\n");
scanf("%f", &Corriente_del_rotor);
while(Corriente_del_rotor==0)
{
printf("introduce el deslizamiento de tu motor\n");
scanf("%f", &Deslizamiento);
if(Deslizamiento>1)
{
Deslizamiento=(Deslizamiento/100);
}
}
else

```

```

{
(Deslizamiento=Deslizamiento);
}
while(Deslizamiento==0)
{
printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n°mero de polos: ", 163);
scanf("%d", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%ctrice en Hertz: ", 162,130);
scanf("%d", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo es: ,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
}

printf("introduce la velocidad a la que gira el rotor; el dato en tu problema debe estar abreviado
como wr\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while(Velocidad_del_rotor==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer el deslizamiento.\n"
"un consejo %ctil para averiguar esta variable ser%ca colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,161,162);
return main();
}

Deslizamiento=((Velocidad_de_sincronismo-Velocidad_del_rotor)/(Velocidad_de_sincronismo));
printf("el deslizamiento de tu motor es de: ,%f\n",Deslizamiento);
printf("el deslizamiento de tu motor en porcentaje es de: ,%f\n",Deslizamiento*100);
}

```

```

printf("introduce el valor del voltaje o FEM inducida en el devanado del rotor\n");
scanf("%f", &Voltaje_del_rotor);
while(Voltaje_del_rotor==0)
{
printf("introduce el valor del voltaje de alimentaci%cn al motor\n", 162);
scanf("%f", &Voltaje_de_entrada);
while(Voltaje_de_entrada==0)
{
printf("sin este valor no se puede calcular el voltaje inducido a los devanados del rotor\n");
return main();
}
Voltaje_del_rotor=((Voltaje_de_entrada/sqrt(3))*Deslisamiento);
printf("el voltaje inducido al rotor por fase es de: %f\n",Voltaje_del_rotor);
}

printf("introduce el valor de la resistencia por fase del rotor\n");
scanf("%f", &Resistencia_del_rotor);
while(Resistencia_del_rotor==0)
{
printf("no hay un c%clculo directo para sacar este valor un consejo para obtenerlo ser%ca medirlo directamente\n", 160,161);
printf("sin este dato no podemos calcular la corriente inducida en el rotor por fase\n");
return main();
}
printf("introduce el valor de la reactancia por fase del rotor\n");
scanf("%f", &Reactancia_del_rotor);
while(Reactancia_del_rotor==0)
{
printf("no hay un c%clculo directo para sacar este valor un consejo para obtenerlo ser%ca medirlo directamente\n", 160,161);
}

```

```

printf("sin este dato no podemos calcular la corriente inducida en el rotor por fase\n");
return main();
}

Corriente_del_rotor=((Voltaje_de_entrada/sqrt(3))*Deslisamiento)/(sqrt((pow(Resistencia_del_r
otor,2))+pow((Reactancia_del_rotor*Deslisamiento),2))));
printf("la corriente inducida por fase al rotor es de: %f\n",Corriente_del_rotor);
}
printf("introduce el valor de la resistencia por fase del rotor\n");
scanf("%f", &Resistencia_del_rotor);
while(Resistencia_del_rotor==0)
{
printf("no hay un c%clculo directo para sacar este valor un consejo para obtenerlo ser%ca medirlo
directamente\n", 160,161);
printf("sin este dato no podemos calcular la corriente inducida en el rotor por fase\n");
return main();
}

Perdidas_del_cobre_en_el_rotor=((pow(Corriente_del_rotor,2))*Resistencia_del_rotor*3);
printf("las p%crdidas totales de cobre en el rotor es de: %f\n",
130,Perdidas_del_cobre_en_el_rotor);
return main();
}
}

case 13:
printf("apartado para el c%clculo de las p%crdidas del hierro en el rotor\n", 160,130);
printf("
\n");
printf("estas p%crdidas son como algunas personas, DESPRECIABLES\n", 130);
printf("su c%clculo es con variables muy complicadas de hallar y su resultado no llega a uno por lo
que\n", 160);
printf("las p%crdidas totales del rotor ser%cn las pérdidas de cobre en el rotor\n", 130,161);
return main();

```

case 14:

```
printf("apartado para el calculo de la potencia de salida\n", 160);
```

```
printf("                                \n");
```

```
while(!q){
```

```
printf("indica los datos con los que cuentas para calcular la potencia de salida del motor\n");
```

```
printf("1.- a partir de la potencia de entrada y la eficiencia\n");
```

```
printf("2.- a partir de la velocidad del rotor en radianes y del torque a la salida\n");
```

```
scanf("%d", &op2);
```

```
switch(op2)
```

```
{
```

case 1:

```
printf("introduce el valor de la eficiencia del motor\n");
```

```
printf("en algunas placas de motores viene este dato sin embargo no es un dato que venga siempre y en todas las placas\n");
```

```
scanf("%f", &Eficiencia);
```

```
if(Eficiencia>1)
```

```
{
```

```
 Eficiencia=(Eficiencia/100);
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
 (Eficiencia==Eficiencia);
```

```
}
```

```
while(Eficiencia==0)
```

```
{
```

```

printf("este dato a veces viene en la placa del motor su calculo depende de la variable que
est%cs buscando en este apartado\n", 160,160);

printf("sin este dato no podemos avanzar m%cs\n", 160);

return main();
}

printf("introduce el valor de la potencia el%ctrica de alimentaci%cn en watts\n", 130,162);
scanf("%f", &Potencia_de_entrada);
while(Potencia_de_entrada==0)
{

printf("introduce el valor del voltaje de alimentaci%cn al motor\n", 162);
printf("si el valor de tu problema es el valor de voltaje por fase multipl%ccalo por ra%cz de tres\n",
161,161);
scanf("%f", &Voltaje_de_entrada);
while(Voltaje_de_entrada==0)
{

printf("este dato es f%ccil de obtener ya sea del tablero de distribuci%cn o viendo la placa y la
conexi%cn del motor\n", 160,162,162);

printf("no podemos continuar en este apartado si no cuentas con este dato\n");
return main();
}

printf("introduce el valor de la corriente de alimentaci%cn, si tienes el dato por fase multipl%ccalo
por ra%cz de 3\n", 162,161,161);
scanf("%f", &Corriente_de_entrada);
while(Corriente_de_entrada==0)
{

printf("el dato de la corriente el%ctrica es necesario para el calculo de la potencia el%ctrica de
alimentaci%cn\n", 130,160,130,162);

printf("este dato lo puedes obtener de la placa del motor o del tablero de distribuci%cn
el%ctrica\n", 162,130);

return main();
}

```

```

printf("introduce el valor del factor de potencia del motor\n");
scanf("%f", &Factor_de_potencia);
if(Factor_de_potencia>1)
{
Factor_de_potencia=(Factor_de_potencia/100);
}
else
{
(Factor_de_potencia=Factor_de_potencia);
}
while(Factor_de_potencia==0)
{
printf("necesitas este valor forzosamente para el c%clculo de la potencia de entrada del motor\n",
160);
return main();
}

```

```

Potencia_de_entrada=(Factor_de_potencia*Corriente_de_entrada*Voltaje_de_entrada*sqrt(3));
printf("la potencia de entrada del motor es de: %f\n",Potencia_de_entrada);
Potencia_a_la_salida=(Potencia_de_entrada*Eficiencia);
printf("la potencia de salida es de: %f\n",Potencia_a_la_salida);
return main();
}

```

```

Potencia_a_la_salida=(Potencia_de_entrada*Eficiencia);
printf("la potencia de salida es de: %f\n",Potencia_a_la_salida);
return main();

```

case 2:

```

printf("introduce el valor de la velocidad del rotor en radianes\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);

```

```

while (Velocidad_del_rotor==0)
{
printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);
while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n°mero de polos: ", 163);
scanf("%f", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%cctrica en Hertz: ", 162,130);
scanf("%f", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
}
printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslizamiento);
if(Deslizamiento>1)
{
Deslizamiento=(Deslizamiento/100);
}
else
{
(Deslizamiento=Deslizamiento);
}
while(Deslizamiento==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"un consejo %ctil para averiguar esta variable ser%ca colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,161,162);
return main();
}

```



```

Velocidad_del_rotor=((Velocidad_de_sincronismo)*((1-Deslisamiento)*((2*3.141592654)/60)));
printf("la velocidad del rotor en radianes: ,%f\n",Velocidad_del_rotor);
}

printf("introduce el torque del motor a la salida, este dato tiene que estar en newtons por metro");

printf("este dato es dif%ccil de medir se necesita estar en un laboratorio con dinam%cmetro\n",
161,162);

printf("y es m%cs com%cn encontrar el dato en un problema\n", 160,163);

scanf("%f", &Torque_a_la_salida);

while(Torque_a_la_salida==0)

{

printf("sin este dato no podemos seguir el c%clculo de la potencia a la salida lo siento\n", 160);

return main();

}

Potencia_a_la_salida=(Torque_a_la_salida*Velocidad_del_rotor);

printf("la potencia de salida es de: ,%f\n",Potencia_a_la_salida);

return main();

}

}

```

case 15:

```

printf("apartado del c%clculo de la potencia desarrollada\n", 160);

printf("
                \n");

printf("introduce el valor de las p%crdidas mec%cnicas del motor en la bibliograf%ca se abrevia
como Pm\n", 130,160,161);

scanf("%f", &Perdidas_mecanicasinternas);

while(Perdidas_mecanicasinternas==0)

```

```

{
printf("necesitas este valor para calcular la potencia desarrollada total del motor\n");
return main();
}

printf("introduce el valor de la potencia %ctil o potencia de salida P out\n", 163);
scanf("%f", &Potencia_a_la_salida);
while(Potencia_a_la_salida==0)
{
printf("introduce el valor de la velocidad del rotor en radianes\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while (Velocidad_del_rotor==0)
{
printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);
while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n%cmerno de polos: ", 163);
scanf("%f", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%cctrica en Hertz: ", 162,130);
scanf("%f", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);

}

printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslisamiento);

if(Deslisamiento>1)

```

```

{
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
}
else
{
(Deslisamiento=Deslisamiento);
}
while(Deslisamiento==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"un consejo %ctil para averiguar esta variable ser%ca colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,161,162);
return main();
}

Velocidad_del_rotor=((Velocidad_de_sincronismo*(1-Deslisamiento))*((2*3.141592654)/60));
printf("la velocidad del rotor en radianes: ,%f\n",Velocidad_del_rotor);

}

printf("introduce el torque del motor a la salida, este dato tiene que estar en newtons por
metro");

printf("este dato es dif%ccil de medir se necesita estar en un laboratorio con dinam%cmetro\n",
161,162);

printf("y es m%cs com%cn encontrar el dato en un problema\n", 160,163);

scanf("%f", &Torque_a_la_salida);
while(Torque_a_la_salida==0)

{

printf("sin este dato no podemos seguir el c%clculo de la potencia a la salida lo siento\n", 160);
return main();
}

```

```
}
```

```
Potencia_a_la_salida=(Torque_a_la_salida*Velocidad_del_rotor);
```

```
printf("la potencia de salida es de: ,%f\n",Potencia_a_la_salida);
```

```
}
```

```
Potencia_desarrollada=(Potencia_a_la_salida+Perdidas_mecanicasinternas);
```

```
printf("el valor de la potencia desarrollada es de: %f\n",Potencia_desarrollada);
```

```
return main();
```

```
case 16:
```

```
printf("apartado del calculo del torque en la flecha del motor", 160);
```

```
printf("                                \n");
```

```
printf("introduce la velocidad del rotor en radianes\n");
```

```
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor_en_radianes);
```

```
while(Velocidad_del_rotor_en_radianes==0)
```

```
{
```

```
printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
```

```
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);
```

```
while(Velocidad_de_sincronismo==0)
```

```
{
```

```
printf("introduce el numero de polos: ");
```

```
scanf("%f", &Polos);
```

```
printf("introduce la frecuencia de alimentacion elctrica en Hertz: ", 162,130);
```

```
scanf("%f", &Frecuencia);
```

```
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
```

```
printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
```

```
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
```

```
}
```

```

printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslisamiento);
if(Deslisamiento>1)
{
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
}
else
{
(Deslisamiento=Deslisamiento);
}
while(Deslisamiento==0)
{

printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
" un consejo %ctil para averiguar esta variable ser%ca colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,161,162);
return main();

}
Velocidad_del_rotor_en_radianes=((Velocidad_de_sincronismo*(1-
Deslisamiento))*((2*3.141592654)/60));
printf("la velocidad del rotor en radianes es de: ,%f\n",Velocidad_del_rotor_en_radianes);
}
printf("introduce el dato de la potencia de salida de tu motor\n");
scanf("%f", &Potencia_a_la_salida);
while(Potencia_a_la_salida==0)
{
printf("introduce el valor de la eficiencia del motor\n");
printf("en algunas placas de motores viene este dato sin embargo no es un dato que venga
siempre y en todas las placas\n");
scanf("%f", &Eficiencia);

```

```

if(Eficiencia>1)
{
Eficiencia=(Eficiencia/100);
}
else
{
(Eficiencia==Eficiencia);
}

while(Eficiencia==0)
{
printf("este dato a veces viene en la placa del motor su calculo depende de la variable que
est%cs buscando\n", 160,160);

printf("sin este dato no podemos avanzar m%cs\n", 160);

return main();
}

printf("introduce el valor de la potencia elctrica de alimentaci%cn en watts\n", 130,162);
scanf("%f", &Potencia_de_entrada);
while(Potencia_de_entrada==0)
{

printf("introduce el valor del voltaje de alimentaci%cn al motor\n", 162);

printf("si el valor de tu problema es el valor de voltaje por fase multipl%ccalo por ra%cz de tres\n",
161,161);

scanf("%f", &Voltaje_de_entrada);
while(Voltaje_de_entrada==0)
{

printf("este dato es f%ccil de obtener ya sea del tablero de distribuci%cn o viendo la placa y la
conex%con del motor\n", 160,162,161);

printf("no podemos continuar en este apartado si no cuentas con este dato\n");
}
}
}

```

```

return main();
}

printf("introduce el valor de la corriente de alimentaci%cn, si tienes el dato por fase multipl%ccalo
por ra%cz de 3\n", 162,161,161);
scanf("%f", &Corriente_de_entrada);
while(Corriente_de_entrada==0)
{
printf("el dato de la corriente el%cctrica es necesario para el c%clculo de la potencia el%cctrica de
alimentaci%cn\n", 130,160,130,162);

printf("este dato lo puedes obtener de la placa del motor o del tablero de distribuci%cn
el%cctrica\n", 162,130);

return main();

}

printf("introduce el valor del factor de potencia del motor\n");
scanf("%f", &Factor_de_potencia);

if(Factor_de_potencia>1)
{
Factor_de_potencia=(Factor_de_potencia/100);
}
else
{
(Factor_de_potencia=Factor_de_potencia);
}
while(Factor_de_potencia==0)
{
printf("necesitas este valor forzosamente para el c%clculo de la potencia de entrada del motor\n",
160);
return main();
}

```

```

Potencia_de_entrada=(Factor_de_potencia*Corriente_de_entrada*Voltaje_de_entrada*sqrt(3));
printf("la potencia de entrada del motor es de: ,%f\n",Potencia_de_entrada);
}
Potencia_a_la_salida=(Potencia_de_entrada*Eficiencia);
printf("la potencia de salida es de: %f\n",Potencia_a_la_salida);

Torque_a_la_salida=(Potencia_a_la_salida/Velocidad_del_rotor_en_radianes);
printf("el torque a la salida o en la flecha del motor es de: %f\n",Torque_a_la_salida);

return main();

}
Torque_a_la_salida=(Potencia_a_la_salida/Velocidad_del_rotor_en_radianes);
printf("el torque a la salida o en la flecha del motor es de: %f\n",Torque_a_la_salida);

return main();

case 17:
printf("apartado para el calculo del torque bruto o desarrollado por el motor\n");
printf("
                \n");

printf("introduce la velocidad del rotor en radianes\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor_en_radianes);
while(Velocidad_del_rotor_en_radianes==0)
{
printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

```



```

while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n°mero de polos: ", 163);
scanf("%f", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%ctrice en Hertz: ", 162,130);
scanf("%f", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);
break;
}

printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslizamiento);
if(Deslizamiento>1)
{
Deslizamiento=(Deslizamiento/100);
}
else
{
(Deslizamiento=Deslizamiento);
}
while(Deslizamiento==0)
{

printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"un consejo %ctil para averiguar esta variable ser%ca colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,161,162);
return main();
}

```

```

}

Velocidad_del_rotor_en_radianes=((Velocidad_de_sincronismo*(1-
Deslisamiento))*((2*3.141592654)/60));

printf("la velocidad del rotor en radianes es de: ,%f\n",Velocidad_del_rotor_en_radianes);
}

printf("introduce el valor de las p%crdidas mecánicas del motor en la bibliograf%ca se abrevia
como Pm\n", 130,161);

scanf("%f", &Perdidas_mecanicasinternas);

while(Perdidas_mecanicasinternas==0)

{

printf("necesitas este valor para calcular la potencia desarrollada total del motor\n");
return main();
}

printf("introduce el valor de la potencia %ctil o potencia de salida P out\n", 163);
scanf("%f", &Potencia_a_la_salida);
while(Potencia_a_la_salida==0)
{

printf("introduce el valor de la velocidad del rotor en radianes\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while (Velocidad_del_rotor==0)
{

printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);
while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{

printf("introduce el n%cmerno de polos: ", 163);
scanf("%f", &Polos);

printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%cctrica en Hertz: ", 162,130);

```

```

scanf("%f", &Frecuencia);

Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);

printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);

}

printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslisamiento);

if(Deslisamiento>1)
{
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
}
else
{
(Deslisamiento=Deslisamiento);
}
while(Deslisamiento==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"un consejo %ctil para averiguar esta variable ser%ca colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,161,162);
return main();
}

Velocidad_del_rotor=((Velocidad_de_sincronismo*(1-Deslisamiento))*((2*3.141592654)/60));
printf("la velocidad del rotor en radianes: ,%f\n",Velocidad_del_rotor);

}

```

```

printf("introduce el torque del motor a la salida, este dato tiene que estar en newtons por metro");

printf("este dato es dif%ccil de medir se necesita estar en un laboratorio con dinam%cmetro\n",
161,162);

printf("y es m%cs com%cn encontrar el dato en un problema\n", 160,163);

scanf("%f", &Torque_a_la_salida);

while(Torque_a_la_salida==0)

{

printf("sin este dato no podemos seguir el cálculo de la potencia a la salida lo siento\n");

return main();

}

Potencia_a_la_salida=(Torque_a_la_salida*Velocidad_del_rotor);

printf("la potencia de salida es de: ,%f\n",Potencia_a_la_salida);

}

Potencia_desarrollada=(Potencia_a_la_salida+Perdidas_mecanicasinternas);

printf("el valor de la potencia desarrollada es de: %f\n",Potencia_desarrollada);

Torque_bruto=(Potencia_desarrollada/Velocidad_del_rotor_en_radianes);

printf("el torque bruto o desarrollado por el motor es de: %f\n",Torque_bruto);

return main();

case 18:

printf("apartado del c%clculo de la eficiencia del motor\n", 160);

printf("

\n");

printf("introduce la potencia de entrada del motor\n");

scanf("%f", &Potencia_de_entrada);

while(Potencia_de_entrada==0)

{

```

```

printf("introduce el valor del voltaje de alimentaci%cn al motor\n", 162);

printf("si el valor de tu problema es el valor de voltaje por fase multipl%ccalo por ra%cz de tres\n",
161,161);

scanf("%f", &Voltaje_de_entrada);

while(Voltaje_de_entrada==0)

{

printf("este dato es f%ccil de obtener ya sea del tablero de distribuci%cn o viendo la placa y la
conex%con del motor\n", 160,162,161);

printf("no podemos continuar en este apartado si no cuentas con este dato\n");

return main();

}

printf("introduce el valor de la corriente de alimentaci%cn, si tienes el dato por fase multipl%ccalo
por ra%cz de 3\n", 162,161,161);

scanf("%f", &Corriente_de_entrada);

while(Corriente_de_entrada==0)

{

printf("el dato de la corriente el%cctrica es necesario para el c%clculo de la potencia el%cctrica de
alimentaci%cn\n", 130,160,130,162);

printf("este dato lo puedes obtener de la placa del motor o del tablero de distribuci%cn
el%cctrica\n", 162,130);

return main();

}

printf("introduce el valor del factor de potencia del motor\n");

scanf("%f", &Factor_de_potencia);

if(Factor_de_potencia>1)

{

Factor_de_potencia=(Factor_de_potencia/100);

}

```

```

else
{
(Factor_de_potencia=Factor_de_potencia);
}
while(Factor_de_potencia==0)
{
printf("necesitas este valor forzosamente para el cálculo de la potencia de entrada del motor\n");
return main();
}

Potencia_de_entrada=(Factor_de_potencia*Corriente_de_entrada*Voltaje_de_entrada*sqrt(3));
printf("la potencia de entrada del motor es de: ,%f\n",Potencia_de_entrada);
}

printf("introduce el valor de la potencia de salida del motor en la bibliograf%ca se abrevia P
out\n", 161);
scanf("%f", &Potencia_a_la_salida);
while(Potencia_a_la_salida==0)
{

printf("introduce el valor de la velocidad del rotor en radianes\n");
scanf("%f", &Velocidad_del_rotor);
while (Velocidad_del_rotor==0)
{

printf("introduce la velocidad de sincronismo: ");
scanf("%f", &Velocidad_de_sincronismo);

while(Velocidad_de_sincronismo==0)
{
printf("introduce el n%cmerno de polos: ", 163);

```

```

scanf("%f", &Polos);
printf("introduce la frecuencia de alimentaci%cn el%cctrica en Hertz: ", 162,130);
scanf("%f", &Frecuencia);
Velocidad_de_sincronismo=((120*Frecuencia)/Polos);
printf("la velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto es de:
,%f\n",Velocidad_de_sincronismo);

}

printf("introduce el deslizamiento de tu motor: ");
scanf("%f", &Deslisamiento);

if(Deslisamiento>1)
{
Deslisamiento=(Deslisamiento/100);
}
else
{
(Deslisamiento=Deslisamiento);
}
while(Deslisamiento==0)
{
printf("Lo lamento necesitas este valor para conocer la velocidad del rotor.\n"
"un consejo %ctil para averiguar esta variable ser%ca colocar un tac%cmetro en la flecha del
motor\n\n", 163,161,162);
return main();
}

Velocidad_del_rotor=((Velocidad_de_sincronismo)*((1-Deslisamiento)*((2*3.141592654)/60)));
printf("la velocidad del rotor en radianes: ,%f\n",Velocidad_del_rotor);

```

```

}

printf("introduce el torque del motor a la salida, este dato tiene que estar en newtons por
metro");

printf("este dato es dif%ccil de medir se necesita estar en un laboratorio con dinam%cmetro\n",
161,162);

printf("y es m%cs com%cn encontrar el dato en un problema\n", 160,163);

scanf("%f", &Torque_a_la_salida);
while(Torque_a_la_salida==0)

{
printf("sin este dato no podemos seguir el c%clculo de la potencia a la salida lo siento\n", 160);
return main();
}

Potencia_a_la_salida=(Torque_a_la_salida*Velocidad_del_rotor);
printf("la potencia de salida es de: ,%f\n",Potencia_a_la_salida);

}

Eficiencia=(Potencia_a_la_salida/Potencia_de_entrada);
printf("la eficiencia del motor es de: %f\n",Eficiencia);
printf("la eficiencia del motor en porcentaje es de: %f\n",Eficiencia*100);
return main();
}
}
}

//FINAL//

```



#### 4.1 Prueba del software

En el siguiente apartado se propondrá un problema el cual ya está anteriormente resuelto y aparte ya viene con respuestas para comparar los resultados con los del software

Sea el problema:

Un motor de inducción trifásico de 4 polos y 50 Hz genera 25 KW a la salida y está trabajando a 1410 rpm. A plena carga las pérdidas mecánicas son de 850 tomando en cuenta que las pérdidas en el estator son 1.7 veces las pérdidas en el cobre del rotor a plena carga calcular:

i) Potencia mecánica desarrollada bruta ii) pérdidas en el cobre del rotor  
**(Respuestas: 25.85 KW, 1650 W)**

Datos :

$$Potencia_{A\ la\ salida} = 25\ KW$$

$$Perdidas_{Mecánicas} = 850\ W$$

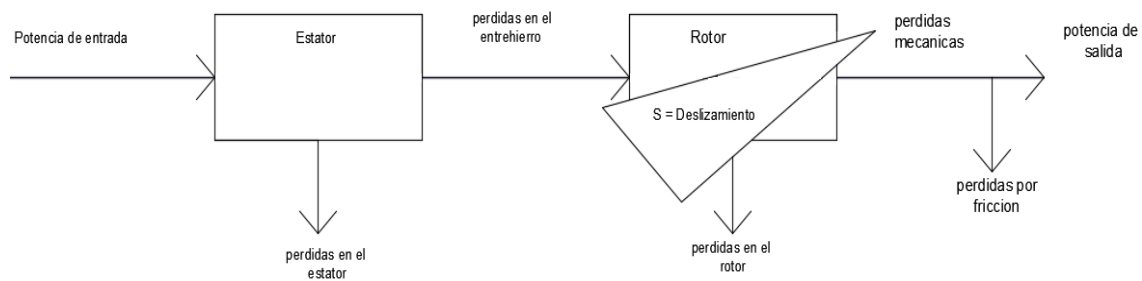
$$frecuencia = f = 50\ Hz$$

$$\omega_r = \omega_{rotor} = 1410\ rpm.$$

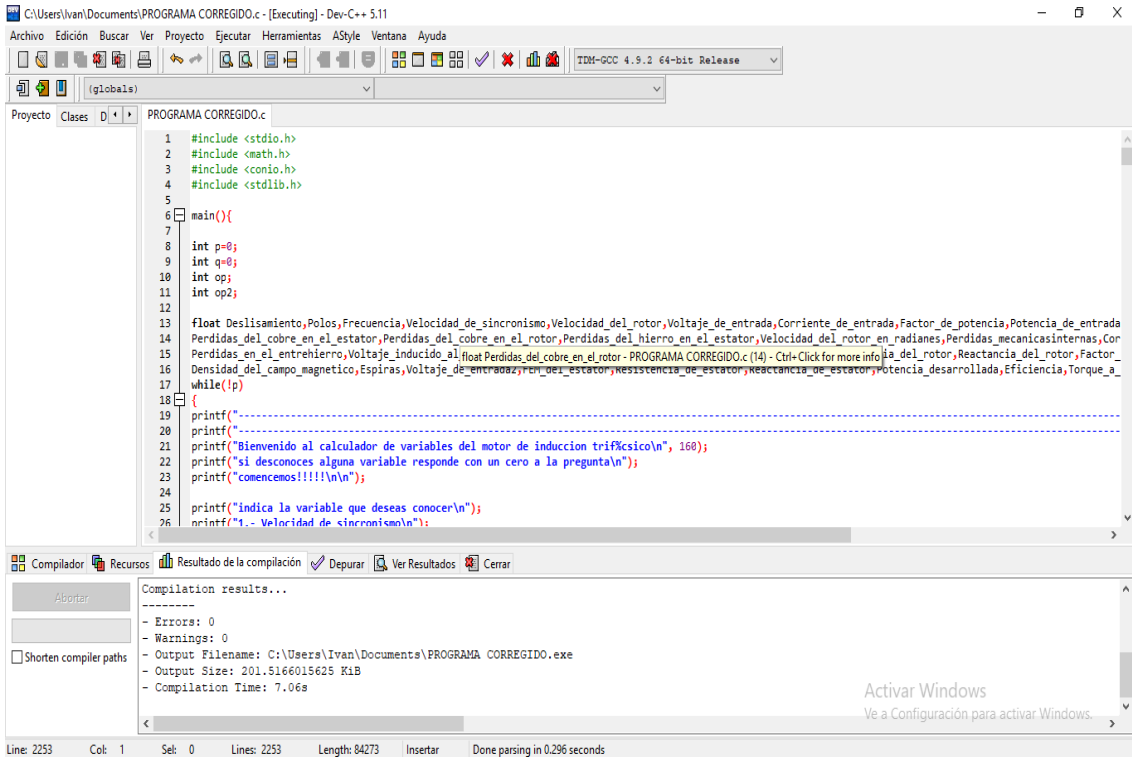
$$Polos = P = 4$$

$$\omega_0 = \omega_{sincronismo} = \frac{120 * f}{P} = \frac{120 * 50Hz}{4\ Polos} = 1500\ rpm.$$

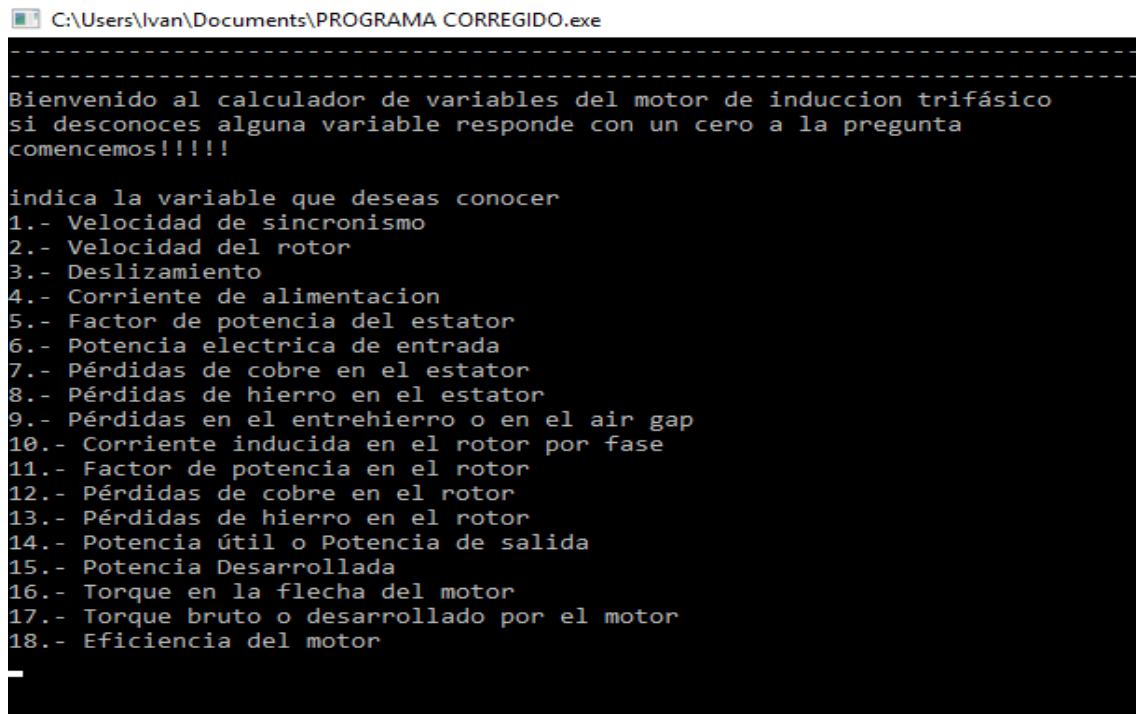
$$S = deslizamiento = \frac{\omega_0 - \omega_r}{\omega_0} * 100 = \frac{\omega_{sincronismo} - \omega_{rotor}}{\omega_{sincronismo}} * 100 = \frac{(1500\ rpm - 1410\ rpm)}{1500\ rpm} * 100 = 6\%$$



Al abrir el programa "DEV C++" y copiar el código del programa del calculador de variables del motor de inducción trifásico, la primera ventana que parecerá será el código



Compilando el programa aparecerá esta ventana que es el menú de las variables que el programa puede calcular



EI

En esta ocasión deseamos saber cuál es la velocidad de sincronismo y el deslizamiento por lo que se tiene que teclear el número 1 y empezar a introducir las variables que se tienen como datos del problema

```
C:\Users\Ivan\Documents\PROGRAMA CORREGIDO.exe
8.- Pérdidas de hierro en el estator
9.- Pérdidas en el entrehierro o en el air gap
10.- Corriente inducida en el rotor por fase
11.- Factor de potencia en el rotor
12.- Pérdidas de cobre en el rotor
13.- Pérdidas de hierro en el rotor
14.- Potencia útil o Potencia de salida
15.- Potencia Desarrollada
16.- Torque en la flecha del motor
17.- Torque bruto o desarrollado por el motor
18.- Eficiencia del motor
1
Apartado del cálculo de la velocidad de sincronismo

introduce el número de polos: 4
introduce la frecuencia de alimentación eléctrica en Hertz: 50
la velocidad de sincronismo es: ,1500.000000
la velocidad de sincronismo en radianes es: 157.079633
```

Al introducir los datos que se tienen como son el número de polos y la frecuencia de alimentación el programa nos da la velocidad de sincronismo que es de 1500 revoluciones por minuto y 157.079633 radianes sobre segundo.

Siguiendo con el problema nos pide en el inciso "i" la potencia desarrollada o potencia mecánica por lo que ahora teclearemos 15 y daremos enter para entrar al apartado del cálculo de esta variable.

```
C:\Users\Ivan\Documents\PROGRAMA CORREGIDO.exe
Bienvenido al calculador de variables del motor de induccion trifásico
si desconoces alguna variable responde con un cero a la pregunta
comencemos!!!!

indica la variable que deseas conocer
1.- Velocidad de sincronismo
2.- Velocidad del rotor
3.- Deslizamiento
4.- Corriente de alimentacion
5.- Factor de potencia del estator
6.- Potencia eléctrica de entrada
7.- Pérdidas de cobre en el estator
8.- Pérdidas de hierro en el estator
9.- Pérdidas en el entrehierro o en el air gap
10.- Corriente inducida en el rotor por fase
11.- Factor de potencia en el rotor
12.- Pérdidas de cobre en el rotor
13.- Pérdidas de hierro en el rotor
14.- Potencia útil o Potencia de salida
15.- Potencia Desarrollada
16.- Torque en la flecha del motor
17.- Torque bruto o desarrollado por el motor
18.- Eficiencia del motor
15
apartado del cálculo de la potencia desarrollada

introduce el valor de las pérdidas mecánicas del motor en la bibliografía se abrevia como Pm
850
introduce el valor de la potencia útil o potencia de salida P out
25000
el valor de la potencia desarrollada es de: 25850.000000
```

Inciso i)

$$Potencia_{Desarrollada} = Perdidas_{Mecanicas} + Potencia_{A\ la\ salida}$$
$$Potencia_{Desarrollada} = 850\ W + 25000\ W = 25850\ Watts$$

Como se puede apreciar el programa y el cálculo da el mismo resultado por lo que los resultados están sustentados de cobre del

El siguiente punto nos pide encontrar las pérdidas de cobre del rotor por lo que nos tenemos que teclear 12 que es el inciso de esta variable y dar enter e introducir los datos que nos piden

```
C:\Users\Ivan\Documents\PROGRAMA CORREGIDO.exe
2.- Velocidad del rotor
3.- Deslizamiento
4.- Corriente de alimentacion
5.- Factor de potencia del estator
6.- Potencia electrica de entrada
7.- Pérdidas de cobre en el estator
8.- Pérdidas de hierro en el estator
9.- Pérdidas en el entrehierro o en el air gap
10.- Corriente inducida en el rotor por fase
11.- Factor de potencia en el rotor
12.- Pérdidas de cobre en el rotor
13.- Pérdidas de hierro en el rotor
14.- Potencia útil o Potencia de salida
15.- Potencia Desarrollada
16.- Torque en la flecha del motor
17.- Torque bruto o desarrollado por el motor
18.- Eficiencia del motor
12
Apartado del cálculo de las pérdidas de cobre en el rotor

indica los datos con los que cuentas para calcular las pérdidas de cobre en el rotor
1.- a partir de la potencia desarrollada, del deslizamiento y las perdidas mecanicas
2.- a partir de la corriente del devanado del rotor I2 y de la resistencia del devanado del rotor R2
1
apartado del cálculo de las pérdidas del cobre en el rotor

introduce el deslizamiento de tu motor
0
introduce la velocidad de sincronismo: 0
introduce el número de polos: 4
introduce la frecuencia de alimentación eléctrica en Herz: 50
la velocidad de sincronismo es: ,1500.000000
introduce la velocidad a la que gira el rotor; el dato en tu problema debe estar abreviado como wr
1410
el deslizamiento de tu motor es de: ,0.060000
el deslizamiento de tu motor en porcentaje es de: ,6.000000
introduce el valor de la potencia desarrollada en la tesis aparece abreviada como mi
0
introduce el valor de las pérdidas mecanicas del motor en la bibliografía se abrevia como Pm
850
introduce el valor de la potencia útil o potencia de salida P out
25000
el valor de la potencia desarrollada es de: 25850.000000
las pérdidas de cobre en el rotor son de: 1650.000000
```

Inciso ii)

$$Perdidas_{Rotor} = \frac{Potencia_{Desarrollada} * S}{(1 - S)} = \frac{25850 \text{ Watts} * 0.06}{(1 - 0.06)} = 1650 \text{ Watts}$$

Cuando se desconoce alguna variable puede obtenerse al teclear cero y "ENTER" y así nos abrirá otro apartado donde buscare la variable desconocida y al pedirnos datos la obtendrá para usarla en el cálculo de la variable inicial.

Como se puede apreciar dentro del apartado de las pérdidas de cobre en el rotor se tecleo "0" en la velocidad de sincronismo y en la potencia desarrollada y el programa abrió una interacción para calcular estas variables "descocidas" y así usarla para obtener el valor de la magnitud del apartado que en este caso fueron las pérdidas de cobre n el rotor.

Una vez más queda comprobado que la calculadora hizo el cálculo correcto al compararlo con un problema previamente resuelto.

## **5. Bibliografía**

Fraile Mora, Jesús (2003): Maquinas eléctricas. Madrid, Mc Graw Hill.

Ghosh, Smarajit (2012): Electrical Machines. Thapar University, Pearson.

Enríquez Harper, Gilberto (2004): El ABC de las maquinas eléctricas II, México DF. Limusa.

Kosow, Irving (1993): Maquinas eléctricas y transformadores, New York. Prentice Hall.

Prasad, Rajendra (2009): Fundamentals of Electrical Engineering, India. Prentice Hall.

Guru, Bhag (2003): Maquinas eléctricas y transformadores, Reino Unido. University of Oxford Express.

Chapman, Stephen (2012): Maquinas Eléctricas, Australia, Mc Graw Hill.

Fowler, Richard (1994): Electricidad, principios y aplicaciones, New York. Mc Graw Hill.

## **6. Cibergrafía**

Ingeniero Cesar Antonio Izquierdo Merlo

<https://www.youtube.com/channel/UCvThY8eyKOnPxBjquurcW1Q>