

Universidad Tecnológica de Panamá

Facultad de Energía Eléctrica

Revisión Bibliográfica de Conversión de Energía I

Título:

Generadores, Motores Síncronos y Motores DC, lo que quieres saber en cuanto a operación, capacidad y aplicaciones.

Integrantes:

Edwin Rodríguez 7-709-1004

Jorge Espinosa 4-744-260

Fecha de Entrega: 16 de septiembre de 2021

Profesor: Dr. Edilberto Hall

INTRODUCCION

En el campo de la electricidad existen múltiples fenómenos que utilizan principios sencillos para hacer tareas complicadas en diversas áreas de la vida cotidiana. Los generadores y motores son un ejemplo de esto, tienen muchas aplicaciones y son usados en el día a día ya sea para aplicaciones en corriente continua (AC) y en corriente directa (DC) todo depende del uso y capacidad de estos para la cual sean requeridos. El propósito de esta revisión bibliográfica es un desarrollo explicativo del funcionamiento de máquinas sincrónicas, de igual manera explicar sobre los motores DC.

Comúnmente, las capacidades de dichas maquinas en la industria al igual que sus aplicaciones resultan ser factores cruciales para el empleo de estos equipos, esta razón es debido a que cuando se tiene un objetivo de trabajo especial, se debe argumentar, investigar y especificar el tipo y forma de trabajo para que el sistema requerido de pueda brindar los resultados deseados con el mínimo de errores o fallas que puedan suscitarse por una mala decisión o decisiones precipitadas.

Pues basado en esto, en este documento primero se describirá sobre el generador sincrónico y sus principales sistemas de enfriamiento y protección del generador sincrónico. También se, describirá algunas de sus capacidades instaladas para el generador sincrónico y sus sistemas de control, tales como el gobernador y el control de campo (AVR). El segundo punto que forma parte de esta revisión es la descripción de las aplicaciones, capacidades de un motor sincrónico. Finalmente, se estará presentando aplicaciones y funcionamiento de motores DC, por ejemplo, el motor universal.

Al final de este trabajo, esperamos tener un mejor conocimiento acerca del funcionamiento de las maquinas sincrónicas, capacidades de estos equipos y sus aplicaciones en la actualidad.

Temas			# Pag
Parte 1	La Máquina Sincrónica		4
	1.1	El Generador Sincrónico	4
	A	Capacidades Instaladas (kVA, MVA)	5
	B	Sistemas de Enfriamiento	7
	C	Control de Campo	9
	D	Gobernador	10
	E	Protecciones Principales	11
	1.2	Motor Sincrónico	16
	A	Capacidades (HP)	16
	B	Aplicaciones practicas	18
	C	El condensador sincrónico	20
Parte 2	Motores DC		21
	A	Capacidades (Hp)	21
	B	Aplicaciones Practicas	23
	C	El Motor Universal	24

Parte 1: La Máquina Síncrona

Una máquina sincrónica es una máquina eléctrica rotativa de corriente alterna cuya velocidad de rotación del eje y la frecuencia eléctrica están sincronizadas y son mutuamente dependientes.

La máquina puede operar tanto como motor o como generador. Como motor síncrono convierte la energía eléctrica en energía mecánica, la velocidad de rotación del eje depende de la frecuencia de la red eléctrica a la que se encuentra conectado, o bien convierte energía mecánica en energía eléctrica. En este caso es utilizada como generador síncrono y la frecuencia entregada en las terminales dependerá de la velocidad de rotación y del número de polos la misma.

Las máquinas síncronas se utilizan fundamentalmente como generadores de corriente alterna; en menor medida como motores de corriente alterna, ya que no presentan par de arranque como tales y hay que emplear diferentes métodos de arranque y aceleración hasta alcanzar la velocidad de sincronismo. También se utilizan para controlar la potencia reactiva de la red, (corrección del factor de potencia).

1.1 El Generador Sincrónico

Un generador síncrono es un dispositivo que convierte potencia mecánica de un primo motor en potencia eléctrica de corriente alterna con un voltaje y frecuencia específicos. Ésta se encuentra compuesta de dos partes: un rotor y un estator. El rotor es la parte móvil del generador, mientras que el estator es la parte fija. Los generadores síncronos se ocupan para producir la mayor parte de la potencia eléctrica que se utiliza en todo el mundo.

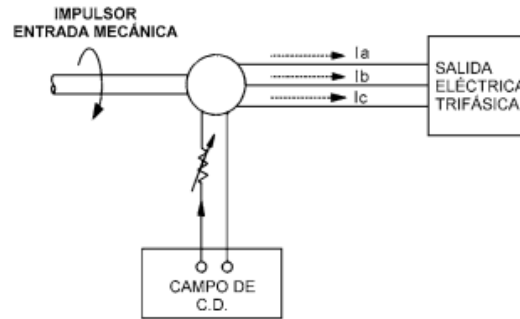


Figura 1. Generador Síncrono Básico.

La manera en que opera un generador síncrono en un sistema de potencia real depende de sus restricciones. Cuando un generador opera solo, las potencias reales y reactiva por suministrar deben estar determinadas por la carga impuesta y los puntos de ajuste del mecanismo regulador y la corriente de campo controlan la frecuencia y voltaje en las terminales, respectivamente. Cuando se conecta un generador a un bus infinito, su frecuencia y voltaje son constantes, por lo que los puntos de ajuste del mecanismo regulador y la corriente de campo controlan el flujo de potencia real y reactiva del generador.

Las máquinas síncronas son clasificadas en dos diseños principales — máquinas de rotor cilíndrico y máquinas de polos salientes. La siguiente figura proporciona una vista de la sección transversal de ambos tipos de construcción. Los generadores impulsados por turbinas de vapor tienen rotores cilíndricos con ranuras en las cuales son colocados los devanados de campo distribuidos. Mientras que, los generadores impulsados por turbinas hidráulicas tienen rotores de polos salientes laminados con devanados de campo concentrados y un gran número de polos.

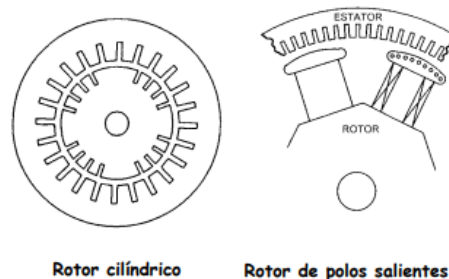


Figura 2. Tipos de generador síncrono.

Cualquiera que sea el tipo del impulsor o diseño de la máquina, la fuente de energía usada para girar la flecha es mantenida en un nivel constante a través de un regulador de velocidad conocido como gobernador. La rotación del flujo de C.D. en el campo del generador reacciona con los devanados del estator y, debido al principio de inducción, se genera una Tensión Trifásica.

A) Capacidades Instaladas (kVA, MVA)

Las potencias nominales de los generadores en las grandes centrales pueden llegar hasta 1500 MVA, funcionan con tensiones del orden de 25 kV y con intensidades de hasta decenas de kA. La potencia que necesita el sistema de excitación es entre el 0,2 y 3% de la potencia nominal de la máquina, de forma que se emplean tensiones de excitación de hasta 1 kV y con intensidades de unos pocos kA (por ejemplo 2,5 kA a 1 kV para una potencia de 750 MVA).

La curva de capacidad de un generador síncrono define un límite dentro del cual la máquina puede operar de manera segura. También se conoce como gráficos operativos o gráficos de capacidad. La región de operación permitida se limita a los siguientes puntos que se indican a continuación:

- La carga de MVA no debe exceder la capacidad del generador. Este límite está determinado por el calentamiento del inducido del estator por la corriente del inducido.
- La carga de MW no debe exceder la clasificación del motor principal.
- No se debe permitir que la corriente de campo exceda un valor especificado determinado por el calentamiento del campo.
- Para un funcionamiento estable o en régimen permanente, el ángulo de carga δ debe ser inferior a 90 grados. El límite de estabilidad teórico de la condición estable ocurre cuando $\delta = 90^\circ$.

La curva de capacidad se basa en el diagrama fasorial de la máquina síncrona. A continuación, se muestra el diagrama fasorial de un alternador de rotor cilíndrico con factor de potencia rezagado:

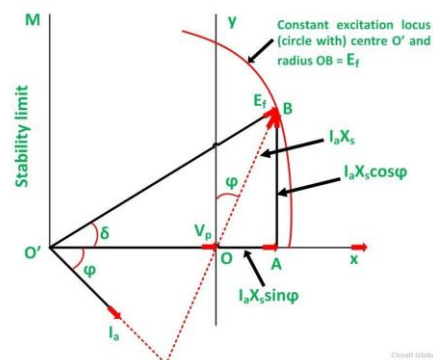


Figura 3. Diagrama fasorial de un generador de rotor cilíndrico con factor de potencia rezagado.

Por simplicidad, se supone que la resistencia del inducido y la saturación son insignificantes. Se supone que la máquina está conectada a barras colectoras de voltaje constante, de modo que el voltaje V_p es constante. La longitud $O'O (= V_p)$ es fija. Los ejes Ox y Oy se dibujan con su origen O en la punta de V_p .

Del diagrama fasorial,

$$OB = IaX_s$$

$$OA = IaX_s \sin \varphi ; AB = IaX_s \cos \varphi$$

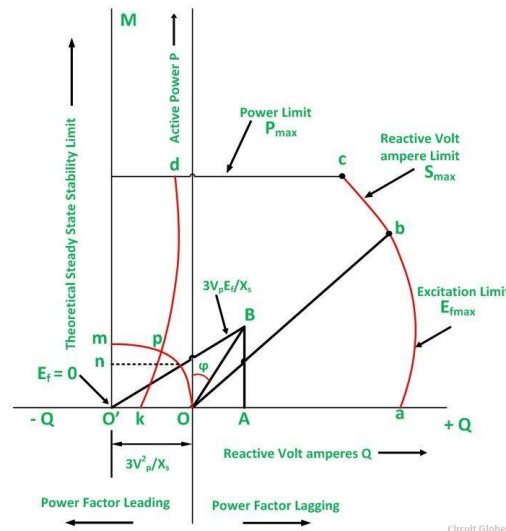
La potencia de salida real del generador se da como:

$$P = 3V_p I_a \cos \varphi$$

La salida de potencia reactiva del generador se da como :

$$Q = 3 V_p I_a \sin \varphi$$

A continuación, se muestra una curva de capacidad típica para un generador de rotor cilíndrico:



La curva se traza en el plano S , donde P es el eje vertical y Q es el eje horizontal. Para potencia constante I_a y voltios-amperios $S = VA$, el lugar geométrico es un círculo con un centro en O y un radio $OB (= 3 V_p I_a)$. La operación P constante se encuentra en una línea paralela al eje Q . El lugar geométrico de excitación constante es un círculo con centro O y radio $O'B (= 3 V_p E_f / X_s)$. Las líneas de factor de potencia constante son líneas radiales rectas desde O .

B) Sistemas de Enfriamiento

- **Generadores enfriados por aire:** Estos generadores se dividen en dos tipos básicos: abiertos ventilados y completamente cerrados enfriados por agua a aire.
 - Los generadores de tipo OV fueron los primeros construidos, el aire en este tipo de generadores pasa sólo una vez por el sistema y considerable cantidad de materias extrañas que pueden acumularse en las bobinas, interfiriendo la transferencia de calor y afectando adversamente al aislamiento.
 - Los generadores tipo TEWC, son un sistema de enfriamiento cerrado, donde el aire recircula constantemente y se enfría pasando a través del tubo del enfriador, dentro de los cuales se hace pasar agua de circulación.

- **Generadores enfriados por hidrógeno:**
 - Se puede decir que el gas de hidrógeno se utiliza como un enfriamiento medio en la carcasa del generador debido a sus propiedades de enfriamiento superiores. El enfriamiento del hidrógeno requiere completamente sistema de circulación sellado.
 - El gas hidrógeno circula por sopladores y los ventiladores atraviesan el rotor y el estator, y luego pasan a través de las bobinas de enfriamiento dentro de la carcasa. Las bobinas transportan aceite o agua para extraer calor del hidrógeno circulante.
 - El enfriamiento con hidrógeno aumenta la carga total la eficiencia del generador es de alrededor del 1 por ciento, pero aumenta la capacidad del generador en alrededor del 25 por ciento del generador del mismo tamaño físico utilizando aire.
 - Los generadores de mayor capacidad, peso, tamaño y los más modernos, usan hidrógeno para enfriamiento en vez de aire en circuito de enfriamiento cerrado.
 - El enfriamiento convencional con hidrógeno puede usarse en generadores con capacidad nominal aproximada de 300 MVA.

- **Generadores enfriados por hidrógeno / agua:** Pueden lograrse diseños de generadores aún más compactos mediante el uso de enfriamiento con agua directo al devanado de la armadura del generador.

- **Refrigeración directa por agua en generador síncrono**

- Como el enfriamiento por hidrógeno no es suficiente para extraer calor generado en grandes turbo alternadores de tamaños 500 MW o más. Para máquinas tan grandes, el volumen de gas hidrógeno requerido es mucho más grande, por lo tanto su uso puede volverse antieconómico.
- En tales casos, se utiliza la refrigeración por agua directa. En turbogeneradores muy grandes, los rotores son enfriados directamente con hidrógeno y los devanados del estator son enfriados directamente con agua desmineralizada. El agua es circulada por una bomba centrífuga de motor AC. Los filtros de cartucho se utilizan para filtrar el agua. Estos filtros están diseñados para evitar que las partículas corrosivas metálicas generadas en el bobinado y las tuberías entren en los conductores huecos del bobinado.
- Ventajas de la refrigeración con agua sobre la refrigeración con hidrógeno: el sistema enfriado por agua es más rápido y eficiente porque la conductividad térmica del agua es mayor que la del hidrógeno; el área de agua del conducto es más pequeña para permitir más espacio para los conductores en la ranura.
- Desventajas de la refrigeración con agua: el agua, que se utiliza para enfriar, debe estar altamente purificada para que la conductividad del agua no aumente; el enfriamiento con agua es más caro que el enfriamiento con hidrógeno.

C) Control de Campo

Los valores de la tensión en los nudos de un sistema eléctrico están relacionados con los flujos de potencia reactiva en las líneas del sistema. Esta relación tiene un carácter marcadamente local ya que la relación entre el flujo de reactiva y las tensiones en los extremos de la línea considerada es muy fuerte, pero se debilita rápidamente a medida que se consideran nudos más alejados.

El control automático de la tensión (AVR) tiene por objetivo mantener la tensión en bornes del generador, mediante el control de la fuerza electromotriz interna del generador. Para ello se actúa sobre la corriente de excitación del generador. La respuesta de estos elementos de control es bastante rápida, del orden de los segundos. El regulador automático de tensión (AVR) mide la magnitud de la tensión en bornes del generador, valor que es rectificado y filtrado hasta obtener una señal de corriente continua proporcional al valor eficaz original. Esta señal de continua $|V|$ se compara con un valor de referencia, $|V_{ref}|$, siendo la diferencia entre ambas el error de

tensión, e , que después de su amplificación se utiliza como tensión de alimentación de la excitatriz principal del generador y que finalmente se convierte en la tensión de excitación del generador.

La excitatriz es el principal elemento del AVR. La excitatriz proporciona la corriente continua necesaria para generar el campo magnético del generador. En la siguiente figura, se representa el esquema típico de una regulación de tensión AVR, que utiliza una excitatriz moderna compuesta de un generador síncrono asociado a un rectificador trifásico giratorio. Este generador que gira solidario al eje de la turbina tiene en el estátor una bobina alimentada en corriente continua y en el rotor los tres devanados independientes que generan un sistema trifásico de tensiones que se rectifica mediante el puente de diodos. La salida de corriente continua del puente de diodos alimenta a la bobina de excitación del generador síncrono principal ubicada en el rotor. Mediante este diseño se elimina la necesidad de las escobillas y de los anillos rozantes.

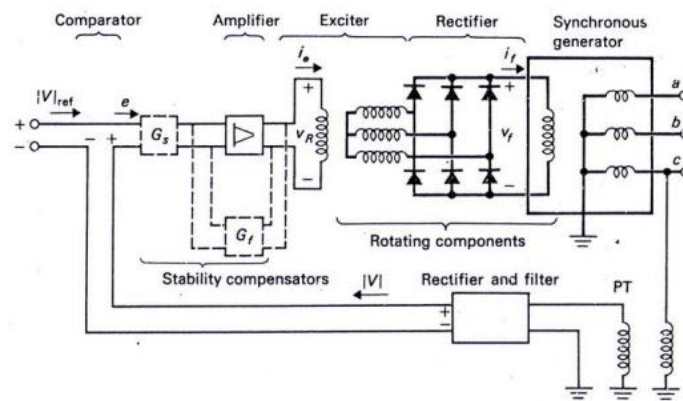


Figura 4. Bucle de regulación AVR sin escobillas.

D) Gobernador

El gobernador es un sistema de control asociado a la unidad generadora que permite mantener constante la velocidad de la máquina. A continuación, se muestra un diagrama esquemático indicando la relación entre el generador, el gobernador, y la turbina.

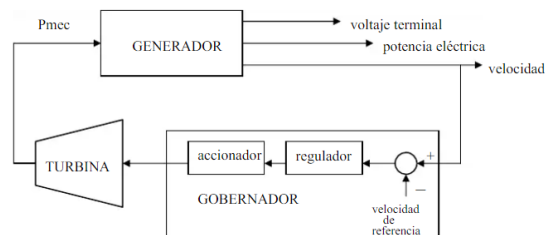


Figura 5. Diagrama esquemático indicando la relación generador-gobernador-turbina.

En la figura anterior, se puede observar que el generador recibe como entrada la señal de velocidad de la maquina y la compara con la velocidad de referencia, si estas son iguales la señal de error será cero indicativos que el gobernador no debe originar cambios en las condiciones de operación, dado que la maquina esta en la velocidad deseada. De ser diferente estas señales se generará un error, la misma será captada por el regulador que ejercerá la función de control ordenando al accionador a través de servomotores abrir o cerrar la paleta o válvula ya sea una turbina hidráulica o térmica respectivamente. Esta acción permitirá en la turbina incrementar o decrementar la potencia de la unidad para corregir la desviación de velocidad.

El gobernador indirectamente permite mantener la frecuencia constante y satisfacer la carga. La expresión que relaciona la velocidad sincrónica con la frecuencia viene dada por:

$$Velocidad = \frac{120 * frecuencia}{\# de polos}$$

E) Protecciones Principales

El sistema de protecciones de un generador síncrono se diseña de acuerdo con su capacidad, tamaño e importancia dentro del sistema de potencia. Para cada problema que presenta el generador hay un dispositivo de protección que se encarga de evitar los daños o percances que pueden provocar la salida de operación de este. En la siguiente tabla se muestra la localización y los tipos de problemas que puede presentar un generador síncrono.

LOCALIZACIÓN	TIPO DE PROBLEMA
Devanado estatórico	Falla entre fases
	Falla a tierra
	Falla entre espiras
	Circuito abierto
	Sobrecalentamiento
	Sobretensiones
Devanado de campo	Aterrizamiento de los devanados
	Devanados de campo abiertos
	Sobrecalentamiento
	Sobrevelocidades
Otros sistemas	Vibraciones
	Motorización
	Pérdida de excitación

Tabla 1. Problemas de un generador sincrónico.

A continuación, se presentan los diferentes tipos de protección convencionales para los problemas más comunes que se presentan en el generador:

➤ Protección del estator

- **Protección diferencial para fallas entre fases:** Una falla de fase en el devanado del estator del generador es siempre considerada como seria debido a las altas corrientes encontradas y el daño potencial a los devanados de la máquina, así como a las flechas y el acoplamiento. Por lo tanto, es muy importante minimizar el daño debido a fallas en el estator. Para agravar

esta situación, la corriente de falla en un generador no se interrumpe cuando el campo del generador es disparado y el generador es separado del sistema. La energía almacenada en el campo continúa alimentando la corriente de falla por varios segundos. Un método estándar para este tipo de fallas es la protección diferencial y comúnmente se encuentra en unidades generadoras de 1 MVA en adelante. Para este tipo de generadores se utiliza el esquema de protección diferencial de porcentaje variable como se muestran en las siguientes figuras. En estos elementos la pendiente puede variar desde 5% a 50%. Un relé de porcentaje fijo está normalmente entre el 10 y el 25%.

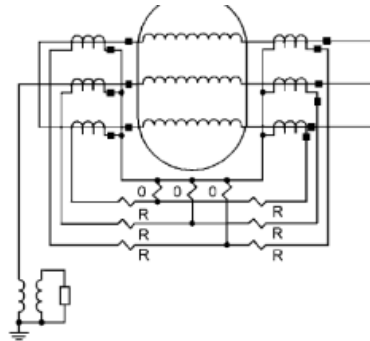


Figura 6. Conexión del relé diferencial de porcentaje de pendiente variable.

- **Protección convencional para fallas a tierra:** El núcleo del estator se ve forzosamente comprometido cuando tiene lugar un cortocircuito entre fase y tierra de un generador, debido a que independientemente de la conexión del neutro del generador con respecto a tierra, la carcasa del generador se encuentra conectada a tierra. El daño que origina el cortocircuito a tierra en láminas del estator está sujeto a la intensidad de la corriente de cortocircuito y al tiempo que circula dicha corriente. La intensidad de la corriente que circula, para un cortocircuito de fase a tierra en el estator, está condicionada por el tipo de conexión que tiene el neutro del generador. Dicha intensidad es máxima en el caso en que el neutro está sólidamente conectado a tierra y es mínima si el neutro se encuentra físicamente desconectado de tierra. Las protecciones más empleadas en estos casos son:
 - a) **Relé diferencial.** El relé diferencial 87N está conectado para recibir una corriente diferencial en el circuito de la bobina de operación mediante el transformador de corriente en los terminales (RCL) y corriente del neutro a través del transformador de corriente (RCN) entre el neutro ($3I_o$) del generador en su circuito de polarización. La comparación direccional es polarizada para asegurar que exista una restricción positiva para una falla externa, aunque los transformadores de corriente RCN localizados entre

el punto neutro y aterrizaje y RCL ubicado en los terminales del generador, tienen características de funcionamiento sustancialmente diferentes. Este esquema proporciona excelente seguridad contra operación incorrecta para fallas externas y proporciona una detección muy sensible de fallas a tierra internas.

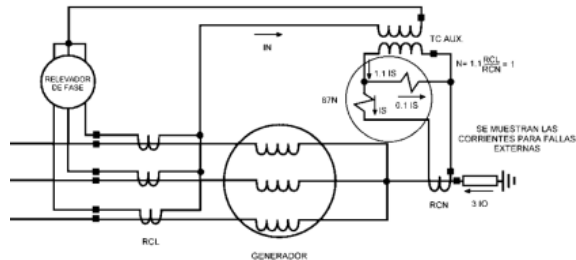


Figura 7. Conexión del relé diferencial tipo producto 87N

- b) **Esquema de sobretensión/corriente de neutro.** El esquema de protección más ampliamente usado en sistemas puestos a tierra con alta impedancia consiste en un relé de sobretensión con retardo de tiempo (59GN) conectado a través del resistor de puesta a tierra para medir tensión de secuencia cero, como se muestra en la figura 5. El relé usado para esta función está diseñado para ser sensible a una tensión de frecuencia fundamental e insensible a una tensión de tercer armónico y a otras tensiones armónicas de secuencia cero, que están presentes en el neutro del generador. La tensión en el relé es función de la relación del transformador de distribución y del lugar de la falla. La tensión es máxima para una falla en terminales y disminuye en magnitud a medida que la falla se mueve de los terminales del generador hacia el neutro. Típicamente, el relé de sobretensión tiene un ajuste de pickup mínimo de aproximadamente 5 V.

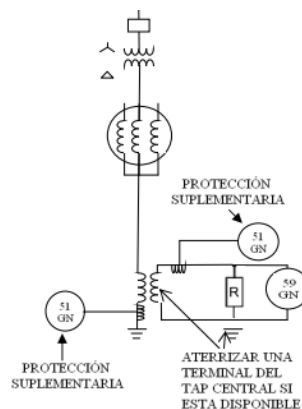


Figura 8. Esquema de protección convencional de sobretensión.

- c) **Protección convencional del 100%.** La protección convencional para detección de falla a tierra del estator en sistemas puestos a tierra con alta impedancia es adecuada, pero sólo proporciona protección sensible para únicamente alrededor del 90% del estator. Esto es debido a que la falla en el porcentaje restante del devanado, cerca del neutro, no causa suficiente tensión y corriente residual de 60 Hz para operar a estos relés. Es importante proteger todo el generador con un sistema de protección de falla a tierra adicional de tal forma que se cubra el 100% del devanado.
- **Protección contra cortocircuitos entre espiras de igual fase y fases abiertas.** Un cortocircuito entre espiras de una misma fase debe ser localizado y el generador desconectado del sistema, debido a que puede convertirse con facilidad en un cortocircuito de fase a tierra comprometiendo el núcleo del estator. El sistema de protección que se aplica para esta clase de cortocircuito depende de la disposición constructiva del generador. La protección difiere en el caso de un generador con dos enrollados por fase o con un solo enrollado por fase.
 - **Protección contra sobrecalentamiento del estator.** Es usual la protección contra sobrecalentamientos del estator mediante relés del tipo imagen térmica diseñados para reproducir las condiciones de calentamiento que originan las corrientes estatóricas y que al llegar a una cierta temperatura de ajuste cierra sus contactos. Esta protección cuenta con la desventaja de solamente operar para sobrecalentamientos originados por una sobrecarga y no protege contra los sobrecalentamientos producidos por desperfectos en el sistema de refrigeración o por cortocircuitos de las láminas del estator.
 - **Protección contra sobretensiones.** La sobre velocidad originada por pérdidas de carga o desperfectos en el regulador de tensión producen sobretensiones. Toda sobretensión asociada con una sobre velocidad es controlada por un regulador automático de tensión. No obstante, en las unidades hidráulicas, el flujo de agua no puede ser interrumpido o deflectado tan rápidamente y puede originarse una sobrevelocidad. En el caso de que la excitatriz se encuentre acoplada directamente a la máquina, la tensión tiende a crecer casi con el cuadrado de la velocidad. Como consecuencia, suele instalarse una protección de sobretensión en generadores accionados por turbinas hidráulicas y también por turbinas de gas, pero no con turbinas a vapor.

➤ **Protección del rotor**

- **Protección del devanado de campo contra cortocircuitos a tierra.** A continuación, se muestran los métodos de protección más comunes ante este tipo de falla.

a) **Método potenciométrico.** Este sistema abarca una resistencia con una derivación central, la que se conecta en paralelo con el enrollado principal del campo. La derivación central de la resistencia se conecta a tierra mediante un relé de sobretensión. Todo cortocircuito a tierra en el enrollado del campo originará una tensión mediante los terminales del relé. Dicha tensión es máxima para cortocircuitos que ocurran en los extremos del enrollado del campo, y se reduce a cero para cortocircuitos en el centro del enrollado.

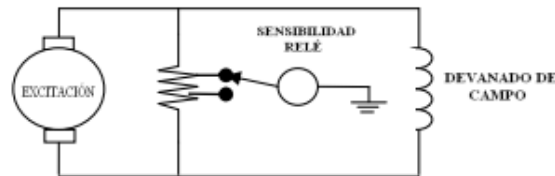


Figura 9. Esquema de conexión del método potenciométrico.

b) **Método de inyección de corriente alterna.** Este sistema abarca un transformador de fuente auxiliar de corriente alterna y su funcionamiento implica que un extremo del primario de este transformador se conecta a tierra y en el otro extremo se conecta un relé de sobretensión y un condensador en serie a uno de los extremos del enrollado principal de campo. Al tener lugar un cortocircuito a tierra el circuito del relé se completa, siendo la corriente a través del relé independiente de la tensión de la excitatriz y solamente una función de la resistencia en el punto del cortocircuito.

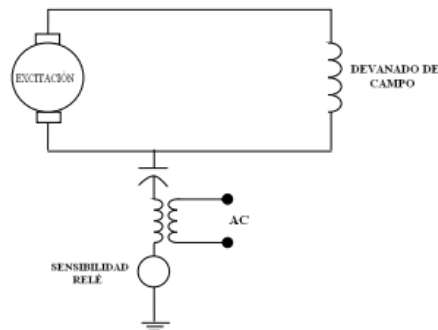


Figura 10. Método de inyección de corriente alterna.

- c) **Método de inyección de corriente continua.** Este sistema es similar al de inyección de corriente alterna y abarca un transformador/puente rectificador. El polo positivo de salida del puente se conecta a tierra, mientras que en el polo negativo se conecta un relé y hacia el polo positivo del enrollado principal de campo como se muestra en la figura 8. Este sistema posee todas las ventajas del de inyección de corriente alterna, sin la desventaja de la circulación de las corrientes de fuga mediante los descansos del rotor.

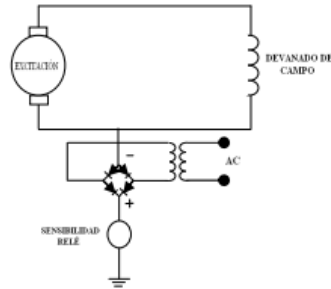


Figura 11. Método de inyección de corriente continua.

- **Protección para circuito abierto.** El circuito abierto en el rotor pocas veces sucede, pero de igual manera es necesario implementar una protección para esta situación debido a que en la apertura se forma un arco eléctrico que puede ocasionar daños en el núcleo del rotor. Un circuito abierto que no implique la tierra provoca una caída repentina de la corriente de campo que puede ser detectada por un relé de pérdida de campo.
- **Protección contra sobrecalentamiento del rotor.** La circulación de corrientes de secuencia negativa en el estator de un generador, producidas por cortocircuitos asimétricos internos o externos al generador y cargas desequilibradas, originan un campo rotatorio que gira con una velocidad igual al doble de la síncrona con respecto al rotor e inducen en el hierro de este, corrientes de una frecuencia doble con respecto a la fundamental. Dichas corrientes originan un sobrecalentamiento del rotor y pueden producir importantes daños si el generador continúa operando en esas condiciones. Esta situación tiene lugar particularmente en los generadores accionados por turbinas a vapor con sus rotores del tipo cilíndrico.

1.2 Motor síncrono

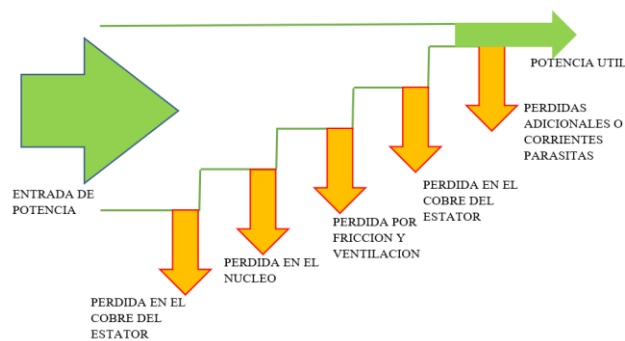
Son máquinas electromecánicas que tienen la capacidad de girar mediante la proporción de corriente alterna (AC) la cual está directamente sincronizada con el eje de rotación del motor y su

periodo de rotación es dependiente del número de ciclos de corriente. Su funcionamiento se basa en la ley de Faraday.

A) Capacidades Instaladas (HP)

La capacidad de un motor síncrono va a depender del tipo de aplicación para la que se va a usar sin embargo se puede tener una noción bastante amplia para poder obtener una selección adecuada.

La capacidad de un motor síncrono al igual que toda máquina, conlleva la pérdida de potencia a través del sistema estas pérdidas están dada por el siguiente esquema:



Esquema 1. Diagrama de pérdidas den un motor síncrono

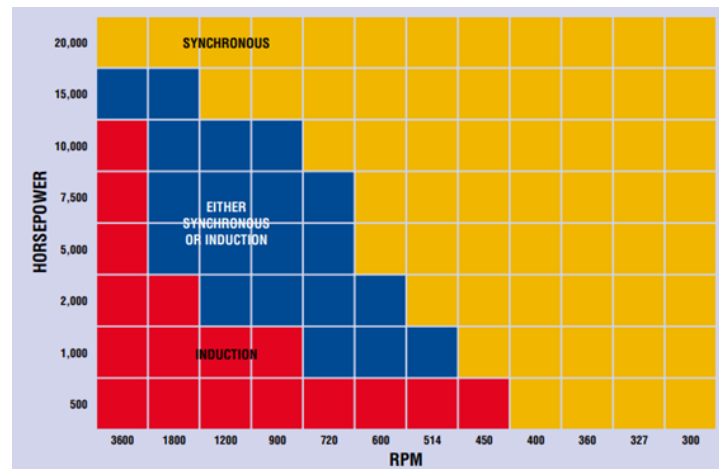


Figura 12. Se observa la capacidad de un motor síncrono comparado a otros motores eléctricos. Esta grafica muestra que la capacidad instalada vs las revoluciones por minuto.

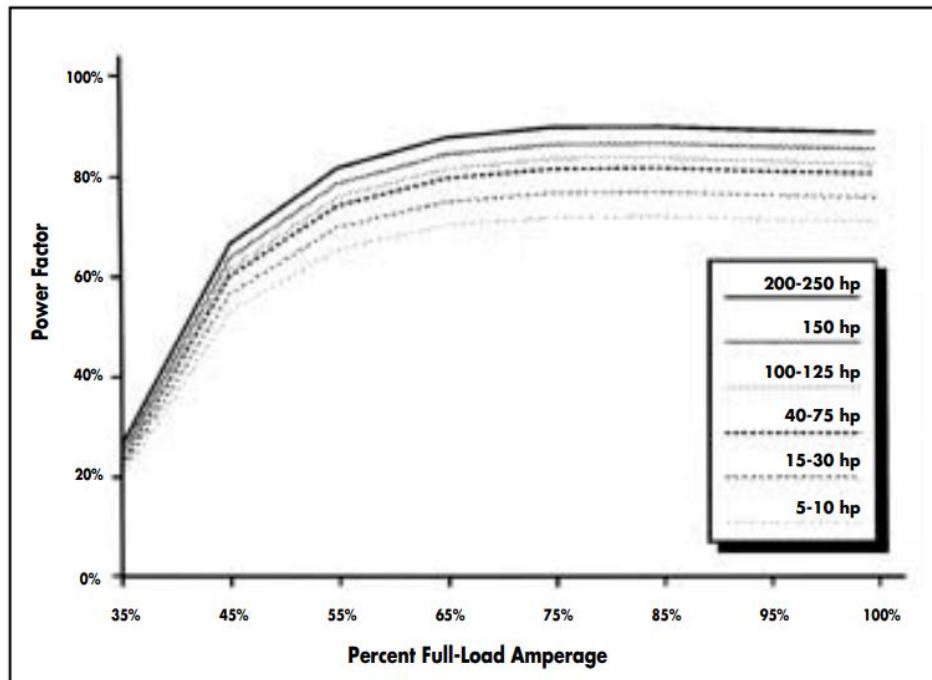


Figura 13. Grafica de factor de potencia vs porcentaje a plena carga de un motor síncrono. Se muestran las capacidades en HP de cada motor.

A) Aplicaciones

Se pueden establecer algunas reglas generales como guía preliminar en la selección de motores síncronos frente a motores de inducción para las aplicaciones específicas se deben estipular las condiciones de operación para una selección adecuada:

- Para 3600 rpm es común utilizar motores síncronos desde 10,000-20,000 HP. Para rangos mayores estos son la única opción.
- Para 1800 rpm, los motores síncronos muestran una ventaja por encima de los de inducción de 1000 HP. De 2000 a 10,000 HP, se utilizan motores síncronos por excelencia. La mejora del factor de potencia es un parámetro muy importante y para valores mayores de 15,000 HP, son la única opción.
- Los motores de inducción para funcionamiento por debajo de 500 rpm tienen menor eficiencia y menor factor de potencia. Los motores síncronos están contruidos a la unidad de un factor de potencia principal y con buenas eficiencias a velocidades tan bajas como 72 rpm. Para conexiones directas de potencias superiores a 1000 HP y con velocidades

inferiores 500 rpm, el motor síncrono debe ser la primera opción. Algunas aplicaciones en estos rangos son compresores, trituradoras, mezcladoras, astilladoras, etc.

Las aplicaciones más comunes de los motores síncronos son:

- ***Motores síncronos para compresores de aire y gas y bombas de vacío:*** Los compresores de aire, gas y las bombas de vacío alternativo, rotativo o centrífugo. Los Motores síncronos se pueden utilizar con cualquiera de estos tipos.

NEMA Recommended Torques for Reciprocating Compressors	Torques in % of Full-Load Torque		
	Starting	Pull-in	Pull-out
Air or Gas - Starting Unloaded	40	30	150
Vacuum Pumps - Starting Unloaded	40	60	150

Figura 14. Tabla de torques recomendados para compresores reciprocantes. Esta tabla indica el % a plena carga de un compresor en sus fases de operación.

- ***Motores síncronos para trituradoras, trituradoras y Molinos:*** Triturar, moler o pulverizar es un paso necesario en separación de metal de mineral, la preparación de roca triturada para la industria de la construcción, preparación de productos agrícolas como piedra caliza y fabricación de cemento.

Application	Torques in % of Full-load Torque		
	Starting	Pull-in	Pull-out
Gyratory (unloaded)	100	100	250
Cone (unloaded)	100	100	250
Hammermill (unloaded)	100	80	250
Roll crusher (unloaded)	150	100	250
Rod mill - ore	160	120	175
Ball mill - ore	150	110	175
Ball mill - rock or coal	150	110	175

Figura 15. Se muestra los % de torques requeridos a plena carga de distintos tipos de materiales en la industria.

- ***Motores síncronos para fábricas de celulosa y papel:*** Una de las industrias que más energía consume es la de procesamiento de madera y productos de madera en la fabricación de papel. Las fábricas de papel son grandes usuarios de motores síncronos para bombas, refinerías, astilladoras y otros equipos.

NEMA Recommended Torques	Torques in % of Full-load Torque		
	Starting	Pull-in	Pull-out
Refiners (unloaded)	50	50-100	150
Conical (Jordan) disc	50	50	150
Chippers - empty (1)	60	50	250
Grinders (unloaded)			
Magazine	50	40	150
Pocket (unloaded)	40	30	150
Vacuum pumps (Hytor)	60	100	150

(1) These are high-inertia loads and motor torque requirements can not be determined from load value alone. WK² values must be known to permit proper motor application.

Figura 16. Muestra el % a plena carga para diferentes operaciones según la industria.

B) El condensador sincrónico:

Es un motor síncrono que funciona sin carga mecánica. Puede generar o absorber voltios amperios reactivos (VAR) variando la excitación de su devanado de campo. Se puede hacer que tome una corriente principal con una sobreexcitación de su devanado de campo. Dado que un condensador síncrono se comporta como un inductor o un condensador variables, se utiliza en los sistemas de transmisión de energía para regular el voltaje de línea.



Figura 17. Condensador sincrónico ABB.

Estos componentes Garantizan un funcionamiento fiable y eficiente de las redes de energía al proporcionar compensación de potencia reactiva y capacidad adicional de energía frente a cortocircuitos.

Una de las Ventajas de un condensador síncrono es que se puede controlar el factor de potencia del sistema sin problemas y sin escalonamiento. En el caso de un banco de capacitores estáticos, estos ajustes precisos del factor de potencia no pueden ser posibles, sino que un banco de capacitores mejora el factor de potencia por etapas.

Parte 2: Motores DC

Son elementos electromecánicos capaces de convertir energía eléctrica en energía mecánica mediante la proporción de corriente continua (DC). Estos tienen el inconveniente de ser más complejos que los de CA ya que sólo pueden ser alimentados a través de equipos rectificadores.



Figura 18. Motor eléctrico DC.

Cuando la corriente eléctrica circula por la bobina de este electroimán giratorio, el campo electromagnético que se genera interactúa con el campo magnético del imán permanente o devanado. Si los polos del imán permanente o devanado y los polos del electroimán giratorio coinciden, se produce un rechazo y un torque magnético (par de fuerza que provoca que el rotor rompa la inercia y comience a girar sobre su eje) en sentido a la forma que se encuentre conectado el motor al circuito o la pila.

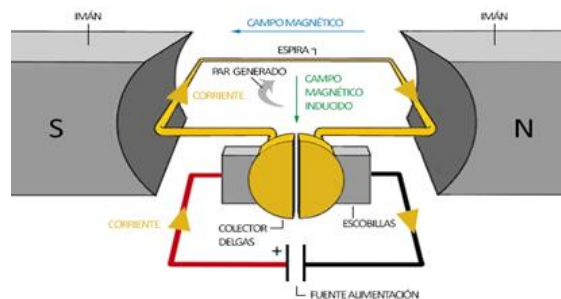


Figura 19. Esquema del funcionamiento de un motor DC.

A) Capacidad instalada (HP)

La mayoría de los motores eléctricos están diseñados para funcionar entre el 50% y el 100% de la carga nominal. La máxima eficiencia es generalmente cerca del 75% de la carga nominal. Por lo tanto, un motor de 10 caballos de fuerza (hp) tiene un rango de carga aceptable de 5 a 10 HP; la eficiencia máxima es de 7,5 HP. La eficiencia de un motor tiende a disminuir drásticamente por debajo de alrededor del 50% de carga, sin embargo, el rango

de una buena eficiencia varía con los motores individuales y tiende a extenderse sobre un rango más amplio para motores más grandes. Un motor se considera subcargado cuando está en el rango donde la eficiencia cae significativamente con la carga decreciente.

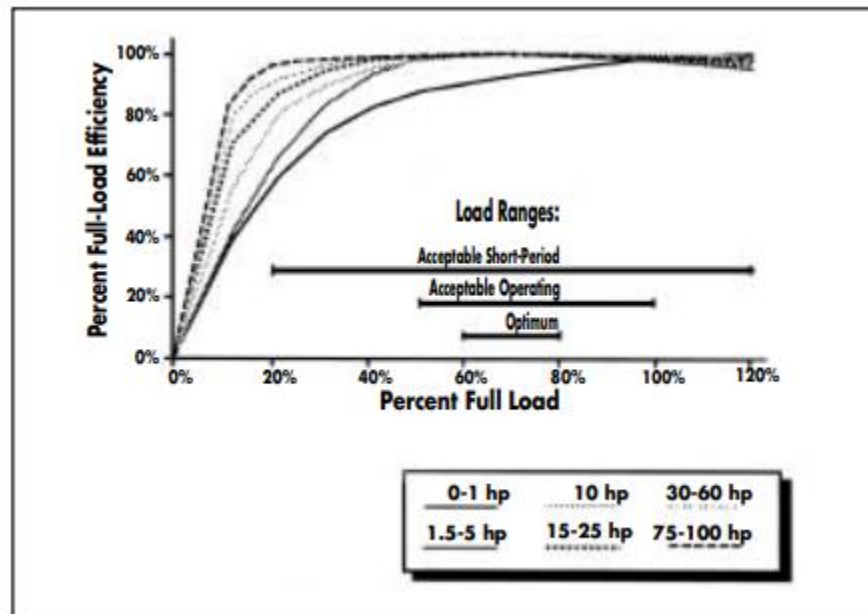


Figura 20. Grafica aproximada de relación de eficiencia vs porcentaje de carga para un motor eléctrico DC.

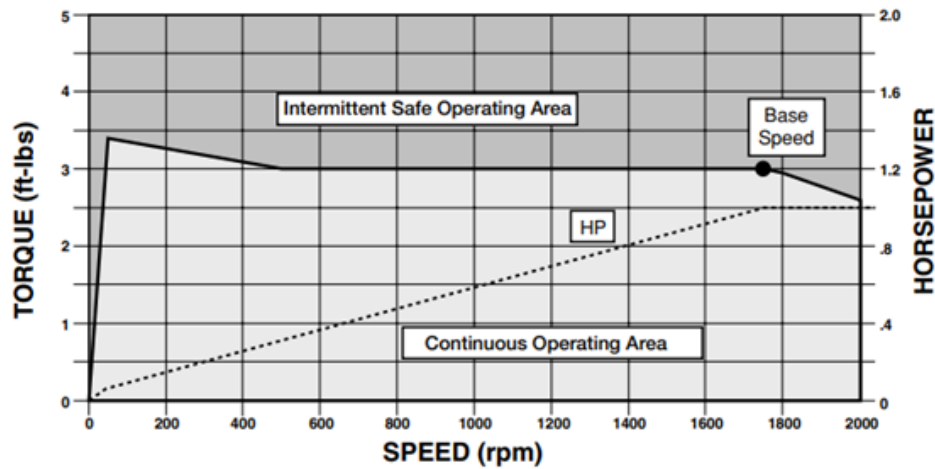


Figura 21. Grafica de la zona de operación de motores DC con respecto al torque y sus revoluciones por minuto.

TENV & TEFC PMDC Motors*							
HP	RPM	NEMA Frame	Enclosure	Catalog Number	Arm Volts	Full Load Amps	Rated Torq. lb-ft
1/4	1750	56C	TENV	CDP3310	90	2.5	0.75
1/4	1750	56C	TENV	CDP3306	180	1.3	0.75
1/3	1750	56C	TENV	CDP3320	90	3.2	1.0
1/3	1750	56C	TENV	CDP3316	180	1.6	1.0
1/2	1750	56C	TENV	CDP3330	90	4.8	1.5
1/2	1750	56C	TENV	CDP3326	180	2.5	1.5
1/2	2500	56C	TENV	CDP3335	90	5.0	1.05
3/4	1750	56C	TEFC	CDP3440	90	7.6	2.25
3/4	1750	56C	TEFC	CDP3436	180	3.7	2.25
3/4	2500	56C	TEFC	CDP3443	90	7.5	1.58
1	1750	56C	TEFC	CDP3445	90	10.0	3.0
1	1750	56C	TEFC	CDP3455	180	5.0	3.0
1	2500	56C	TEFC	CDP3450	90	9.7	2.1
1	2500	56C	TEFC	CDP3460	180	4.9	2.1
1-1/2	1750	145TC	TEFC	CDP3575	180	7.7	4.5
1-1/2	2500	145TC	TEFC	CDP3580	180	7.0	3.15
2	1750	145TC	TEFC	CDP3585	180	9.6	6.0
2	2500	145TC	TEFC	CDP3590	180	10.0	4.2
3	1750	184TC	TEFC	CDP3603	180	14.0	9.0
3	1750	182C	TEFC	CDP3604	180	14.0	9.0
5	1750	1810ATC	TEFC	CDP3605	180	24.5	15.0

Figura 22. Tabla de capacidad común de motores DC con su relación de torque.

B) Aplicaciones del motor de corriente continua

Requerimientos de aplicaciones

Para poder seleccionar de acuerdo a la aplicación requerida del motor se debe comparar la información en la hoja de datos de un motor de DC con los requisitos de su propia aplicación. Esto es Debido a que los parámetros de salida del motor son interdependientes, las otras especificaciones dependen de estas selecciones.

- Velocidad del eje: Un motor de CC aplica un voltaje (V) para hacer girar un eje a una velocidad de rotación proporcional (ω). Las especificaciones de velocidad del eje generalmente se refieren a la velocidad sin carga, que es la velocidad máxima que el motor puede alcanzar cuando no se aplica torque. Normalmente, la velocidad del eje se da en rotaciones o revoluciones por minuto (rpm).
- Par de salida: la rotación del eje genera una fuerza de rotación llamada par (τ) en el motor. Esta es la carga que el motor puede generar o manejar. El par se expresa en unidades de fuerza-distancia (lb-ft, oz-in, N-m, etc.). Las especificaciones de par generalmente se refieren al par de bloqueo y al par continuo. El par de bloqueo es el τ en el que la velocidad del eje es cero o el motor se detiene. El par continuo es el máximo τ en condiciones normales de funcionamiento.
- Voltaje disponible: los motores de DC pueden diseñarse para funcionar a un voltaje específico si solo se dispone de un rango pequeño o específico de fuentes de alimentación. El voltaje especificado determina la velocidad nominal del motor. Generalmente, el voltaje se expresa en voltios (V).

Los micromotores de DC generalmente operan al 10-30% de su par de bloqueo (el par al cual la velocidad del eje es cero o el motor se detiene). Los motores que están sometidos continuamente a cargas más altas y son más propensos a fallas mecánicas o degradación relacionada con el calor.

- Trenes de laminación reversibles.
- Trenes Konti. Son trenes de laminación en caliente con varios bastidores.
- Cizallas en trenes de laminación. Potencia: 9,2 KW/ 12 CV
- Máquinas herramientas, máquinas extractoras, elevadores, ferrocarriles.
- Los motores desmontables para papeleras, trefiladoras, bobinadoras, tornos grandes.
- Grúas que requieran precisión de movimiento con carga variable (cosa casi imposible de conseguir con motores de corriente alterna).
- Servomotores
- Domótica
- Medicina (herramientas de cirugía)

C) El Motor Universal

- Principio de operación:

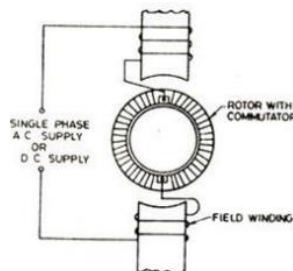


Figura 23. Esquema de un motor universal.

Cuando el motor universal es alimentado con corriente directa funciona como un motor serie de corriente continua. La rotación se puede controlar alterando la dirección de la corriente. Cuando se alimenta con AC todavía produce par unidireccional, porque el devanado de inducción y el devanado de campo están conectados en serie que están en la misma fase. La conmutación es pobre en comparación a la DC, una manera de intentar mejorar este tipo de máquina eléctrica es laminar por completo los polos de campo y carcasa para evitar pérdidas en el núcleo.

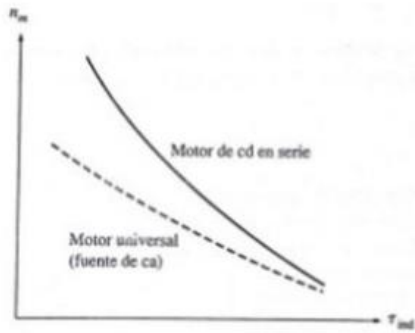


Figura 24. Características par-velocidad del motor universal.

La variación en la gráfica se da porque los devanados del campo y el inducido tienen reactancia a 60Hz y 50 HZ. Lo que hará que esta disminuya y la velocidad decaiga. Esto hará que la velocidad sea menor en alterna que en continua.

- Aplicación y usos particulares del motor: Las aplicaciones más conocidas para este tipo de motor son las licuadoras, aspiradoras, batidoras y secadoras de pelo.

CONCLUSION

Nuestro desarrollo tecnológico ha llevado a la utilización de materia natural para muchas formas de aprovechar la energía y convertirla, así como se realiza en las maquinas sincrónicas y motores DC que pudimos estudiar en este documento, sus capacidades, sus principios entre otros parámetros que involucran cierto grado de entendimiento y dominio de varias disciplinas científicas que juntas logran concretar la materia y fenómenos naturales para poder ser aprovecharlos de forma segura.

Las capacidades instaladas antes descritas tanto de motores como de generadores son dependientes de muchas condiciones reales a las que se van utilizar ya que como inversionista o dueño de proyecto se requiere tener buenos resultados en cuanto al servicio requerido como a el resultado económico final debido a que, por obvias razones, nadie desearía obtener un equipo así sea costoso o no que no le brinde un buen desempeño y que acabe por costar más de lo presupuestado solo por consideraciones erróneamente calculadas.

Los sistemas de control al igual que las protecciones vistas en este documento, también juegan un rol crucial en estos equipos, ellos son los encargados de que estos no terminen siendo un verdadero dolor de cabeza, como dice en los libros *“tener un ejército indisciplinado es como no tener ninguno”*, no sirve de nada tener maquinas a las cuales no se va poder limitar su operación porque estarían operando libremente ya sea generando o consumiendo energía innecesaria sino que representan un peligro para otros sistemas que dependen de estos equipos, las protecciones claramente pueden hacer su trabajo pero sin los sistemas de control las protecciones se vuelven inútiles porque su trabajo no es el dominio del sistema sino de protegerlo momentáneamente de sí mismo y de otras situaciones externas pero también recordando que tienen límites de seguridad más bajos que los sistemas de control que si están diseñados para imponerse ante un sistema por un lapso prolongado.

REFERENCIAS

- [1] M. Sergio Rafael Tirado Pérez, "Maquinas Sincrónicas - Monografias.com", *Monografias.com*, 2021. [Online]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos93/maquinas-sincronicas/maquinas-sincronicas.shtml>. [Accessed: 10- Sep- 2021].
- [2] *Ieec.uned.es*, 2021. [Online]. Available: http://www.ieec.uned.es/Web_docencia/Archivos/material/Aspectos%20sobre%20ALTERNADORES-2008.pdf. [Accessed: 14- Sep- 2021].
- [3] *Scribd.com*, 2021. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/doc/98950683/Capitulo-2-Gobernador-de-Velocidad-SISTEMAS-DE-POTENCIAS-II>. [Accessed: 17- Sep- 2021].
- [4] 2021. [Online]. Available: <https://illustrationprize.com/es/667-cooling-of-a-synchronous-generator.html>. [Accessed: 15- Sep- 2021].
- [5] 2021. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/71396063.pdf>. [Accessed: 14- Sep- 2021].
- [6] *Static.weg.net*, 2021. [Online]. Available: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hfe/hf4/WEG-the-abcs-of-synchronous-motors-usaem200syn42-brochure-english.pdf>. [Accessed: 08- Sep- 2021].
- [7] M. Boris Carpio, "Maquinas II - Monografias.com", *Monografias.com*, 2021. [Online]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos91/ejercicios-cap-6-maquinas-ii/ejercicios-cap-6-maquinas-ii.shtml>. [Accessed: 08- Sep- 2021].
- [8] 2021. [Online]. Available: <https://illustrationprize.com/es/657-synchronous-condensor.html>. [Accessed: 08- Sep- 2021].
- [9] "Condensadores síncronos", *Motors and Generators*, 2021. [Online]. Available: <https://new.abb.com/motors-generators/es/condensadores-sincronos>. [Accessed: 08- Sep- 2021].
- [10] 2021. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Marino-Pernia/publication/235752021_Conceptos_Basicos_de_Maquinas_de_corriente_continua/links/0912f5131e8e23bfa1000000/Conceptos-Basicos-de-Maquinas-de-corriente-continua.pdf. [Accessed: 08- Sep- 2021].
- [11] *Usmp.edu.pe*, 2021. [Online]. Available: https://www.usmp.edu.pe/vision2017/pdf/materiales/MOTORES_ELECTRICOS_PARA_LA_IN.pdf. [Accessed: 08- Sep- 2021].
- [12] 2021. [Online]. Available: https://www.globalspec.com/learnmore/motion_controls/motors/dc_motors. [Accessed: 09- Sep- 2021].
- [13] *Energy.gov*, 2021. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/10097517.pdf>. [Accessed: 10- Sep- 2021].