



JUL 2012



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

INSTITUTO DE INVESTIGACION DE LA FIEE

INFORME FINAL



**"DISEÑO SIMULADOR DE CONTROL ÓPTIMO PARA
GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA DE BAJA
POTENCIA "**

Autor:

Lic. Hugo Florencio LLACZA ROBLES

PERIODO DE EJECUCION:

**RESOLUCIÓN RECTORAL N° 632-11-R
Del 01 Junio 2011 al 31 de mayo 2012**

CIUDAD UNIVERSITARIA

C A L L A O 2012

I.- INDICE

I-	INDICE.....	2
II-	RESUMEN.....	3
III-	INTRODUCCIÓN.....	4
IV-	MARCO TEORICO.....	8
4.1	SELECCIÓN DE GENERADORES SINCRONOS.....	8
4.2-	CARACTERISTICAS DE LOS GENERADORES SINCRONOS.....	9
4.3-	CARACTERISTICAS ELÉCTRICAS.....	12
4.4-	TIEMPO DE REGULACIÓN DE LA TENSIÓN.....	14
4.5	SELECCIÓN DE GENERADORES PARA CENTRALES HIDRALICAS... ..	15
4.6	REGULADOR AUTOMATICO DE VOLTAJE (AVR).....	17
4.7-	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL AVR EN EL GENERADOR LEROY SOMER.....	18
4.8	GENERADORES TRIFÁSICOS DE AC.....	19
4.9-	MANTENIMIENTO.....	20
4.9.1-	CONTROLADOR DIGITAL PARA GENERADORES.....	21
4.9.2-	CONTROLES PARA GENERADORES DE ENERGIA.....	23
V.-	MATERIALES Y METODOS.....	28
5.1.	REGULADOR AUTOMATICO DE VOLTAJE (AVR) DE UN GENERADOR SINCRONO.....	28
VI.-	RESULTADOS.....	36
6.1-	GESTIÓN DE ENERGÍA INTELIGENTE Y AUTOMATIZADA.....	36
6.2	GESTIÓN DE LAS RESERVAS.....	36
6.3	CONTROL AUTOMÁTICO DE LA GENERACIÓN.....	36
6.5	SUPERVISIÓN Y CONTROL.....	36
6.6-	CARACTERÍSTICAS DE UN CONTROL AUTOMÁTICO.....	37
6.7-	SIMULADOR DE SISTEMAS DE CONTROL.....	37
6.8-	CONTROL AUTOMÁTICO DE LA GENERACIÓN.....	38
6.9-	MODELOS DEL COSTE NO LINEAL.....	39
6.10-	SUPERVISIÓN Y CONTROL.....	40
6.11-	SIMULADOR DEL SISTEMA DE CONTROL.....	40
6.12-	ASEGURAR LA OPERACIÓN CONFIABLE DEL SISTEMA.....	42
6.13-	SUPERVISIÓN AVANZADA.....	43
VII.-	DISCUSIÓN.....	44
7.1-	CONCLUSIONES.....	44
7.2-	RECOMENDACIONES.....	46
VIII.-	REFERENCIALES.....	48
IX.	APÉNDICE.....	49
9.1-	DISEÑO DEL CONTROLADOR ÓPTIMO.....	50
9.2-	SISTEMA DE EXCITACIÓN AVR.....	55
X-	ANEXOS.....	57
10.1-	TABLA 04.- PROTECCIÓN DE GENERADORES DE ACUERDO A LA FALLA.....	58
10.2-	EJEMPLOS DE TECNOLOGÍAS DE EQUIPOS DE POTENCIA SIN CONEXIÓN A LA RED.....	59
10.3-	MOTORES PRIMOS Y LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE ELLOS, APLICACIONES.....	61

II) RESUMEN

En el presente se da conocer con detalle todo lo relacionado con el principio de funcionamiento, de los generadores síncronos, ventajas y desventajas de los mismos, cuidados que se debe tener, para hacer un estudio profundo de los principales generadores síncronos, así como los diferentes controles para un funcionamiento óptimo y automático; actualmente gracias a la electrónica de potencia existen una gran variedad de ellos que simplifican su aplicación, estos por lo general son diseñados para grandes potencia.

Después de haber analizado y desarrollado el presente trabajo; podemos afirmar que el control óptimo de los generadores de baja potencia, es posible para el cual se muestra un modelo de manejo de la máquina después de haber estudiado otros tipos de control inclusive con marcas conocidas y de renombre, tienen un lugar preferencial dado su dinámica y operatividad, y en consecuencia deben ser estudiadas profundamente dentro de sus tres regímenes es decir: Permanente, transitorio y sub transitorio, esto permitirá al profesional:

- Conocer la conducta de las máquinas en su estado transitorio.
- Seleccionar y dimensionar correctamente las máquinas síncronas.
- Seleccionar y dimensionar el tipo de protección según la criticidad de las cargas.
- Hacer las evaluaciones Costo – Beneficio al utilizar tecnología punta en la operatividad y protección del sistema.

Para tener la idea de los generadores de baja potencia, consideremos aquel que permite encender los artefactos de una o dos familias (Lámparas, televisor o cualquier otro aparato de funcionamiento eléctrico), estamos haciendo uso de una de las fuentes de energía más apreciadas e importantes que el ser humano haya podido concebir, y es que sin la energía eléctrica la civilización ya no sería lo que es en la actualidad; el progreso y calidad de vida. Al hacer uso de máquinas que suplen este déficit o, por otra parte, cuando hay un corte en el suministro eléctrico; se pueden usar estos generadores de baja potencia.

Este reto, presenta una oportunidad para encontrar caminos alternativos para la producción y el uso de la energía que sean, económicamente, socialmente y medio ambientalmente sostenibles, que a la vez introduzcan una herramienta importante como medio para conseguir el desarrollo humano.

El autor



III.- INTRODUCCIÓN

En el campo de la ingeniería eléctrica moderna es necesario modelar el comportamiento dinámico de las máquinas sincrónicas para el diseño de reguladores que garanticen cambios pequeños en las variaciones de tensión y frecuencia alrededor de valores establecidos. Sin embargo los modelos de los generadores son complejos y los programas de simulación que se tienen para simplificar la manipulación matemática no son de uso común, ya que la forma en que se ingresan los datos es tediosa y se requiere de mucha experiencia y conocimiento.

El objetivo de este trabajo es proponer un procedimiento para simular el generador y diseñar controladores óptimos, con la ayuda de herramientas de fácil trabajo y amplia divulgación como son MATLAB y su modulo de simulación SIMULINK.

MATLAB es un programa matemático que trabaja con base en matrices y que incluye comandos para la simulación de sistemas lineales. SIMULINK es un ambiente gráfico de simulación de sistemas dinámicos basado en diagramas de bloques.

Hasta hoy se han hecho esfuerzos para la modelación de los generadores sincrónicos. Los modelos se describen con ecuaciones diferenciales no lineales, con coeficientes variables debido al cambio de las inductancias de la máquina con la posición del rotor. Desde 1929 la modelación de la máquina sincrónica se ha simplificado, con la aplicación de las transformaciones, las cuales eliminan la variación en los coeficientes de las ecuaciones diferenciales al proyectar todos los fenómenos electromagnéticos y electromecánicos sobre un marco de referencia.

Con el conjunto de ecuaciones ubicadas sobre el marco de referencia seleccionado, se realiza la manipulación para definir las variables por integrar y obtener así la respuesta del sistema ante cambios en las entradas: tensión de campo y par mecánico.

En este trabajo se presentan los resultados del diseño y la simulación de un control óptimo de tensión y velocidad para un generador sincrónico. El diseño del controlador se hace por dos métodos: un primer método propuesto, y el segundo basado en la ecuación matricial de Riccati. Ambos métodos son aplicables para sistemas lineales; los controladores obtenidos son aplicados tanto al modelo lineal como al no lineal, para diferentes valores de potencia activa. La simulación del modelo lineal se hace con programación en MATLAB y la del modelo no lineal se hace con diagramas de bloques en SIMULINK. Como resultado de las simulaciones se obtienen gráficos que muestran la respuesta en el tiempo de las principales variables de la máquina sincrónica.

Los resultados muestran que el controlador basado en la ecuación de Riccati presenta un mejor comportamiento; esto se refleja en una mejor respuesta transitoria de las variables en comparación con los resultados obtenidos en el otro método. Sin embargo en todos los casos las variables del sistema no lineal adquieren mayores desviaciones, sobre picos y tiempos de establecimiento, comparadas con el sistema lineal. El esfuerzo de control para todos los casos es mayor en el sistema no lineal que en el lineal.

Basado en un diseño innovador el regulador digital de voltaje puede adaptarse a casi todos los generadores. Su diseño está basado en un moderno micro controlador de alta velocidad el cual integra todas las funciones requeridas para la tarea de regulación y control. La etapa de potencia, integrada, está basada en transistores lo que le confiere al regulador características robustas y alta confiabilidad comparada con etapas realizadas con otros semiconductores. Las ventajas del regulador digital de voltaje frente a sus equivalentes analógicos son varias las ventajas podemos mencionar:

- ✓ **Comportamiento Ajustable.**- El regulador puede ser sintonizado para optimizar la respuesta del generador donde es instalado sin cambiar ningún componente.

- ✓ **Lo mejor del mundo digital y analógico.**- Puede usar los controles analógicos para el ajuste del regulador o usar un computador para configurarlo

- ✓ **Precisión en la medición.-** Todos las mediciones se realizan mediante algoritmos digitales que pueden ser ajustados por software y no dependen de componentes analógicos que varían sus características con las condiciones ambientales.

- ✓ **Censado de verdadero valor eficaz.-** En ambientes donde hay instalados equipos electrónicos de alta potencia tales como UPS, variadores de velocidad electrónicos para motores, etc. se encuentran presentes una gran cantidad de armónicos. La medición de verdadero valor eficaz evita errores de medición y por lo tanto errores de regulación debido al alto porcentaje de armónicos y transitorios presentes. Los reguladores digitales puede realizare mediciones de verdadero valor eficaz a alta velocidad y sin costos adicionales.

- ✓ **Mas funciones sin costo adicional.-** Debido a la naturaleza del diseño digital pueden ser adicionadas al regulador mas funciones sin incrementar el costo del equipamiento. Algunos ejemplos de estas funciones adicionales son: Protecciones, funciones limitadoras, limitación de parámetros de ajustes, mediciones, funciones para trabajo en paralelo con otros generadores.

- ✓ **Comunicaciones.-** Los sistemas digitales pueden comunicarse e interactuar con otros sistemas tales como sincronizadores, Sistemas SCADA, Displays, etc.

- ✓ **Simple, Robusto y Confiable –** Un sistema analógico que integre todas las funciones de un sistema digital resultaría en un sistema muy complejo que requiere interminables horas de prueba y componentes especiales para lograr las mismas funciones resultando en un dispositivo de muy alto costo para obtener los mismos resultados.

- ✓ **Algunas Definiciones**

- **Control:** aquellas variables que permiten realizar la tarea requerida de modificar el comportamiento de las salidas.
- **Control admisible:** los controles y salidas que satisfacen las restricciones.
- **Horizonte:** el periodo de tiempo de interés para el análisis.
- **Restricciones:** condiciones particulares del problema que limitan a los controles y salidas evolucionar arbitrariamente.
- **Salidas:** variables cuya evolución interesa conocer y con las cuales se puede asociar una tarea.
- **Trayectorias de control:** el modo como evolucionan los controles en el tiempo.
- **Trayectorias de estado:** el modo como evolucionan los estados en el tiempo.
- **Trayectoria de control óptimo:** una trayectoria de control que optimiza algún criterio de funcionamiento y satisface las restricciones.



IV.- MARCO TEÓRICO

4.1 SELECCIÓN DE GENERADORES SINCRONOS

La constitución de los generadores trifásicos que se emplean en las centrales eléctricas se rige por el número de vueltas de su máquina motrices. Los alternadores acoplados a turbinas hidráulicas se constituyen por velocidades muy distintas, según la potencia, altura y salto de la turbina. Hasta la velocidad de 750 rpm el rotor es de tipo polos salientes y por lo general de eje vertical, salvo en las velocidades altas con turbinas pelton, en que se dispone de eje horizontal. Para velocidades de 750 rpm y superiores, el rotor es de tipo cilíndrico y de eje horizontal.

Cuando hablamos de las características nominales, lo principal es la potencia nominal que un alternador puede entregar, dentro de sus características nominales y en régimen continuo. Este concepto, de potencia nominal, está íntimamente ligado a la elevación de temperatura de los arrollamientos. Sabemos que el alternador puede accionar cargas que están por encima de su potencia nominal hasta alcanzar el límite de estabilidad.

Si los alternadores entregan una potencia mayor de la que fue proyectado en este caso el calentamiento normal de los arrollamientos será sobrepasado disminuyendo la vida del alternador o en muchos casos llegando a quemarse.

Para poder seleccionar adecuadamente los alternadores es conveniente tener en cuenta las características de funcionamiento en forma clara, precisa y correcta:

- Potencia nominal KVA.
- Factor de potencia $\cos \phi$.
- Número de polos.
- Número de fases.

- Frecuencia (Hz)
- Temperatura ambiente °C.
- Altitud (msnm)
- Protección térmica.
- Tensión de armadura (DC Votios).
- Tipo de excitación.
- Sistema sin escobillas.
- Sistema con excitatriz estática.
- Régimen de servicio y la descripción del ciclo de trabajo.
- Grado de protección de la máquina.
- Tipo de aplicación (industrial, naval, entre otras).
- Forma constructiva.
- Características de la carga.
- Precisión de la regulación.
- Rango de ajuste de tensión.
- Tipos de regulación: tensión constante y/o tensión y frecuencia constante.
- Momento de inercia GD

4.2.- CARACTERISTICAS DE LOS GENERADORES SINCRONOS

a- Tensiones nominales

En la tabla que sigue a continuación se expresa las tensiones nominales del régimen y las correspondientes tensiones nominales de los generadores. En todos los casos, el valor de la tensión nominal del generador se elige un 5% más elevada que la tensión del régimen de la red, con objeto de poder compensar e la parte de caída de tensión hasta el consumidor.

Actualmente para grandes potencias, existe la tendencia de elevar las tensiones nominales de los generadores. Debido a mucho material aislante, El precio de los generadores resulta muy elevado. Sin embargo, en ciertas circunstancias puede resultar económico prever estas elevadas tensiones

de funcionamiento de los generadores; por ejemplo, en el caso de la red de alta tensión de una gran ciudad, alimentada directamente a 20 kV con un generador a esa misma tensión, ya que entonces se puede prescindir de los transformadores en la central.

Tabla N° 1 - tensiones nominales de los generadores trifásicos síncronos

Tensión de régimen (v)	Tensión nominal de los generadores (v)
125	130
220	230
380	400
500	525
1000	1050
3000	3150
5000	5250
6000	6300
10000	10500
15000	15750

b- Velocidades Nominales

Las velocidades normales de los generadores síncronos vienen determinadas por la velocidad de la maquina motriz y por la frecuencia, en función al número de polos, de acuerdo con la siguiente expresión.

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \text{ RPM}$$

Donde f es la frecuencia de la red en Hertzios y p numero de polos.

c- Potencia de los Generadores

En función a sus dimensiones, la potencia de los generadores trifásicos síncronos, viene expresada por la siguiente fórmula aproximada.

$$P = 5d^2.l.n \quad KVA$$

d = diámetro interior del estator en cm.

l = longitud del hierro del estator en cm.

n = velocidad de rotación en RPM.

Por lo tanto, para una velocidad dada, la potencia máxima está fijada por los valores de l y de d. El diámetro d está determinado por el valor máximo de la velocidad periférica y la longitud l, por consideraciones de orden mecánico y por la necesidad de una eficiente refrigeración

d- Velocidad de Embalamiento

Si el par resistente opuesto al par motor de la máquina motriz, se anula, sin que intervengan los órganos de regulación, la velocidad aumenta hasta un valor máximo denominado velocidad de embalamiento y, también, velocidad de fuga.

Se denomina coeficiente de embalamiento a la relación entre la velocidad de fuga y la velocidad nominal, es decir:

$$K = \frac{\text{velocidad de fuga}}{\text{velocidad nominal}}$$

Esta relación tiene gran importancia para la determinación de la potencia máxima de un generador:

$$P_{max} = \frac{1.33 * 10^8}{K^2 n}$$

flc

Y, también, para calcular el dimensionado de un generador dada una determinada potencia. Según el tipo de máquina motriz, el valor de k tiene diferentes valores.

El conocimiento del coeficiente k tiene, sobre todo, un valor decisivo en la determinación de las características constructivas de los generadores accionados por turbinas hidráulicas, pues estas últimas máquinas tienen la particularidad de que su velocidad aumenta considerablemente cuando se descargan.

e- Momento De Inercia

El momento de inercia está definido por la siguiente relación.

$$J = MR^2 = \frac{GD^2}{4g} \text{ Kg} - m^2$$

M = masa de las piezas en movimiento en kilogramo.

R = radio del rotor en m.

G = peso de las piezas en movimientos en newton.

D = diámetro del rotor en m.

g = aceleración de la gravedad = 9.81 m/seg^2

Esta magnitud tiene una influencia preponderante en la determinación del diámetro del rotor, así en el peso de la maquina.

4.3.- CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Las características eléctricas de los generadores síncronos para centrales eléctricas dependen de la función atribuida a la central, en lo que a potencia activa y reactiva se refiere.

Estos generadores deben suministrar la potencia activa y la potencia reactiva de la red, de ahí la exigencia que se imponía a los mismos de poder

proporcionar la potencia nominal con un factor de potencia de 0.7. Actualmente, a los generadores de las centrales eléctricas se les fija la potencia nominal para un factor de potencia de 0.8 y en las grandes unidades se llega a valores que no bajan de 0.9.

a- Sobrecarga

Según las normas VDE-530 los alternadores síncronos deben abastecer 1.5 veces la carga nominal durante 15 segundos. En este caso a través del sistema de regulación se debe mantener la tensión muy próxima a la nominal.

Para la utilización a bordo de navíos los alternadores deben abastecer 1.5 veces la corriente nominal durante 2 minutos.

b- Cortocircuito

La relación de cortocircuito de los generadores para centrales hidráulicas, está comprendida entre 0.8 y 1.1 en los de velocidad elevada y entre 1.1 y 1.3 en los de baja velocidad. Para la relación de cortocircuito de los turbogeneradores se adoptan, en general, valores bajos, comprendidos entre 0.5 y 0.6, con tendencia a reducir este valor aún más, hacia el límite de 0.4.

Debe tenerse en cuenta que la influencia de la relación de cortocircuito sobre el dimensionado de la máquina, es bastante importante. En efecto, para un diámetro de rotor dado, la reducción del valor de esta relación significa una reducción sensiblemente proporcional de la longitud útil del hierro lo que representa un menor peso del generador y, por consiguiente, una mayor economía de adquisición, montaje, etc.

c- Rendimiento

El rendimiento de los generadores modernos es elevado y a plena carga, alcanza, según el tamaño de la máquina, de 0,94 a 0,98 correspondiendo los valores mayores a las máquinas de gran potencia. La dependencia entre el rendimiento y la carga puede deducirse de los siguientes datos, que corresponden a un generador de 20 MVA, y un factor de potencia de 0,8

4.4- TIEMPO DE REGULACIÓN DE LA TENSIÓN

Se entiende como tiempo de regulación al tiempo transcurrido desde el inicio de la caída de tensión hasta el momento en que la tensión entra en el intervalo de la tolerancia estacionaria.

El tiempo exacto de regulación, en la práctica, depende de numerosos factores por tanto puede llevarse a cabo en forma aproximada.

Por encima de las cargas nominales, es decir para incrementos muchos mayores, los tiempos pueden ser calculados proporcionalmente a la caída de tensión.

a- Comportamiento estacionario de la tensión:

Los alternadores síncronos según su circuito electrónico regulador automático de tensión (AVR) se clasifican en:

- AVR independiente de la frecuencia para alternadores normales, donde U es constante.
- AVR con regulación proporcional a la frecuencia para alternadores especiales donde u / f es constante.
- En ambos tipos proporcionan, con velocidad constante, el factor de potencia del generador entre 0.8 y 1.
- Con una variación de tensión en estado estacionario que oscila entre $\pm 1\%$ en vacío y plena carga.
- La caída de la velocidad (RPM) hasta un 5% no afecta el funcionamiento normal del alternador.

En los modelos donde se incluye un regulador especial U/f constante donde la variación de la tensión es proporcional a las rotaciones, también tienen un potenciómetro de ajuste del valor de la referencia que se puede ser ajustada en $\pm 5\%$ de la tensión nominal.

b- Vida útil de las máquinas eléctricas giratorias

Si no consideraríamos el desgaste de las piezas debido al uso, como son las escobillas, rodamientos y otros, la vida útil de las máquinas eléctricas están determinados por los materiales aislantes utilizados.

Estos materiales son afectados por muchos factores como son las vibraciones, temperatura de trabajo, ambientes corrosivos, humedad entre otros.

Con un aumento de 8 a 10 grados en la temperatura los materiales aislantes reducen su vida por la mitad.

Cuando hablamos de disminución de vida útil de la máquina nos estamos refiriendo a las temperaturas elevadas o cuando el aislante se quema y por consiguiente los arrollamientos son destruidos.

Cuando hablamos de la vida útil del aislamiento, en términos de temperatura de trabajo (dentro de la región correspondiente) nos estamos refiriendo al envejecimiento gradual del aislante que se irá resecaando perdiendo poco a poco el poder aislante hasta que no soporte más tensión aplicada y se produzca el cortocircuito.

La experiencia nos muestra que el aislamiento tiene una duración prácticamente ilimitada si su temperatura es mantenida debajo de sus límites permisibles. Por encima de éste límite la vida útil del aislamiento es afectada por que el material aislante se va deformando cada vez mas y mas (a medida que la temperatura es mas alta) hasta perder el poder de aislante. La vida de los aislamientos depende mucho de los barnices utilizados en la impregnación. Las limitaciones de temperatura están referidas al punto más caliente del aislamiento y no necesariamente al bobinado.

4.5 SELECCIÓN DE GENERADORES PARA CENTRALES HIDRALICAS

a- Características constructivas generales de los generadores para centrales hidráulicas

Los parámetros esenciales que definen los generadores para las centrales hidráulicas son:

- Potencia activa (o la potencia aparente y el factor de potencia)
- La tensión y la reactancia sincronía (o la relación de cortocircuito)

Además hay que considerar que:

- La velocidad nominal, que resulta de las características de la caída y, hasta cierto punto, de la elección del tipo de turbina.
- La velocidad de empalamiento, resultante de la elección de la turbina.
- El momento inercia, resultante de la elección de la turbina.
- La posición geométrica (eje vertical u horizontal).

Todos estos parámetros influyen en la dimensión del generador. Con este a de construirse en función del caudal y de la altura de salto del agua, así como el tipo de turbina elegido.

De esta forma nos encontramos con una amplia gama de potencia que, en los generadores accionados por turbinas **Pelton** y **Kaplan** están comprendidos entre 5 MW y 200 MW, y de los generadores accionados por turbinas **Francis**, se extiende desde 5 MW a 600MW.

Las velocidades nominales están comprendidas entre 94 RPM y 750 RPM.

b- **La elección del factor de potencia** depende de la posición de la central respecto a la red distribuidora y de otros centros de producción;

Como generalmente la potencia reactiva que han de suministrar los generadores accionados por turbinas hidráulicas es pequeña, el factor de potencia sobrepasa casi siempre el valor de 0.85.

c- **Los procedimientos de refrigeración** de los generadores para centrales hidráulicas, por causa de las menores velocidades de los generadores accionados por turbinas hidráulicas, lo que significa por otro lado, menores pérdidas por unidad de superficie: 0.6 a 0.75 W/cm^2 para los grandes generadores de más de 8 polos por unos 4 W/cm^2 .

Por esta razón, no parece necesario actualmente, excepto en casos excepcionales, recurrir para la refrigeración de los generadores de centrales hidráulicas, a otros fluidos distintos al aire atmosférico. Cada vez se utiliza más

la refrigeración por circuito cerrado con refrigeradores de aire por circulación de agua.

d- Disposición de los generadores para centrales hidráulicas.

En los grupos accionados por **turbinas pelton**, con disposición de eje horizontal, el rodete se monta corrientemente en la extremidad del árbol del generador, y solamente para grandes potencias se pueden prever 2 rodetes montados respectivamente en cada extremidad. El grupo se apoya así sobre dos soportes solamente y su longitud es reducida.

En los grupos accionados por **turbinas Francis**, el rodete va montado sobre el extremo del eje del alternador, lo cual exige que uno de los cojinetes del generador soporte el empuje axial de la turbina. El generador lleva entonces un cojinete que resista a la presión axial.

e- Cuando se trata de grandes potencias se adopta generalmente el alternador con eje vertical tanto para turbinas Pelton como para turbinas Francis o Kaplan.

4.6 REGULADOR AUTOMATICO DE VOLTAJE (AVR)

Los reguladores automáticos de voltaje (AVR), son unos dispositivos electrónicos que fueron diseñados para mantener la salida de voltaje de corriente alterna (de los generadores trifásicos ac), en valores establecidos, aun cuando la carga aplicada a los generadores sean variables (mayor ò menor). El regulador AVR es alimentado por dos bobinas auxiliares localizadas en el estator.

ESQUEMA PICTORICO DE UNA TARJETA AVR MODELO: R438S PARA GENERADOR MARCA LEROY SOMER

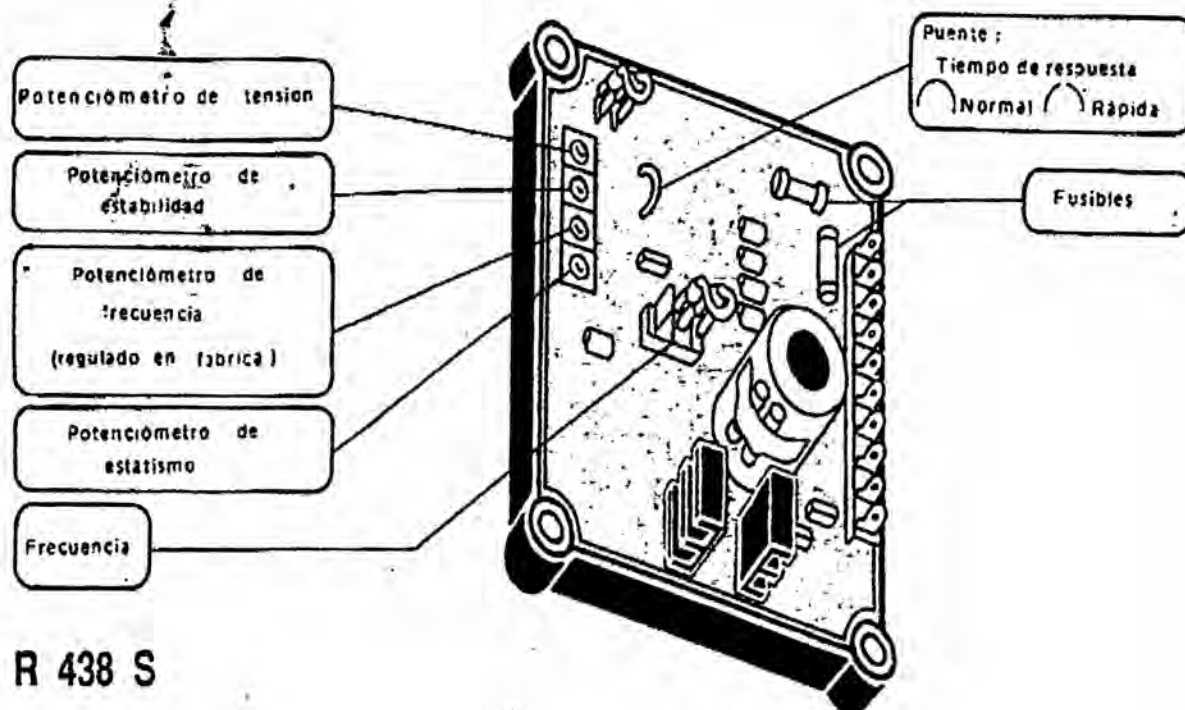


Fig. N° 01 Muestra los terminales de una tarjeta MARCA LEROY SOMER

4.7- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL AVR EN EL GENERADOR LEROY SOMER

Una de las bobinas (5A) con características de derivación (entregando un voltaje proporcional al voltaje de salida del alternador); y el otro (5B) con características de serie (entregando un voltaje proporcional a la salida de corriente del alternador).

Al arrancar el magnetismo residual, crea una corriente en la armadura, excitadora (excitatriz (1). Esta corriente es rectificadas por los diodos rotatorios (2) y alimenta el campo principal (rueda polar) (3).

El voltaje inducido en la bobina auxiliar (5A) (monofásico) es luego usado para incrementar el voltaje de excitación, vía el regulador AVR (6), al campo excitador (7) para asegurar un suministro de salida de voltaje rápido y uniforme en la bobina principal del estator (4).

El voltaje para el regulador AVR es tomado desde los terminales de salida. En carga, sobrecarga o corto circuito, la bobina auxiliar (5B) proporciona una tensión de excitación adicional (efecto reforzador).

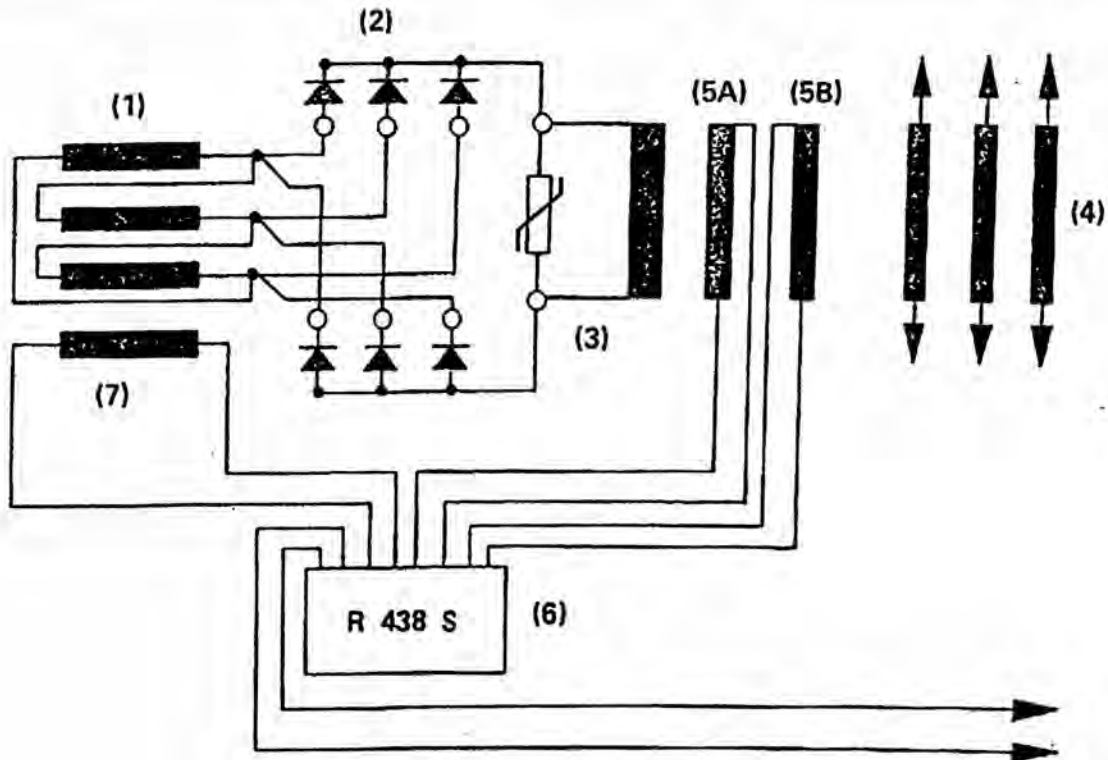


Fig. N° 02 Diagrama Esquemático del Generador Leroy Somer

4.8 GENERADORES TRIFÁSICOS DE AC

Vamos a definir, muy resumidamente, varios conceptos fundamentales que se refieren al funcionamiento de los generadores trifásicos síncronos; aunque algunos de estos conceptos ya han sido estudiados, solo veremos cómo deben ser instalados los generadores, para este caso tomaremos como ejemplo un alternador Leroy Somer.

El generador síncrono es un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica (en forma de rotación) en energía eléctrica. El generador síncrono está compuesto principalmente de una parte móvil o rotor y de una parte fija o estator. El rotor gira recibiendo un empuje externo desde un motor primo. Este rotor tiene acoplada una fuente de "corriente continua" de excitación independiente variable que genera un flujo constante, pero que al estar acoplado al rotor, crea un campo magnético giratorio, que genera un sistema trifásico de fuerzas motrices en los devanados estatóricos.

Handwritten signature

➤ **accesibilidad para regulación y mantenimiento de componentes**

Para facilitar el acceso a los diodos rotatorios y al regulador de voltaje AVR, se a dejado un espacio adecuado alrededor de los paneles laterales y lumbreras de ingreso de aire para la ventilación.

4.9- MANTENIMIENTO.

a- Circuito de ventilación

Es recomendable que no este restringida la circulación del aire refrigerante, por obturación parcial de las rejillas de aspiración y salida del barro, trapo, hollin, etc.

b- Rodajes

Los rodajes son lubricados y sellados de por vida (la vida del rodaje es de 20000 horas ò 3 años).

La tolerancia de temperatura del rodaje es:

Periódicamente verificar que la temperatura de los rodajes no exceda de 40°C por encima de la temperatura ambiente. Si fuera más alta, es necesario detener el grupo y proceder a una inspección general.

c- Ruidos anormales

La generación de ruidos normales y vibraciones pueden ser el resultado de desgaste y/o daño del rodaje. Es mejor reemplazarlo para evitar algún riesgo que pueda ocasionar un daño serio en el alternador.

El ruido anormal puede ser causado por el desalineamiento.

Los alternadores, monofásicos y trifásico, proveen cargas des balanceadas son muy ruidosos y tienen más vibraciones que los alternadores trifásicos con carga balanceada. Igualmente los generadores que son conectados en zig zag son más ruidosos que los alternadores trifásicos con carga balanceada.

94

4.9.1 CONTROLADOR DIGITAL PARA GENERADORES: Sincronización – Reparto de Carga - Recorte de Picos

a- Generador Digital

El Controlador Digital para Generadores tiene integradas todas las funciones para controlar un solo generador o varios generadores conformando una planta de generación. El Controlador está diseñado con las últimas tecnologías para lograr sistemas robustos confiables y durables

Este puede utilizarse para plantas de generación fija, móvil, de alquiler u otras configuraciones de plantas de generación eléctrica

b- Aplicaciones:

- Generadores Aislados
- Un Generador + Una RED
- Múltiples Generadores y Múltiples Redes.
- Control de Interruptores de Acople

c- Funciones Integradas:

- Sincronización
- Transferencia y Retransferencia Automática
- Transferencia y Retransferencia Transparente
- Recorte de Picos
- base Carga.
- Comunicación J1939

Regulador de Voltaje Generador Digitales Analógicos Controles

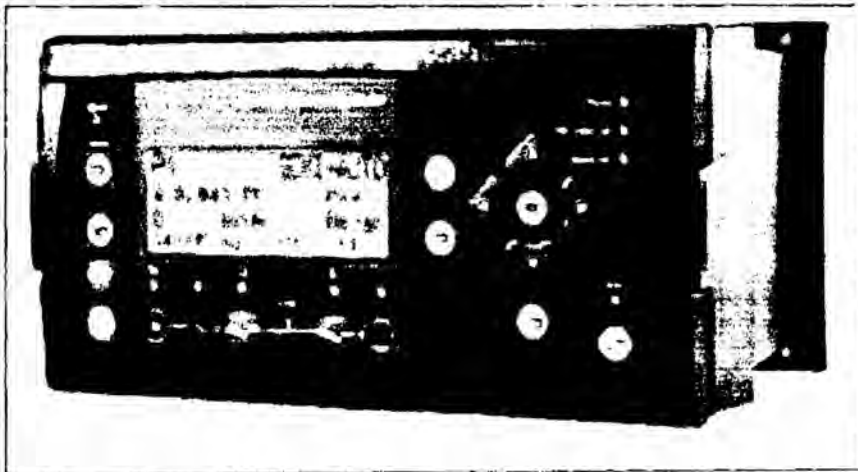


Fig. N° 03 Controles de un regulador de voltaje para generador

AGC Sincronización, Control de Potencia, Reparto de Carga, Recorte de Picos

- a- Protección del generador
- b- Regulador Digital de Voltaje para Generadores, Reguladores Analógicos
- c- Controles para Generadores; Sincronización, Reparto de Carga, Recorte de P de P

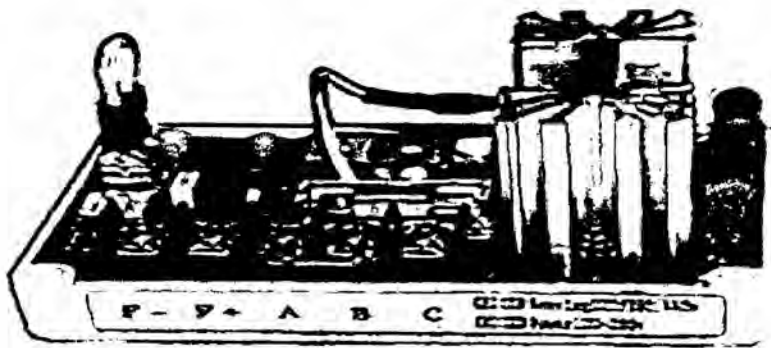


Fig. N° 04 AVR-5 Regulador Analógico 5 Ampe

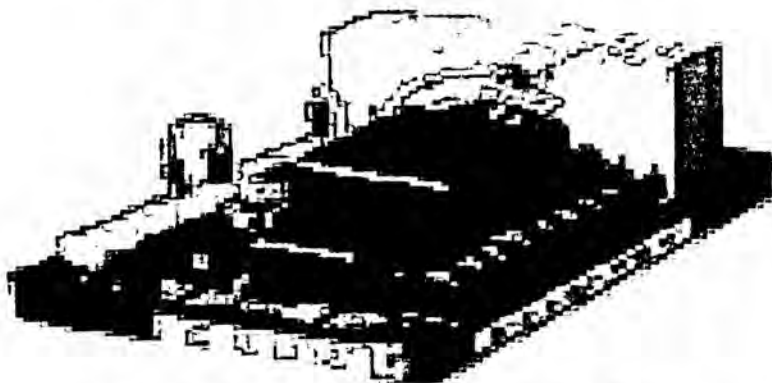


Fig. N° 05 AVR-15 Regulador Analógico 15 Amper

es

4.9.2- CONTROLES PARA GENERADORES DE ENERGIA

Plantas de generación Completas paralelo de múltiples Generadores
Modernizaciones Sistemas de Generación: con Excitación Estático Digital

a- Principales Características

- Nueva Generación de tecnología digital con micro controlador de alta velocidad.
- Estado de potencia robusta con Transistores
- Regulación de alta precisión.
- Funciones de paralelo y regulación de factor de potencia
- Completamente configurable con funciones de protección integradas.
- Configuración Dual ajustable desde computador o en el regulador.
- Configuración en el regulador con "DIP Switch" Interface Serie RS-232 o RS-485

b- Regulador Analógico de Voltaje, Principales Características

- Regulación $< \pm 1\%$
- Censado Trifásico o Monofásico
- Para uso con paralelo de generadores
- Funciones de ajuste de voltaje y droop
- Arranque suave con rampa de tensión
- Protección por baja frecuencia

Disponemos de más de 30 tipos de reguladores desarrollados profesionalmente. Estos sobresalientes reguladores de voltaje para generadores constituyen un reemplazo de alta calidad de los reguladores originales de las primeras marcas.

Estos reguladores de voltaje son adecuados para uso con diferentes tipos de excitatrices. Tales como auto excitado, excitación separada, excitación con bobinado auxiliar, etc.



**c- GCORE Controlador Digital para Generadores - Sincronización -
Reparto de Carga - Recorte de Picos**

Generador Digital Controller

El Controlador Digital para Generadores tiene integradas todas las funciones para controlar un solo generador o varios generadores conformando una planta de generación. El Controlador está diseñado con las últimas tecnologías para lograr sistemas robustos confiables y durables

Este puede utilizarse para plantas de generación fija, móvil, flotas de alquiler u otra configuración de plantas de generación eléctrica

Aplicaciones:

- Generadores Aislados
- Un Generador + Una RED
- Múltiples Generadores y Múltiples Redes
- Control de Interruptores de Acople

Funciones Integradas

- Sincronización
- Transferencia y Retransferencia Automática
- Transferencia y Retransferencia Transparente
- Recorte de Picos
- base Carga.
- Comunicación J1939

d- Modernización de Generador Siemens -- Regulador de Voltaje

La Tecnología Digital de Brushless le permite controlar el voltaje de cualquier generador. En esta aplicación un generador Siemens es controlado por nuestro DVR-1. El antiguo sistema de control fue reemplazado en pocas horas y el generador estaba listo funcionando a máxima potencia con regulación de voltaje precisa y estable.

El viejo sistema de regulación defectuoso fue reemplazado con nuestro

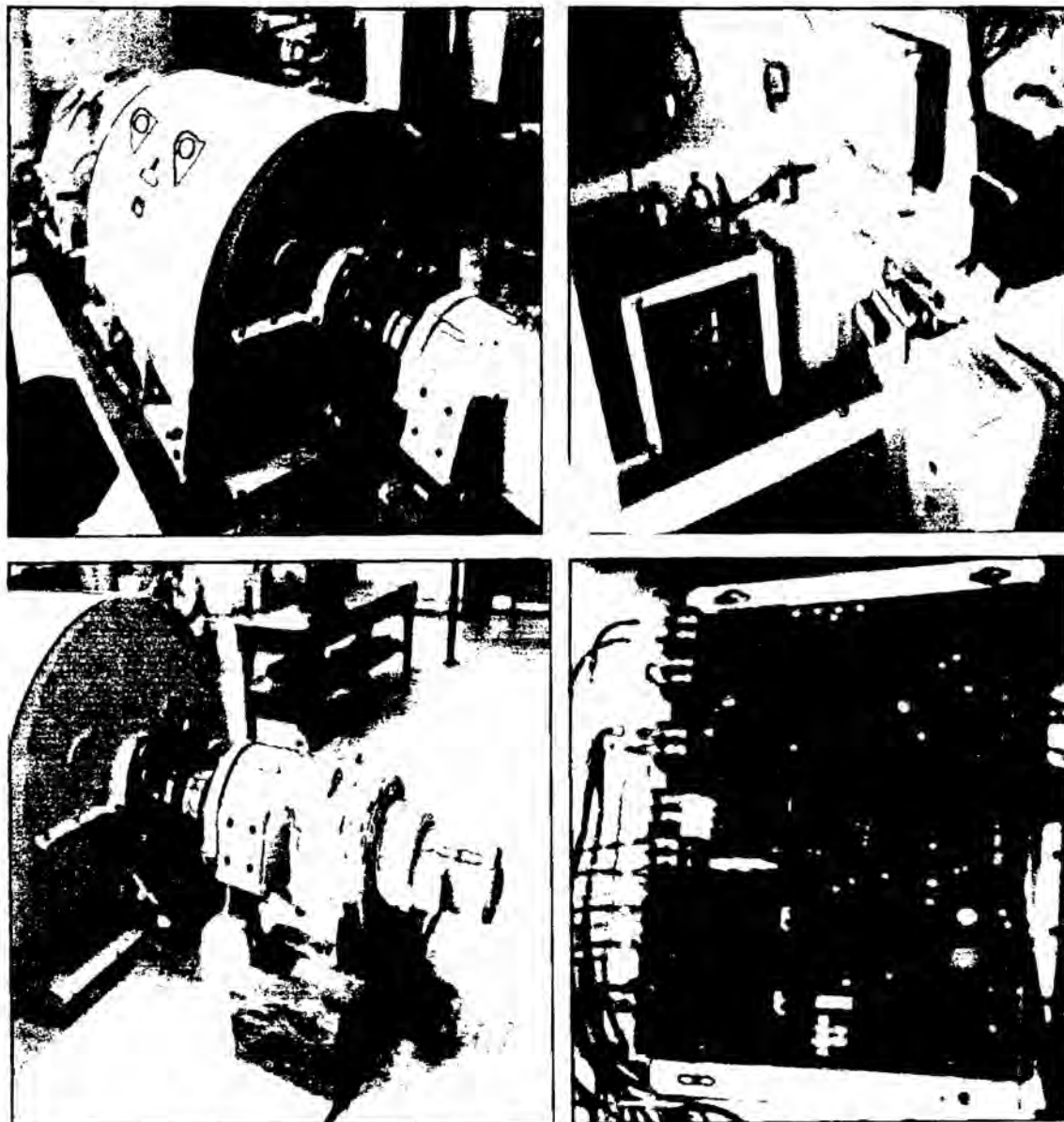


Fig. N° 06 Se muestra: a- Alternador, b- Sistema de control antiguo, c- la excitartriz del alternador y d- el control impreso de esta central

e- Análisis de Resultados

➤ Simulación del generador en lazo abierto:

Se realizó la simulación para el sistema en lazo abierto utilizando el modelo lineal implementado en MATLAB. La entrada al sistema fue un incremento en la tensión de excitación del 10%. El tiempo de establecimiento es alto para la tensión en bornes y para la velocidad angular. Esta respuesta transiente es nociva para las cargas conectadas al sistema porque existen equipos altamente sensibles a los cambios en la tensión como las máquinas de

9

inducción, cuyo par mecánico es proporcional al voltaje al cuadrado. Es decir si la tensión cae x fracción, el par mecánico cae x^2 fracción, lo que conlleva a calentamiento en los devanados y reducción de la vida útil.

Por otro lado muchos sistemas industriales utilizan relojes sincronizados con la línea de alimentación de 60 ciclos, es decir una frecuencia angular de 377 rad/s. Si la frecuencia cambia u oscila bruscamente dichos sistemas salen de sincronismo.

Así, las respuestas obtenidas en la simulación no son admisibles en un sistema de potencia.

➤ **Simulación del generador en lazo cerrado controlado**

Se realizó la simulación para el sistema lineal en lazo cerrado utilizando MATLAB y para el sistema no lineal utilizando SIMULINK. La entrada del sistema en ambos casos fue un incremento en la tensión de excitación del 10%.

Los tiempos de establecimiento y las oscilaciones tanto en tensión como en frecuencia son mucho menores que en lazo abierto. Esto lleva a una mejora en el comportamiento del sistema de potencia porque las oscilaciones de potencia activa y reactiva en las líneas son menores. Con esto se evita que las protecciones del sistema de potencia operen ante cambios en las consignas de las máquinas generadoras; así mismo, se evitan fluctuaciones grandes en tensión y frecuencia que afectan las cargas del sistema.

Sin embargo el esfuerzo de control para el caso no lineal es muy grande; esto implica altas cantidades de energía que deben manejar los sistemas de excitación de los generadores elevando su costo.

El esfuerzo de control en el sistema lineal alcanza valores más altos al incrementarse la potencia activa del punto de operación. Lo mismo sucede con la simulación no lineal. En todos los casos el sistema es estable aunque cambie el punto de operación, lo cual le otorga robustez al controlador diseñado.

➤ **Simulación del generador en lazo cerrado controlado**

Se realizó la simulación para el sistema lineal en lazo cerrado utilizando MATLAB y para el sistema no lineal utilizando SIMULINK. La entrada del sistema en ambos casos fue un incremento en la tensión de excitación del 10%.

Este nuevo controlador ofrece las mismas ventajas respecto al sistema de potencia como el controlador del diseño 1. El comportamiento del esfuerzo de control es similar que en el caso del diseño 1, es decir, este aumenta al incrementar la potencia del punto de operación.

Al comparar los esfuerzos de control para ambos diseños, en sus correspondientes valores de potencia activa, se observa que siempre son menores los obtenidos con el diseño 2. Esto implica menores cantidades de energía y costos para operar los generadores. Por lo tanto se logra una respuesta transiente similar en los dos casos, pero con un menor esfuerzo de control en el caso 2.

La robustez de los controladores se asegura por un buen comportamiento del sistema ante la presencia de incertidumbres. En este trabajo, se observa que el sistema sigue siendo estable aunque cambien el punto de operación para el cual los controladores fueron diseñados. Es decir, el sistema continúa manteniendo las especificaciones en presencia de cambios en las condiciones iniciales del sistema

4

V.- MATERIALES Y MÉTODOS

5.1- REGULADOR AUTOMATICO DE VOLTAJE (AVR) DE UN GENERADOR SINCRONO

En la actualidad los reguladores automáticos de voltaje (AVR) son dispositivos electrónicos que regulan o que mantienen el voltaje de la salida de un generador a un valor estable y no permite que haya variaciones en el mismo aun cuando al generador se le aumente o disminuya la carga

La maquina síncrona es un conversor de energía mecánica-eléctrica constituida de dos devanados, uno de los cuales se conectara a la red eléctrica a frecuencia fija ω_s (CORRIENTE ALTERNA), y mientras el otro es conectado al circuito de excitación (CORRIENTE CONTINUA). Proveniente de la tarjeta reguladora automática de voltaje. (AVR).

a- CONCEPTO DEL REGULADOR AUTOMATICO DE VOLTAJE (AVR)

Es una tarjeta electrónica que constituida por diferentes dispositivos electrónicos, que en conjunto mantienen un voltaje constante.

Este dispositivo electrónico deberá estabilizar instantáneamente cualquier cambio de tensión automáticamente, permaneciendo dentro de los límites permisibles.

Deberá actuar rápidamente ante oscilaciones repentinas de carga, cortocircuitos, caídas de tensión de líneas y perturbaciones de cualquier tipo.

b- COMPORTAMIENTO ESTACIONARIO DE LA TENSION

Los alternadores síncronos según su circuito electrónico, regulador automático de tensión (AVR) se clasifican en:

- AVR independiente de la frecuencia para alternadores normales, donde U es constante.
- AVR con regulación proporcional a la frecuencia para alternadores especiales donde U / F es constante.

En ambos tipos proporcionan, con velocidad constante, el factor de potencia del generador entre 0.8 y 1. Con una variación de tensión en estado estacionario que oscila entre $\pm 1\%$ en vacío y plena carga. La caída de la



velocidad (RPM) hasta un 5% no afecta el funcionamiento normal del alternador.

En los modelos donde se incluye un regulador especial U/f constante donde la variación de la tensión es proporcional a las rotaciones. También tienen un potenciómetro de ajuste del valor de la referencia que se puede ser ajustada en $\pm 5\%$ de la tensión nominal.

c- FUNCIONAMIENTO Y TIPOS:

➤ GENERADORES AUTOEXCITADOS CON REGULACION POR UNIDAD DE CONTROL DE VOLTAJE (AVR)

Funcionamiento:

El estator principal proporciona energía para la excitación del Campo a través de la Unidad de Control de Voltaje (AVR) tipo que es el dispositivo para regular el nivel de excitación que requiere el campo según carga aplicada. La AVR responde a la señal derivada del los devanados del estator principal. Al controlar la potencia baja del campo de excitación, se consigue el control de la potencia alta exigida por el campo principal mediante la salida rectificada del estator de excitación.

UNIDAD CONTROL DE VOLTAJE

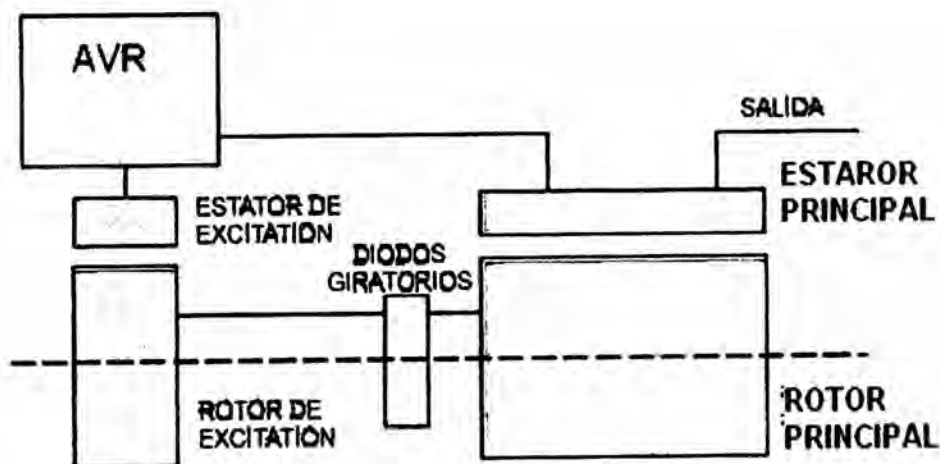
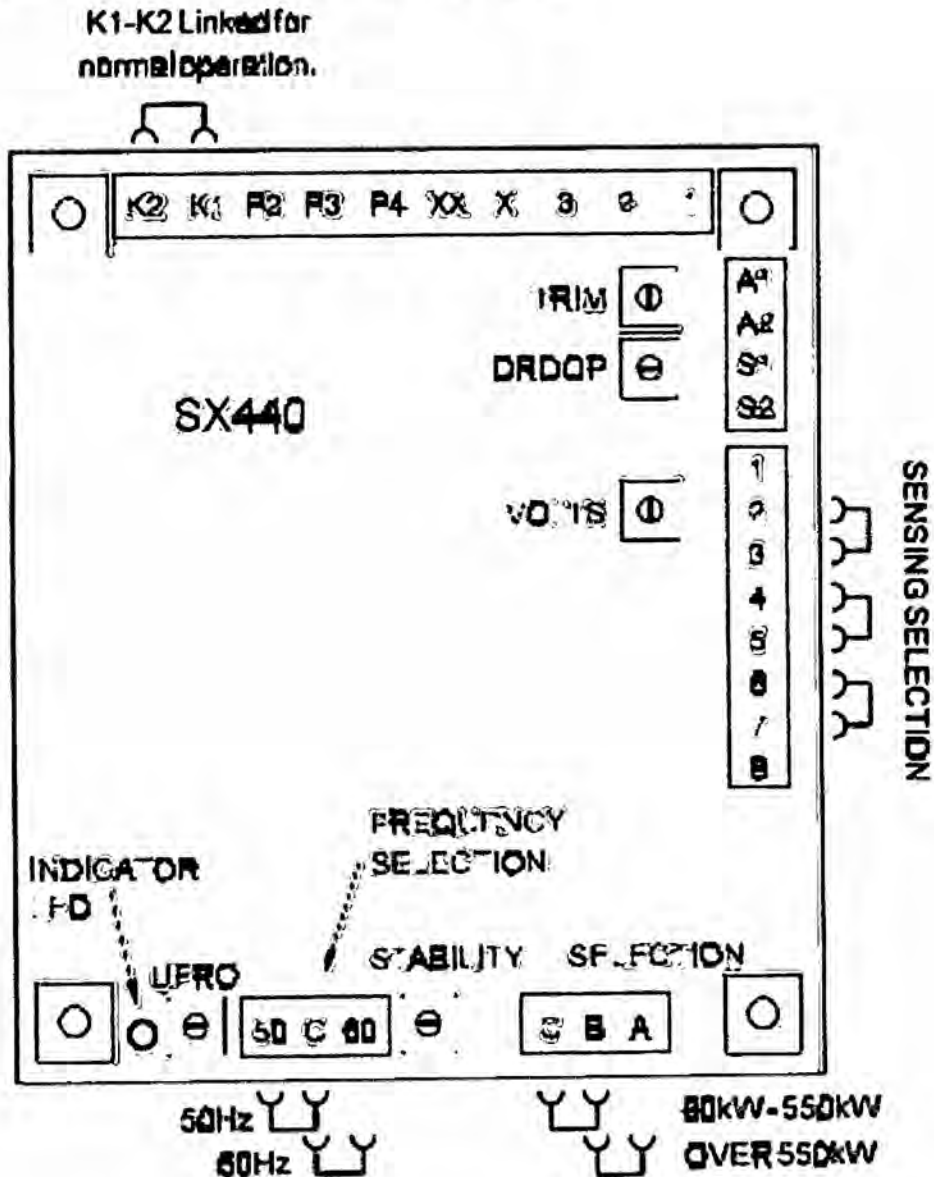


Fig. N° 07 Diagrama Esquemático de los componentes del sistema de control

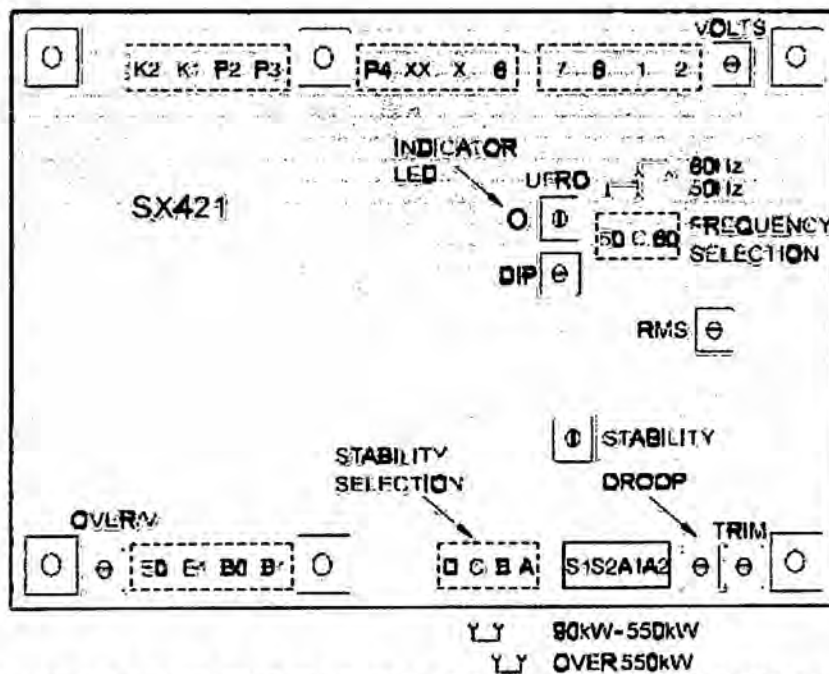
Este tipo de generadores para su control son utilizados los siguientes tipos de tarjetas avr para generador trifásico:

- La **AVR SX440** detecta la tensión media entre dos fases para regular la tensión de salida dentro del margen establecido. Adicionalmente, detecta la velocidad del motor de accionamiento y proporciona una caída de tensión en proporción a la caída de frecuencia por debajo de un punto ajustable, evitando así una sobreexcitación y facilitando un alivio al motor de accionamiento en caso de golpes de carga.



- La **AVR SX421** añade, adicionalmente a las prestaciones de la AVR SX440, la detección trifásica en media cuadrática y incluye también una protección contra sobre voltaje cuando se emplea en conjunto con un interruptor externo montado en el cuadro de maniobras.

Handwritten signature



> **GENERADORES EXCITADOS POR IMAN PERMANENTE (PMG) - CONTROLADOS POR AVR.**

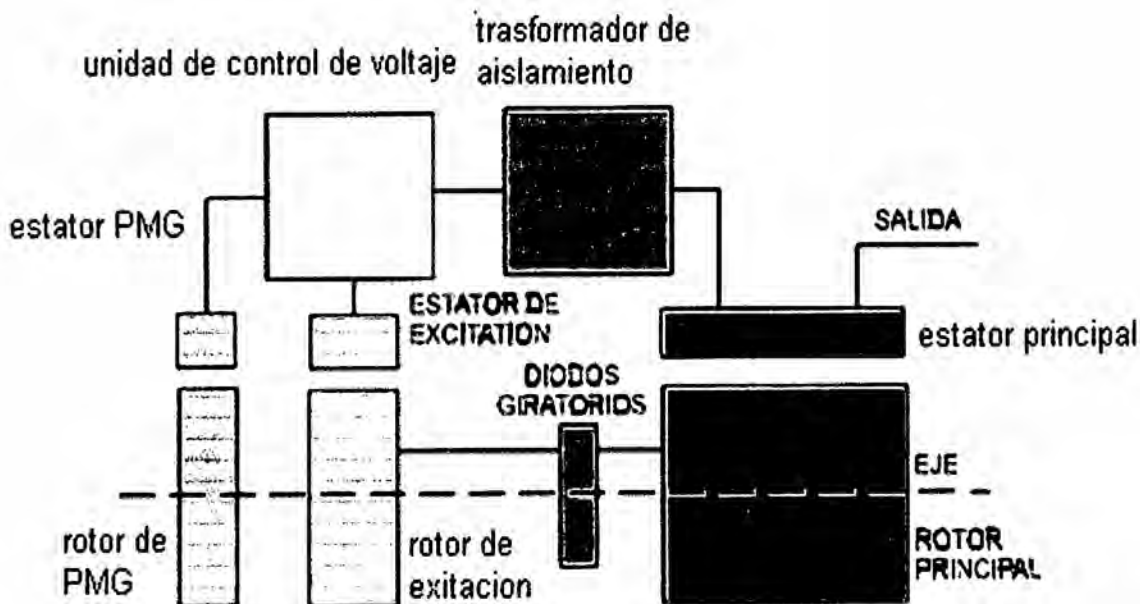


Fig. N° 08 Diagrama Esquemático de un sistema de control con imanes

Funcionamiento:

El imán permanente proporciona potencia al campo de excitación a través de la AVR (MX341 ó MX321), que es el dispositivo para regular el nivel de excitación que requiere el campo según carga aplicada. el AVR responde a la señal derivada, en el caso de la AVR MX321 a través de un transformador de

aislamiento, del devanado principal. Al controlar la potencia baja del campo de excitación, se consigue el control de la potencia alta exigida por el campo principal mediante la salida rectificada del estator de excitación. El sistema por imán permanente proporciona una fuente de excitación constante e independiente de la salida del estator principal, una alta capacidad en cuanto a arranque de motores eléctricos, así como una inmunidad a distorsiones de la forma de onda en la salida del estator principal creadas por cargas no lineales, es decir, motores eléctrico de c.c. controlados por tiristores y sistemas de UPS.

> **RECONOCIMIENTO DE UNA TARJETA AVR PARA GENERADOR STAMFORD**

1. Selección de Frecuencia

Frecuencia 50 Hz Puente C-50

Frecuencia 60 Hz Puente C-60

2. Selección de Estabilidad

Modelos HC4/5 Puente B-C

Modelos HC6/7 Puente A-B

3. Selección de Sensibilidad

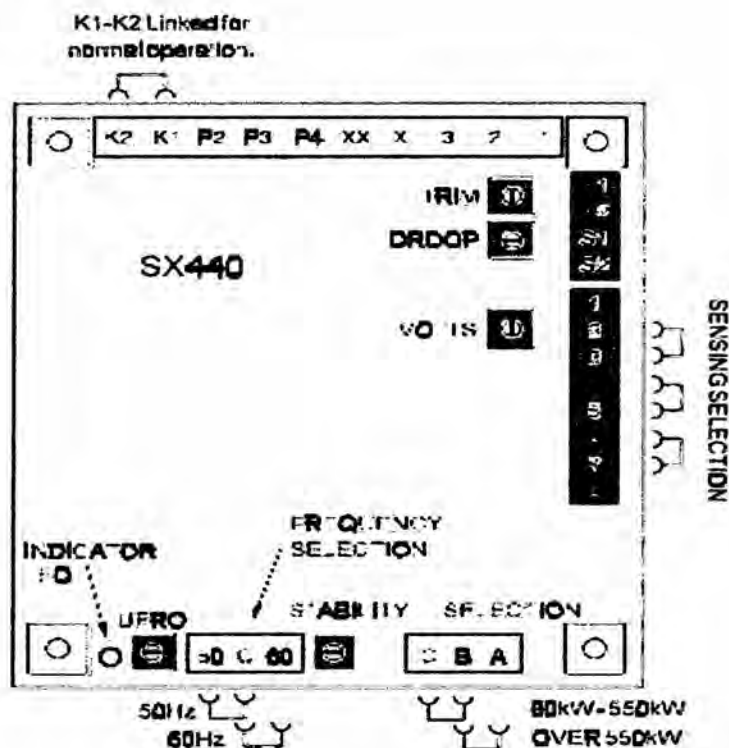
Puente 2-3

Puente 4-5

Puente 6-7

4. Interrupción de Excitación

Puente K1-K2



➤ **PRUEBAS CON CARGA DE LAS TARJETAS AVR:**

La AVR lleva incorporado un circuito de protección contra baja velocidad, el cual facilita unas características de voltaje/ velocidad (Hz) como ilustrado a continuación: El potenciómetro de control ajusta el "punto de baja

Velocidad". Síntomas de un ajuste incorrecto son a) el diodo luminoso (LED) que se encuentra justamente por encima del potenciómetro de control está permanentemente encendido cuando el generador está con carga, y b) pobre regulación de voltaje con carga, es decir, operando en la región de la inclinación indicada en la ilustración.

Un ajuste hacia la derecha reduce el punto de baja velocidad y apaga el LED. Para un ajuste óptimo, el LED debería iluminarse en cuanto la frecuencia cae justamente por debajo de la frecuencia nominal, es decir, 47 Hz en generadores a 50 Hz ó 57 Hz en generadores a 60 Hz.

➤ **(Sobre voltaje) AVRs tipo SX421 y MX321**

Un circuito de protección contra sobre voltaje está incorporado en la AVR para cortar la excitación del generador en el caso de detectar un fallo en el voltaje de referencia. La MX321 dispone de una interna des excitación electrónica, así como de una provisión de una señal para operar un interruptor externo.

La SX421 solamente proporciona una señal para operar un interruptor externo, el cual debe ser instalado en cuanto una protección contra sobre voltaje es requerida. Un ajuste incorrecto provoca el colapso del voltaje de salida del generador sin carga o al cambiar la carga, y el diodo LED está iluminado.

ACCESORIOS DE LAS DIFERENTES AVR:

La matriz a continuación indica la disponibilidad de accesorios con las diferentes AVR.

Tabla N° 2 Diferentes modelos de AVR para control

94

AVR Modelo	Juego. Marcha en paralelo	Regulador de voltaje Manual	VAr/FP Control	Limitacion de corriente
300440	✓	✗	✓	✗
300420	✓	✗	✓	✗
300411	✓	✓	✓	✗
300421	✓	✓	✓	✓

ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA TARJETA AVR

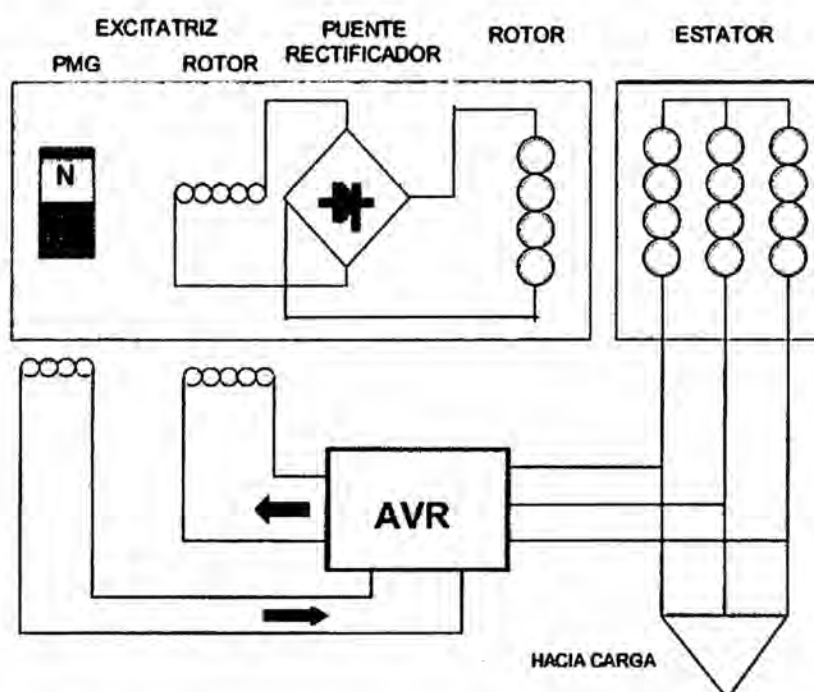


Fig. N° 09 Diagrama pictórico del conexionado de una tarjeta avr

[Firma manuscrita]

Fig. N° 08 Diagrama Esquemático de un sistema de control con imanes

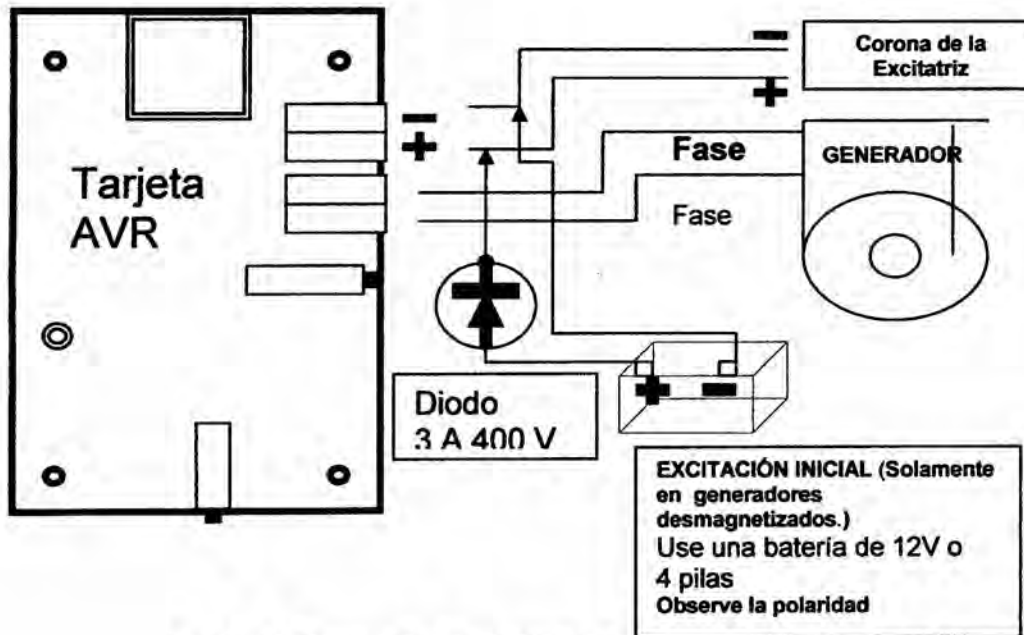


Fig. N° 10 Diagrama de conexión de los componentes de control

CONSTITUCION ELECTRICA DEL ALTERNADOR SINCRONOS CON 12 TERMINALES DE SALIDA

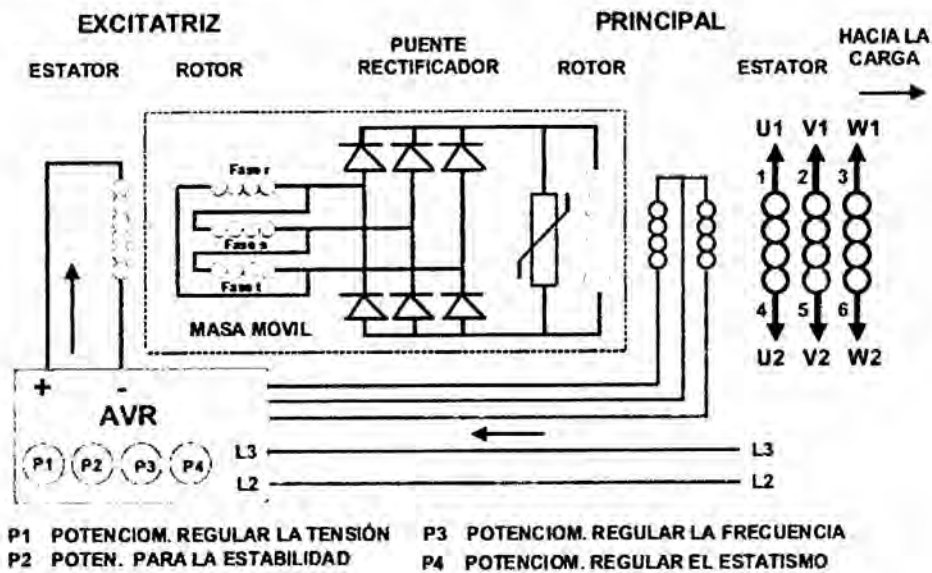


Fig. N° 11 Indicación en el AVR las distintas solidas de potencia

96

VI. RESULTADOS

6.1- Gestión de Energía Inteligente y Automatizada

Diseñado para optimizar y automatizar la operación en régimen permanente del sistema, minimizar las pérdidas, reducir el consumo de las carga pico, habilitar la gestión del lado de carga, valorar los costes de energía, y maximizar la seguridad del sistema. Aplica rutinas de optimización robusta y poderosa para determinar el mejor ajuste sobre la base de datos en Tiempo Real.

6.2 Gestión de las Reservas

El sistema de Gestión de Reservas supervisa continuamente la capacidad de operación del sistema y calcula de manera dinámica el sistema de generación versus la carga pronosticada y la balancea para asegurar la protección contra perdidas.

6.3 Control Automático de la Generación

El módulo de Control Automático de la Generación es un sistema de supervisión y control de múltiples áreas que utiliza datos en tiempo real para regular los niveles de generación de manera de mantener la frecuencia del sistema y los intercambios de potencia entre las áreas en los valores estipulados.

6.4 Despacho de Carga Económico

El programa de Despacho de Carga Económico controla los cambios en consumo de energía del sistema controlando las unidades de generación de manera de producir energía de la manera más económica.

6.5 Supervisión y Control

El sistema de Supervisión y Control realiza optimizaciones a tiempo real del estado estacionario del sistema eléctrico permitiendo a automatizar el sistema, reducir las pérdidas y reducir el pico de consumo. Los generadores de energía pueden mejorar el intercambio y aumentar la seguridad del sistema.

6.6- Características de un control automatico

- Control automático de optimización en régimen permanente
- Control inteligente de generación y distribución de carga
- Control automático de sobrecargas, sobre/subvoltajes, etc.
- Control automático de cambiadores de tap en carga, interruptores, relés, etc.
- Despacho equivalente de la generación
 - Minimización de pérdidas activas y reactivas
 - Aplanar picos
 - Minimización de penalizaciones por factor de potencia
 - Control inteligente de inhibición y permisos
 - Optimización de la reserva rodante
 - Maximización de los índices de seguridad de voltajes
 - Control de cadenas lógicas y validación de acciones
 - Valoración de los costes de energía
 - Supervisión controlada
 - Rutinas macro y lógicas amigables al usuario

6.7- SIMULADOR DE SISTEMAS DE CONTROL

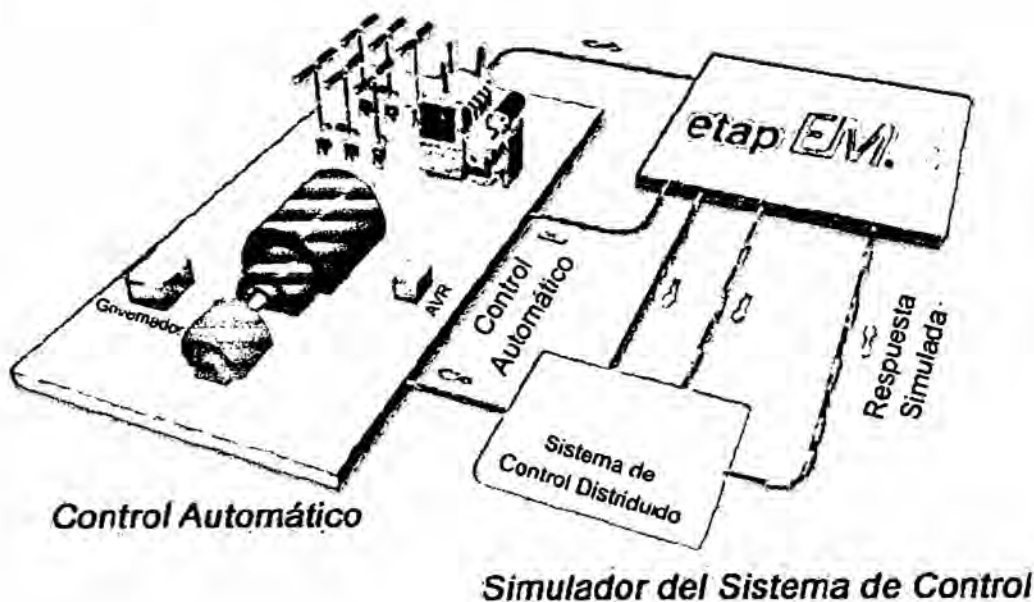


Fig. N° 12 Indicación en el AVR las distintas solidas de potencia

6.8- Control Automático de la Generación

El sistema de Control Automático de Generación calcula los parámetros o cambios necesarios para optimizar la operación de las unidades de generación. Esta aplicación utiliza datos en tiempo real tales como frecuencia, generación actual, flujo en las líneas de la red externa y estado de los controladores de las unidades de la planta para decidir los cambios necesarios en la generación. Este control también calcula los parámetros requeridos para controlar la frecuencia y proporciona los datos para mantener la frecuencia y el intercambio de energía interno y con la red a los parámetros programados. Como resultado se obtiene:

- Se Minimizan el control de errores en el área
- Se Minimizan los costes de operación
- Se mantienen los valores de generación en valores fijos
- Se mantienen las rampas de generación de acuerdo con la programación de compra/venta de energía.

Se preparan los reportes de los cálculos de rendimiento basados en los estándares de Control de Productividad (CPS) incluyendo las alarmas y el almacenamiento de eventos para análisis posteriores.

Beneficios:

- Mantener la frecuencia en los valores programados.
- Operar el sistema con el nivel adecuado de seguridad y economía.
Controlar el intercambio de energía entre redes.

➤ **Despacho de Carga Económico**

El módulo de Despacho de carga Económico realiza cambios en las unidades de generación del sistema de potencia para lograr la máxima economía en las áreas. Prepara las guías para una operación óptima del sistema eléctrico de manera de alcanzar las metas del sistema eléctrico, los requerimientos de vapor y minimizar el coste del combustible en los generadores.

La producción de energía eléctrica utiliza algoritmos avanzados de flujo de carga óptimo para determinar la mejor configuración para los generadores mientras mantiene unos márgenes de reserva adecuados en la generación del sistema. El nivel de generación de cada unidad se calcula de manera de lograr satisfacer la demanda con un coste mínimo. Se toman en consideración diferentes factores, como el hecho de que el coste de generación no es proporcional al nivel de generación, los sistemas están distribuidos geográficamente y las pérdidas de transmisión dependen de los lugares de generación.

Características:

- Verifica las restricciones en la generación para mantener reservas adecuadas.
- verifica los límites de las líneas de transmisión para evitar sobrecargas
- Características de la relación de calor típicos de cada unidad de generación
-

6.9- MODELOS DEL COSTE NO LINEAL

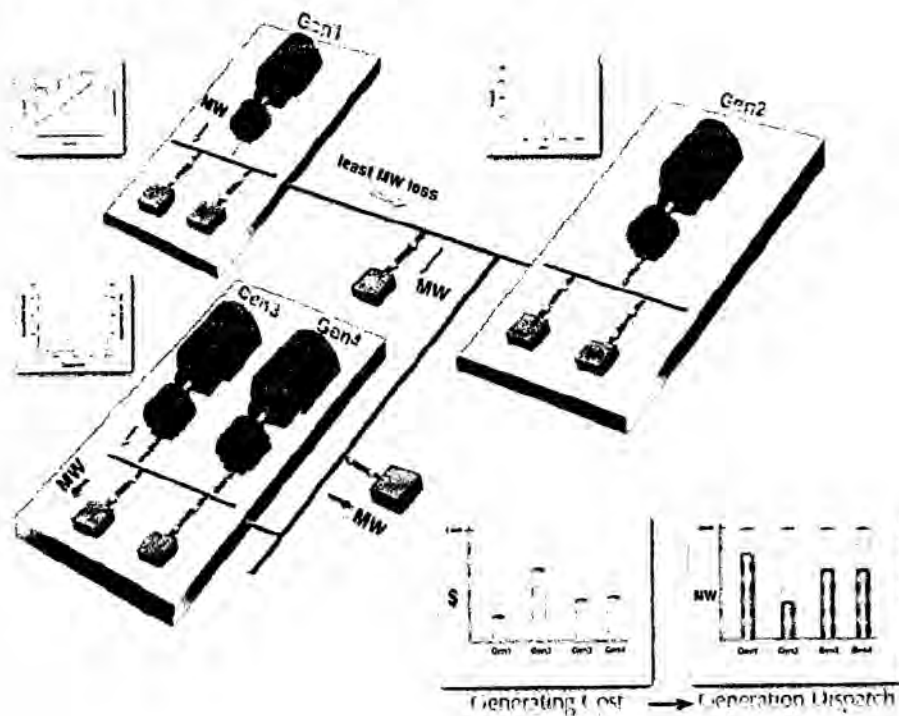


Fig. N° 13 La producción de energía eléctrica de cada generador y su costo

6.10- Supervisión y Control

El módulo permite al operador aplicar los objetivos y restricciones para lograr una operación óptima. En tal sentido, ETAP implementa controles y/o recomendaciones en función de un conjunto de objetivos predefinidos. ETAP aplica algoritmos de flujo de carga óptimo y lógicas definidas por el usuario para determinar los mejores ajustes operativos del sistema

La optimización puede ser utilizada para ayudar a los consumidores de energía para operar el sistema de manera automática y disminuir las pérdidas del sistema, reducir los picos de consumo y minimizar los ajustes del control. Para plantas de generación de energía y/o cogeneraciones, el sistema puede ser optimizado para reducir el consumo de combustible, optimizar la operación del sistema y aumentar la seguridad.

6.11- Simulador del Sistema de Control

El simulador es una herramienta automática de verificación de instrumentación y control. Esto se logra mediante el mapeo configurable de los ajustes de los dispositivos de control (gobernadores, excitación, etc.) y una simulación continua de la respuesta del sistema.

- Evaluación de ajustes de sistemas de control
- Reducción del tiempo de comisionado de los sistemas de control
- Diseño de controles robustos y más eficientes
- Capacitación de operadores para situaciones de emergencia
- Modelos dinámicos definidos por el usuario

➤ **Planificación de Intercambio de Energía**



El módulo de planificación de Intercambio de Energía proporciona la capacidad de planificar la transferencia de energía de un área a otra, considerando los servicios principales, auxiliares y el registro de las transacciones de energía.

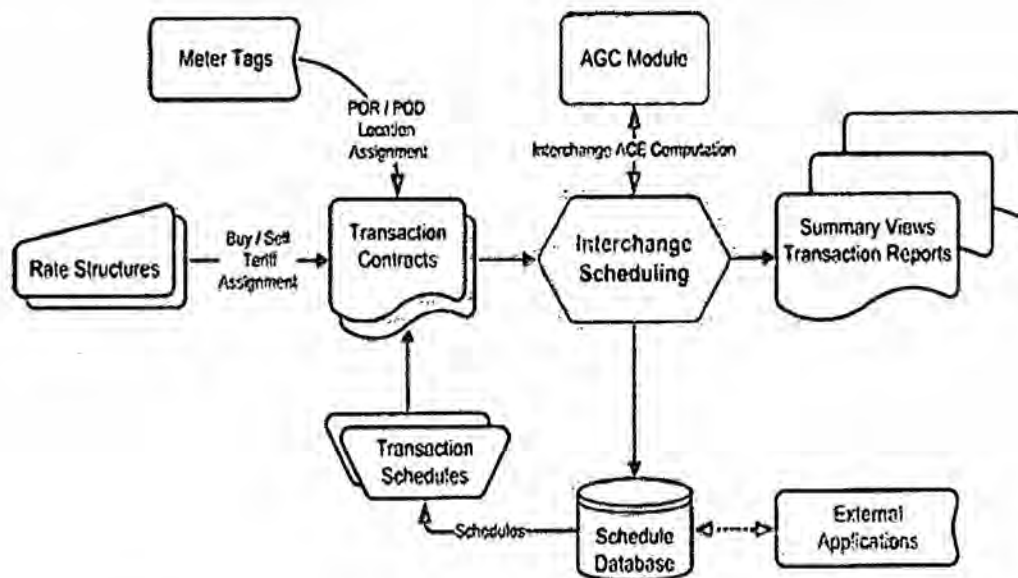


Fig. N° 14 Modulo de intercambio de energia y capacidad de transferencia

ETAP IS tiene una interfase que permite la creación rápida y sencilla de la planificación de transacciones para cada ubicación. Esta interfase le permite al usuario especificar diferentes contratos para cada área y asignar múltiples horarios sin solapamiento para cada uno. El Control de Errores de Intercambio entre Áreas le proporciona al Control Automático de Generación los cálculos necesarios.

Características:

- Crear programas de Compra/Venta detallados
- Reportes detallados de las transacciones de energía para el período especificado por el usuario.
- Evaluar los costes de energía por ubicación (región, área, zona) para múltiples transacciones.
- Herramientas de gestión de transacciones.
- reportes y análisis de costes de energía en formatos definidos por el usuario.

Gestión de la Reserva

La operación confiable de un sistema de potencia aislado o interconectado requiere que se disponga de una capacidad de reserva adecuada disponible en todo momento para mantener la operación de las cargas críticas y la frecuencia del sistema ante contingencias en el sistema.

Handwritten signature

Como parte de la Gestión de Generación y planificación del Sistema, el módulo de Gestión de la Reserva ayuda al operador a supervisar continuamente los parámetros que determinan la reserva de las zonas.

Características:

- Identificar los requerimientos de reserva
- Supervisar y mantener reguladas las reservas.
- reemplazar la capacidad de generación debido a pérdidas de suministro.
- Compensar cortes de importación de energía de otras áreas.

6.12- ASEGURAR LA OPERACIÓN CONFIABLE DEL SISTEMA.

El núcleo central de la aplicación de gestión en tiempo real es la mejor opción para sistemas eléctricos de pequeña y gran escala, centrales de generación, plantas industriales, fábricas y plataformas mar adentro. Puede determinar la respuesta apropiada del sistema ante una variedad de cambios y perturbaciones por la aplicación de parámetros físicos y eléctricos, niveles de carga y generación, topología de las redes y lógicas de control. Adicionalmente, puede determinar la fuente de problemas potenciales y recomendar la acción correctiva a fin de eliminar interrupciones del suministro eléctrico.

El sistema de Control de Consumo y Coste de la Energía le proporciona análisis detallado del consumo y del coste de la energía. Los reportes son generados en base a las tarifas eléctricas y a la información del intercambio de energía.

Reproducción de Eventos

El módulo de Reproducción de Eventos es especialmente útil en investigaciones y efecto, así como en la mejora de las operaciones del sistema y la exploración de acciones alternativas, así como para la repetición de escenarios de "*¿Que pasaría si?*"

6.13- Supervisión Avanzada

La herramienta de Supervisión Avanzada proporciona la posibilidad de supervisar en tiempo real en forma intuitiva e integrada gracias a una inteligente interfase gráfica para el usuario. Las funciones de supervisión incluyen la verificación de las condiciones de operación, estimación de estados del sistema, detección de anomalías en el sistema, y alarmas anunciadoras basadas en las condiciones de operación y cambios en el estado de la red.

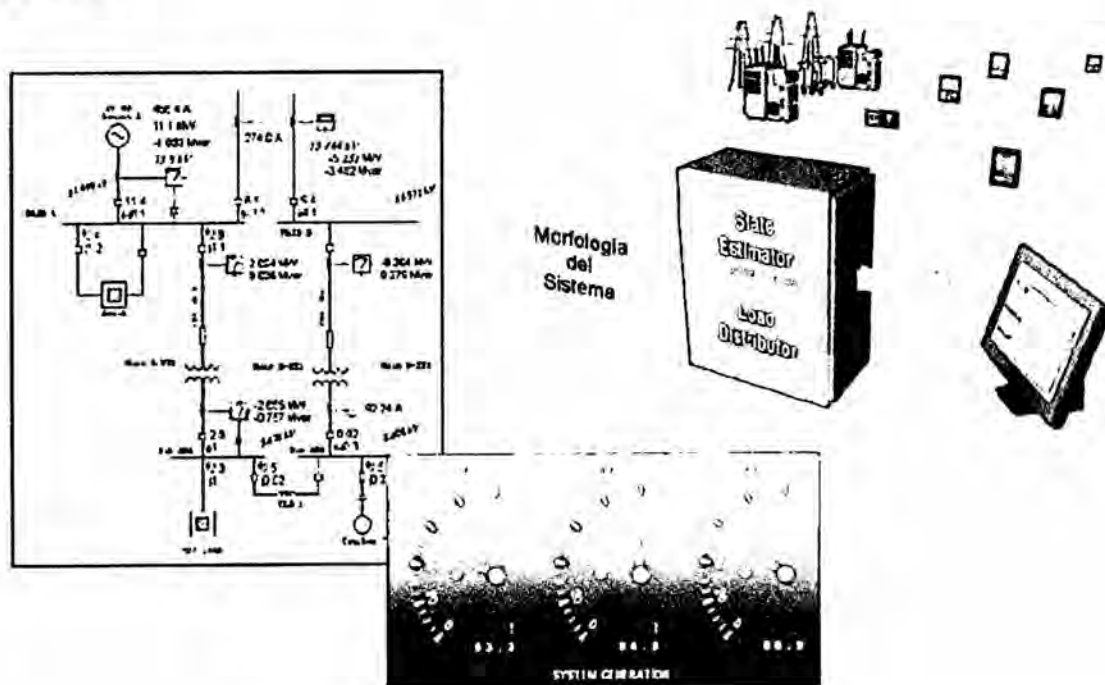


Fig. N° 15 Control de Consumo y Coste de la Energía

La capacidad le permite analizar el uso y el coste del consumo de energía y el coste/beneficio de unidades de generación, áreas completas. El ETAP puede registrar estos costes basados en funciones de costes y tarifas definidos por el usuario. El análisis de coste/beneficio y las facturas de consumo/producción se preparan para los generadores o para el intercambio de energía.

Las herramientas de contabilidad de energía proporcionan costos y consumos en línea así como comparaciones de la generación en planta, intercambio con la red externa y reservas en vacío, proporcionando reportes con los perfiles de consumo y precios

g

VII. DISCUSION

7.1- CONCLUSIONES

- Los reguladores automáticos de voltaje (AVR), queda demostrado que es una pieza importante en los generadores síncronos de ac. Por que regulan la tensión o voltaje.
- Los reguladores automáticos de voltaje (AVR), mantienen constante el voltaje de salida.
- Los reguladores automáticos de voltaje (AVR), están constituido, por piezas electrónicas, los cuales dan un resultado óptimo por cuanto al no, llevar piezas móviles su funcionamiento es muy preciso.
- Los reguladores automáticos de voltaje (AVR), deben ser instalados en partes protegidas y ventiladas por cuanto al calor excesivo dañaría los componentes electrónicos.
- La energía eléctrica se produce en los aparatos llamados **generadores** o **alternadores**.
- Los generadores síncronos o alternadores son máquinas sincrónicas que se usan para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de corriente alterna.
- Para que un generador funcione, hace falta una fuente externa de energía (hidráulica, térmica, nuclear, etc.) que haga que la bobina gire con una frecuencia deseada. Los rectificadores instalados en el rotor (diodos rotativos) son los encargados de rectificar la corriente alterna generada en la parte excitatriz, rotativa y aplica la corriente continua a los campos giratorios.
- Si la frecuencia varia entonces el número de revoluciones varia de tal manera que la tensión entre los terminales varia respecto a lo proyectado.
- Existen diferentes tipos de protecciones que deben ser utilizadas en diferentes instalaciones de generadores se busque una solución óptima; en la medida en que los equipos que hay que proteger sean de poca potencia o bajo coste, habrá que limitar el número de protecciones por razones de coherencia.
- Se sincronizo la máquina con ayuda de un tablero de luces conectados en DARK, es decir, que la maquina quedara sincronizada hasta que las luces

estén completamente apagadas, y en ese punto, se acciona el interruptor trifásico para dejar conectado el generador a la red eléctrica.

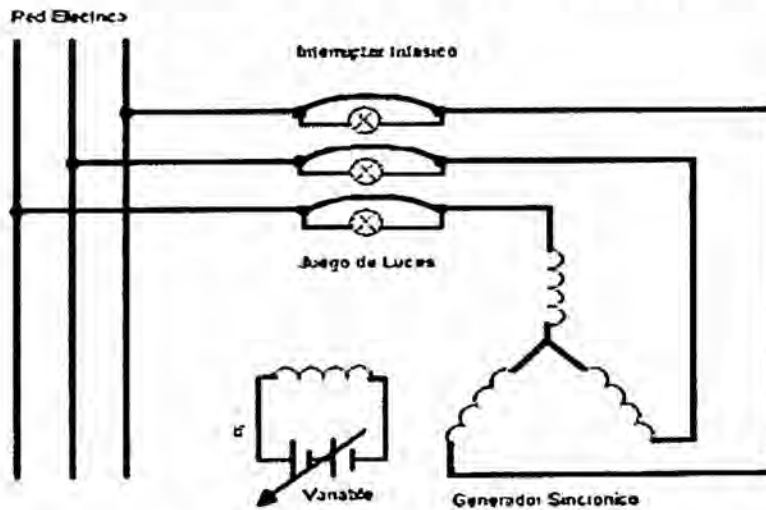


Fig. N° 16 Módulo de intercambio de energía y capacidad de transferencia

- La curva de capacidad de un generador se deriva de manera simplificada sin tomar en cuenta el efecto de saturación y despreciando la resistencia y capacitancia en los devanados. Cuando la máquina síncrona opera en sus valores nominales, es decir, valores a los cuales los devanados y el núcleo alcanzan la temperatura de régimen de diseño, se obtienen las fronteras de la región de operación dentro de la cual la máquina no sufre daño ni envejecimiento prematuro

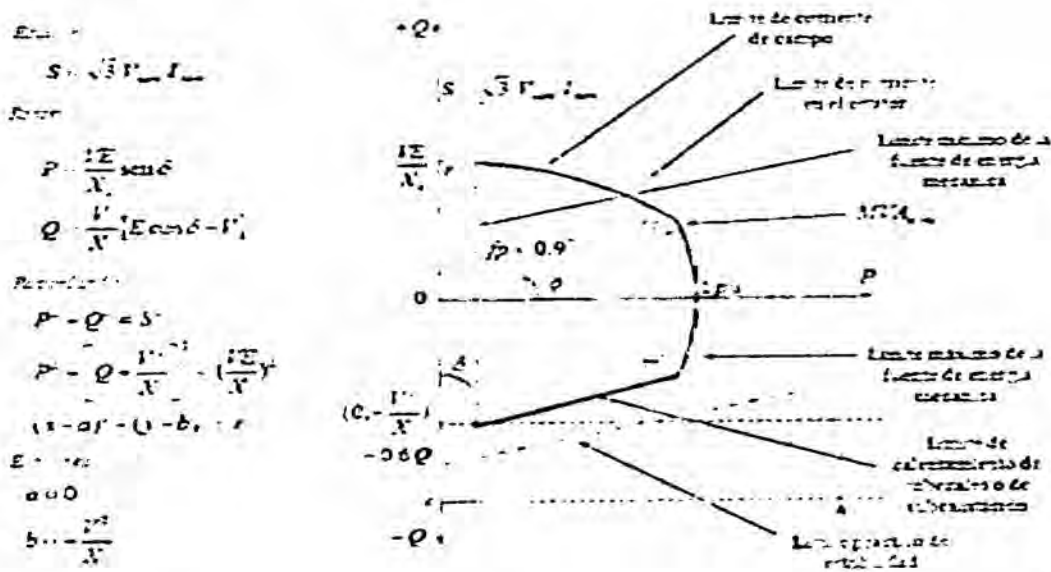


Fig. N° 17 Módulo de intercambio de energía y capacidad de transferencia

• Curva de capacidad de un generador de polos salientes

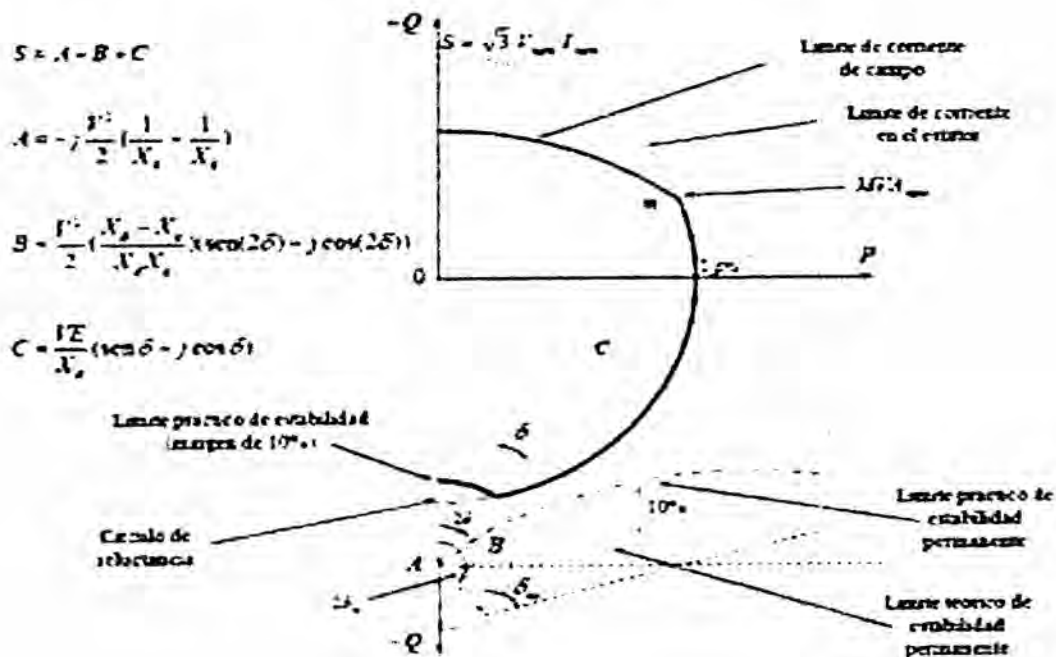


Fig. N° 18 Modulo de intercambio de energía y capacidad de transferencia

- Las maquinas síncronas, es especial los generadores que fueron fruto de estudio en este ensayo son maquinas que brindan una gran ayuda a la humanidad por las múltiples ventajas y aplicaciones para el cual la solución debe ser lo más adecuado.
- El generador sin escobillas debido a que no presenta ningún contacto mecánico entre el rotor y el estator requieren menos mantenimiento y bajos costos

7.2- RECOMENDACIONES

- Aplicación de los software Control óptimo, desarrollado por Técnica Aplicada Internacional,
- Se precisa los siguientes resultados cuando se cuenta con los controles automáticos:
 - a- Reducción de costos totales de producción.
 - b- Incremento y Mejora en la producción y desempeño

- c- Incremento en la CONFIABILIDAD.
- d- Incremento en Tiempo de Vida del equipo de producción.
- e- Reducción de horas de mantenimiento.
- f- Respaldo técnico especializado por parte del fabricante.
- g- Integración de todos los servicios por parte de un solo proveedor
- h- Asesoría y consultoría por expertos.
- i- Soporte global.

➤ **En la puesta en servicio** los especialistas, antes de instalar estas máquinas y equipos, deberán chequear si las características de la máquina coincide con las requeridas por el sistema eléctrico especialmente en las regulaciones magnéticas y térmicas (donde está incluido las perturbaciones transitorias). Seguidamente se debe realizar la coordinación de la protección. Es muy importante, antes de activar la máquina, hacer un lanzamiento en vacío manteniendo el interruptor automático abierto, tomar el registro de los parámetros de tensión y frecuencia quedando apto para entregar energía a las diversas cargas. Para conectar y desconectar las cargas éstas deben hacerse en forma progresiva no en forma brusca, puede deteriorar el AVR.

VIII.- REFERENCIALES

- (1) Alexander, Charles K Fundamentos de Circuitos Eléctricos, 3ra edición Mc Graw Hill.
 - (2) Cabanas, M.F. "Técnicas para el mantenimiento y Diagnóstico de Máquinas Eléctricas Rotativas". BOIXAREU. 1998 primera edición.
 - (3) ENRIQUEZ Harper, Instalaciones y Control de motores de corriente alterna, octava reimpresión, Editorial Lmusa s.a., MEXICO, 2002.
 - (4) Fernández Cabañas y otros "Mantenimiento predictivo en los devanados de las máquinas eléctricas rotativas de alta tensión". Rev. Mantenimiento. Nov. 1998. Salvador Carreras.
 - (5) Fernández, M., García, M., Orcajo, G.A., Cano, J., Solares, J. "Técnicas para el Mantenimiento y Diagnóstico de Máquinas Eléctricas Rotativas", Barcelona, Marcombo, ISBN 84 267 1166-9.
 - (6) Jesús Fraile Mora, Maquinas Eléctricas, Quinta edición, editorial Concepción Fernández Madrid, año 2003, país España. Rosaler, Robert C. (2002). Manual del Ingeniero de Planta. Mac-Graw-Hill/Interamericana de Editores, S.A. de C.V.
 - (7) Robert Arnold y Wilfredo Stehr; "MAQUINAS ELECTRICAS", compañía editorial TRILLAS, 1991.
 - (8) ROMERO, José Carlos y VEGA, Francisco, Protecciones Eléctricas: Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
 - (9) Stephen Chapman, Maquinas Electricas, 4 edición, Mac Graw Hill ,México.
 - (10) Villada, Fernando; Moreno Germán; Valencia Jaime. "El mantenimiento predictivo y su efecto en la optimización de costos de mantenimiento". Revista facultad de Ing. Medellín. Universidad de Antioquia. 2002
- <http://www.scribd.com/doc/25029234/Generadores-Sincronicos-Linea-G>
 - [www.inele.ufro/generador sincrono.com](http://www.inele.ufro/generador_sincrono.com)
 - <http://www.scribd.com/doc/31625595/motor-y-generador-sincrono>
 - <http://html.rincondelvago.com/proteccion-de-transformadores-y-Generadores.html>
 - <http://es.scribd.com/doc/50604851/Proteccion-de-Generadores>

IX. APÉNDICE

94

9.1- DISEÑO DEL CONTROLADOR ÓPTIMO

Antes de diseñar el controlador se debe retomar el modelo del generador sincrónico que viene determinado por el conjunto de ecuaciones no lineales.

Eje d:

$$p\Psi_d = \omega_0 * V_d - \frac{\omega_0 * r_d}{X_{ld}} * \Psi_d + \frac{\omega_0 * r_d}{X_{ld}} * \Psi_{md} + \omega * \Psi_q \quad p\Psi_{kd} = 0 - \frac{\omega_0 * r_{kd}}{X_{lkd}} * \Psi_{kd} + \frac{\omega_0 * r_{kd}}{X_{lkd}} * \Psi_{mdq}$$

$$p\Psi_f = \omega_0 * V_f - \frac{\omega_0 * r_f}{X_{lf}} * \Psi_f + \frac{\omega_0 * r_f}{X_{lf}} * \Psi_{md} \quad (1)$$

$$\Psi_{md} = \frac{X_{ad}}{X_{ld}} * \Psi_d + \frac{X_{ad}}{X_{lkd}} * \Psi_{kd} + \frac{X_{ad}}{X_{lf}} * \Psi_f \quad \frac{1}{X_{ad}} = \frac{1}{X_{md}} + \frac{1}{X_{ld}} + \frac{1}{X_{lkd}} + \frac{1}{X_{lf}}$$

$$\frac{1}{X_{ad}} = \frac{1}{X_{mq}} + \frac{1}{X_{lq}} + \frac{1}{X_{lkq}}$$

Eje q:

$$p\Psi_q = \omega_0 * V_q - \frac{\omega_0 * r_q}{X_{lq}} * \Psi_q + \frac{\omega_0 * r_q}{X_{lq}} * \Psi_{mq} - \omega * \Psi_d$$

$$p\Psi_{kq} = 0 - \frac{\omega_0 * r_{kq}}{X_{lkq}} * \Psi_{kq} + \frac{\omega_0 * r_{kq}}{X_{lkq}} * \Psi_{mq} \quad (2)$$

$$\Psi_{mq} = \frac{X_{aq}}{X_{lq}} * \Psi_q + \frac{X_{aq}}{X_{lkq}} * \Psi_{kq}$$

Ecuaciones electromecánicas:

$$\tau_e = i_q * \Psi_d - i_d * \Psi_q$$

$$\tau_m - \tau_e = \frac{2 * H * P_o^2}{\omega_0} * p(p\delta) \quad (3)$$

$p\delta = \omega - \omega_0$ ecuaciones de conexión a la barra infinita:

$$\omega_0 * V_d = \omega_0 * |V_a| * \sin(\delta) + \omega_0 * i_d * r_e - \omega * X_e * i_q$$

$$\omega_0 * V_q = \omega_0 * |V_a| * \cos(\delta) + \omega_0 * i_q * r_e + \omega * X_e * i_d \quad (4)$$

Handwritten mark

Donde:

X_d :	Reactancia sincrónica de eje d
X_q :	Reactancia sincrónica de eje q
X_f :	Reactancia de campo
X_{kd} :	Reactancia de la bobina de amortiguamiento de eje d
X_{kq} :	Reactancia de la bobina de amortiguamiento de eje q
X_{ld} :	Reactancia de dispersión eje d
X_{lq} :	Reactancia de dispersión eje q
X_{lf} :	Reactancia de dispersión de campo
X_{lkd} :	Reactancia de dispersión de la bobina de amortiguamiento de eje d
X_{lkq} :	Reactancia de dispersión de la bobina de amortiguamiento de eje q
V_d :	Tensión estatórica en el circuito del eje d
V_q :	Tensión estatórica en el circuito del eje q
V_f :	Tensión de campo
V_{kd} :	Tensión en la bobina de amortiguamiento del eje d
V_{kq} :	Tensión en la bobina de amortiguamiento del eje q
r_d :	Resistencia de las bobinas estatóricas en el eje d
r_q :	Resistencia de las bobinas estatóricas en el eje q
r_f :	Resistencia de la bobina de campo
r_{kd} :	Resistencia de la bobina de amortiguamiento de eje d
r_{kq} :	Resistencia de la bobina de amortiguamiento de eje q
X_{md} :	Inductancia magnetizante del circuito del eje d
X_{mq} :	Inductancia magnetizante del circuito del eje q
ψ_d :	Flujo ligado del estator en el eje d
ψ_q :	Flujo ligado del estator en el eje q
ψ_f :	Flujo ligado de campo
ψ_{kd} :	Flujo ligado de la bobina de amortiguamiento del eje d
ψ_{kq} :	Flujo ligado de la bobina de amortiguamiento del eje q
ω :	Frecuencia angular
r_e :	Resistencia de la línea de transmisión
x_e :	Reactancia de la línea de transmisión
V_a :	Tensión de la barra infinita
δ :	Angulo de carga
p :	Factor d/dt
τ_e :	Par electromagnético
τ_m :	Par mecánico
H :	Constante de Inercia
P_o :	Número de pares de polos

Como las metodologías de control que se utilizan sólo son aplicables a sistemas lineales, las ecuaciones que describen el comportamiento del generador sincrónico son linealizadas alrededor de un punto de operación y se obtiene el sistema matricial (5).

$$\begin{aligned}
 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ \omega_0 \Delta \\ 0 \\ 0 \\ T_{md} \\ 0 \end{matrix} \begin{vmatrix} \omega_0(x_d + x_e) & 0 & 0 & -\omega_0(x_q + x_e) & \omega_0 x_{mq} & \psi_{q0} - x_{e'q0} & \omega_0 \psi_{md} \\ 0 & \omega_0^2 k_d & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \omega_0^2 f & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \omega_0(x_d + x_e) & -\omega_0^2 x_{md} & -\omega_0^2 x_{md} & \omega_0(x_q + x_e) & 0 & -\omega_0^2 x_{e'd0} & -\omega_0 \psi_{md} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_0^2 x_{mq} & 0 & 0 \\ -\psi_{q0} x_{d'q0} & x_{md'q0} & x_{md'q0} & \psi_{d0} x_{q'q0} & -x_{mq'd0} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{vmatrix} \begin{matrix} i_{d\Delta} \\ i_{kd\Delta} \\ i_{f\Delta} \\ i_{q\Delta} \\ i_{kq\Delta} \\ w_{\Delta} \\ \delta_{\Delta} \end{matrix} \\
 & \begin{matrix} x_d & -x_{md} & -x_{md} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -x_{md} & x_{kd} & x_{md} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -x_{md} & x_{md} & x_f & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_q & -x_{mq} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -x_{mq} & -x_{kq} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2H/\omega_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix} \begin{matrix} i_{d\Delta} \\ i_{kd\Delta} \\ i_{f\Delta} \\ i_{q\Delta} \\ i_{kq\Delta} \\ w_{\Delta} \\ \delta_{\Delta} \end{matrix} \quad (5)
 \end{aligned}$$

En el sistema descrito por (5) cada variable de estado representa el cambio alrededor de un punto de operación y por eso el subíndice Δ ; el subíndice 0 indica las condiciones iniciales. En esta representación las variables de estado son cambios en las corrientes, ángulo de carga y velocidad angular.

Para el diseño del controlador se utilizaron dos técnicas. La primera fue propuesta en [7], que se denominará metodología 1, y la segunda se fundamenta en la ecuación matricial de Riccati [9], y se denominará metodología 2. En ambas metodologías se pretende minimizar el índice de comportamiento cuadrático de la forma:

$$J = \int_0^{\infty} (X^T * Q * X + U^T * R * U) dt \quad (6)$$

El primer término de la ecuación (6) considera las desviaciones de las variables de estado desde el punto de operación y el segundo término tiene en cuenta el peso del esfuerzo de control, es decir el gasto de energía de las señales de control.

El sistema físico viene representado por la ecuación de estado:

:

$$pX=A*X+B*U \quad (7)$$

La ecuación (7) se obtiene de manipular el sistema matricial (5).

La ley de control es de la forma:

$$U= - K*X \quad (8)$$

Donde:

- A: Matriz de la planta
- B: Matriz de salida
- X: Vector de estado
- Q: Matriz de peso para el vector de estado
- U: Esfuerzo de control
- R: Matriz de peso para el esfuerzo de control
- K: Matriz de ganancias de realimentación

Las salidas del sistema no son necesariamente las mismas variables de estado, por lo tanto la ecuación para las salidas es:

$$Y=C*X \quad (9)$$

Las ecuaciones (7), (8) y (9) se representan

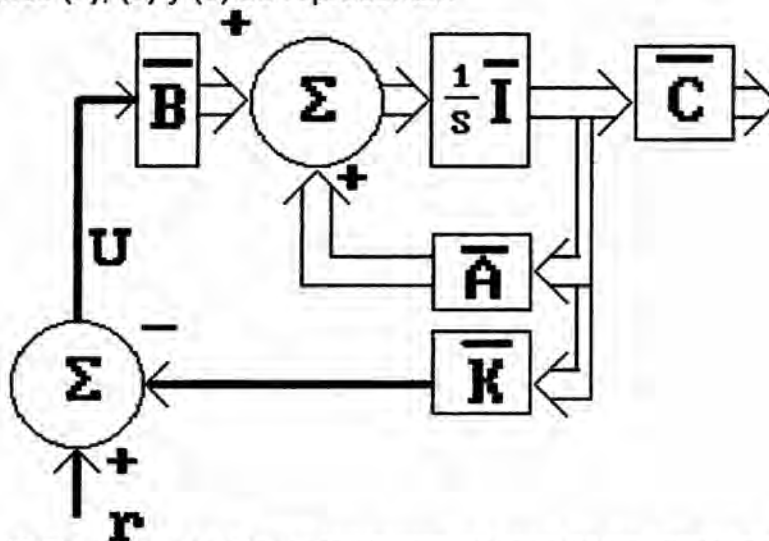


Fig. N° 19 Sistema controlado con realimentación lineal de las variables de estado

La señal U es la tensión de campo del generador. Las matrices de peso Q y R en la ecuación (6) deben ser definidas positivas y simétricas [9].

Las metodologías utilizadas para obtener la ley de control $U=-KX$, solo son aplicables para sistemas lineales [8], por lo tanto se utilizará el sistema mostrado en (5) para efectos de diseño.

M

Se realizó la simulación del sistema lineal en lazo abierto con la herramienta computacional MATLAB. Los datos de entrada fueron:

Potencia activa, $P=0.9$

Factor de potencia, $F.P=0.86$

Tensión en terminales del generador, $V=1$

El cambio en la tensión de campo fue un incremento del 10%.

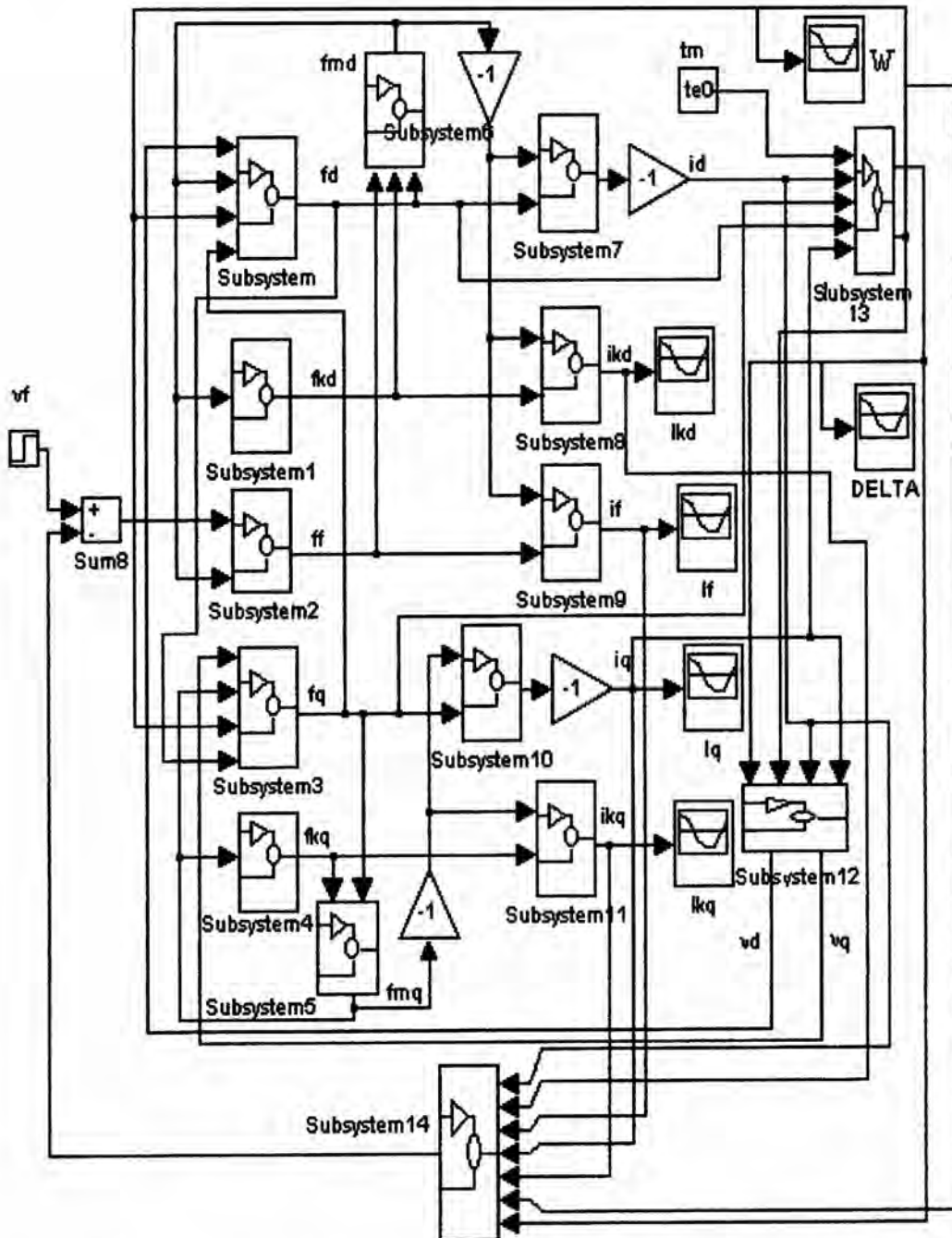


Figura 20. Diagrama de simulación en lazo cerrado en SIMULINK, para el sistema no lineal

94

9.2- SISTEMA DE EXCITACIÓN AVR

El objetivo principal de los sistemas de excitación es mantener el voltaje terminal a valores prácticamente constantes, bajo regímenes de carga estable y también en regímenes transitorios, cuando la carga oscila lentamente, o en otros caso instantáneamente.

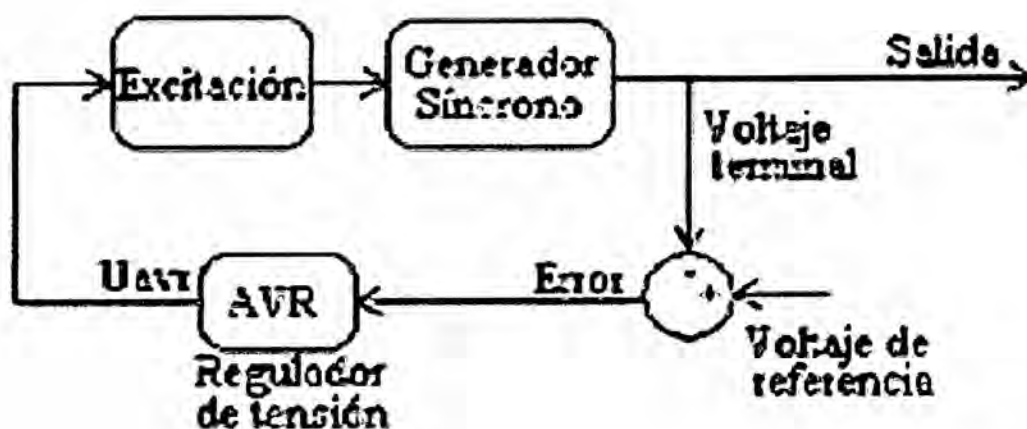


Fig. N° 21 Diagrama de bloques de control de voltaje

➤ Regulador de Tensión (Avr):

El regulador automático de voltaje, proporciona una excitación al rotor, el rotor debe tener un campo magnético constante en cuanto a la dirección de sus líneas magnéticas (no en cuanto a intensidad del campo) y este se logra excitándolo con corriente directa (alterna rectificada) la corriente alterna generada por el generador, debe ser de una frecuencia constante 60hz; y para eso el rotor siempre gira a la misma velocidad independientemente de que carga esté produciendo (se mide en megawatts) no en voltaje, como los requerimientos de carga (consumo de la energía producida) son variables, la generación de megawatts es variable a frecuencia y voltaje constante, si no tienes un regulador automático de voltaje (llamado AVR en ingles) esto no se puede lograr.

d) Regulador de Velocidad (Ras):

No hemos de confundir estos dispositivos con los reguladores de tensión de los alternadores, pues si bien actúan al unísono sobre el grupo, como elementos reguladores que son, sus funciones, aunque relacionadas, están perfectamente delimitadas.

Según lo manifestado hasta el momento, deducimos que todo regulador de velocidad es el mecanismo, de distinta índole, destinado a conseguir, en cualquier circunstancia, el equilibrio de los trabajos motor y resistente presentes en una turbina, manteniendo, sensiblemente constante, la velocidad de sincronismo del grupo ante todas las cargas solicitadas, protegiéndole, además, contra velocidades excesivas que pudieran surgir.

Como dato significativo diremos que si dispusiésemos de un motor Diesel sobre el cual no actuase ningún regulador de velocidad, se fragmentaría en pedazos, en el instante que quedase bruscamente sin carga.

Tipo de generadores de síncronos

Como ya lo había mencionado anteriormente el principio de funcionamiento del generador síncrono es el mismo, lo que cambia es la forma de construcción de los mismos, los tipos se explican a continuación

Polos salientes en el rotor

X- ANEXOS

Handwritten mark

10.1 ANEXOS

Tabla 04.- Protección de generadores de acuerdo a la falla

	Origen de la Falla	Efecto	Protección	Principal	Respaldo
EXTERNAS	Marciohra	Sobrevoltaje	Relevadores de Voltaje		59G/27G
	Atmosférico	Sobrevoltaje	Pararrayos	PY	Coord. - Aisl.
	Cortocircuito	Sobrecorriente	Relevadores $>I, >I<V$	51/51V-27G	
	Sobrecarga	Sobrecorriente	Relevadores $>I$ Imagen Térmica	49G	51V- 49E
	Carga asimétrica	Sobrecorriente Sec (-)	Relevadores. Sec (-)	46G	46G
	Inversión carga	Motriz. Z	Relevador pot-inv.	32G	32G
INTERNAS	Estator F- $\phi - \phi$	Sobrecorriente	Relevadores-Dif Relevadores Z	87G	87GT 21G
	Estator F-Espiras	Sobrecorriente	Relevador Dif	87G	87GT
	Estator F- $\phi - I$	Sobrecorriente, Sobrevoltaje	Relevadores Dif Relevadores $>I, >V$ Neutro	87G 64N	87GT 59
	Rotor F- $\phi - I$	Sobrecorriente-I Perd/sincronismo	Relevador tierra Relevador Perd. cam	64E	49R 40G
	Exct-Perd	Sobrevelocidad Gen-Induc	Relevador >veloc Frenos (hid)		12
	Perd. Veloc.	Transitorios	Relevadores $<F$ Relevadores de Z	81G	78-21G
OTRAS	Refrig.-Máq	Sobretemperatura	Sensores temperatura		
	Refrig.-cojinete	Sobretemperatura	Sensores temperatura		
	Vibraciones	Sobre- mm	Sensores vibración		
	Sobretemperatura	Humos	Sensores humo		
	Fuego	Incendio	Contra-incendios- CO_2		

10.2- Ejemplos de tecnologías de equipos de potencia sin conexión a la red

Esta tecnología se ha desarrollado y aprobado, y en el diseño nos hemos concentrado en los siguientes aspectos:

- **Fácil de configurar y operar**
- **Rentabilidad**
- **Prestaciones de configuración versátiles**
- **Diversas interfaces para la adquisición de datos y la supervisión a distancia**

Una versión para todo

No importa el tipo de regulador de velocidad ni de regulador de tensión automático (AVR) (eléctrico/mecánico) ni la tensión nominal que se tenga, sólo hay una versión SIGMA, incluyendo una amplia gama de funciones de control y protección.

Descripción general de SIGMA

Protección óptima, la sincronización y la repartición de carga son parámetros fundamentales a la hora de gestionar equipos de generadores de la forma más rentable, ya sea a bordo de barcos o en centrales de energía. SIGMA se basa en la última tecnología y presenta un diseño modular, compacto y resistente.

Se garantiza la posibilidad de actualizar en el futuro así como un coste total de propiedad bajo.

Sencillez de diseño

Fácil de instalar y de utilizar. La interfaz se explica por sí misma.

Calidad

SIGMA se ha desarrollado para satisfacer las más altas demandas y expectativas que caben esperar de los productos SELCO, cumpliendo los requisitos de clasificación marítima.

Compatibilidad

SIGMA es compatible con una amplia variedad de componentes SELCO.

Comunicación

Todos los parámetros de funcionamiento pueden leerse en unidades externas a través de MODBUS-RTU y, además, es posible configurar el sistema a partir de equipos de terceros (por ejemplo sistemas SCADA).

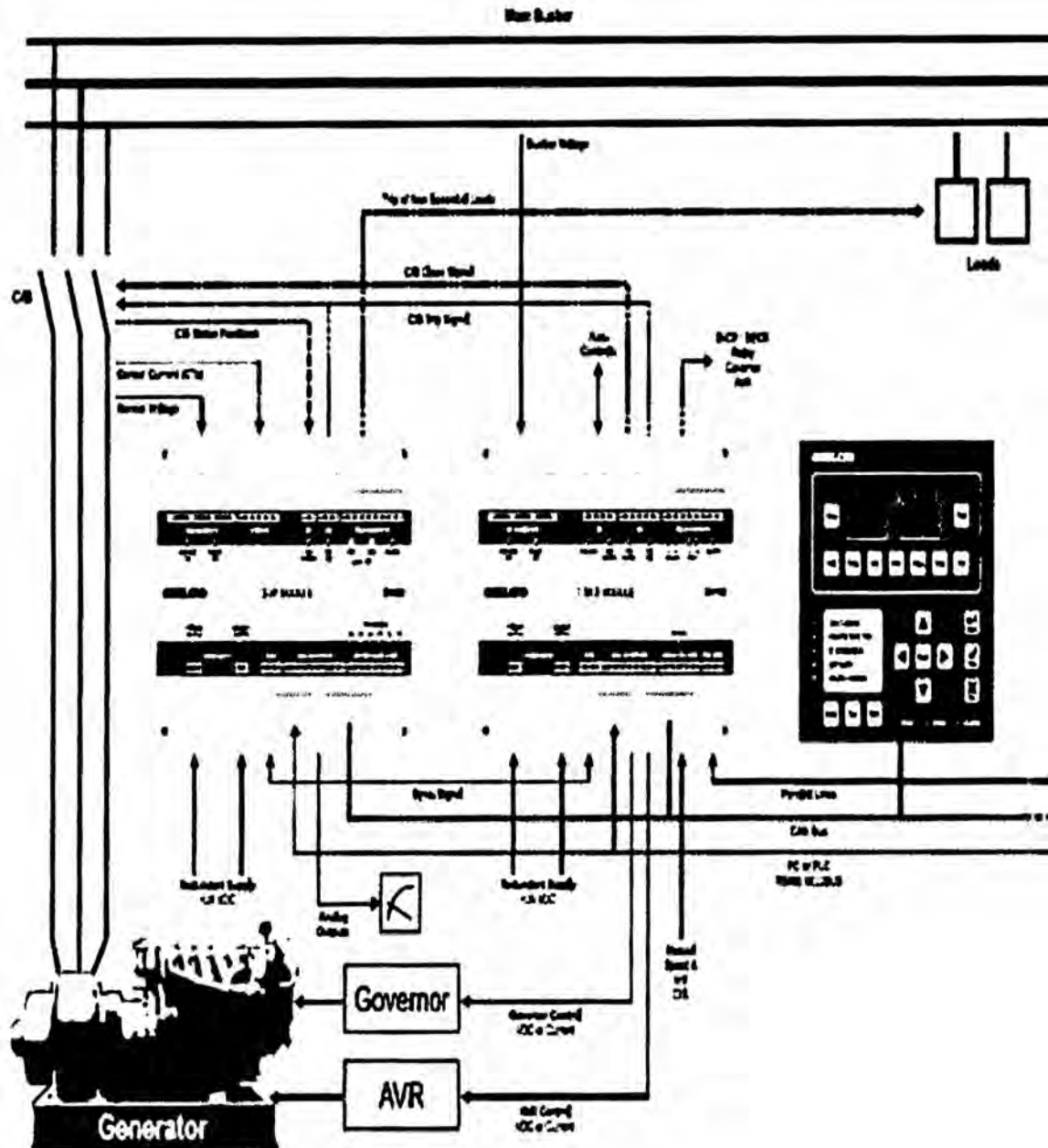


Fig. N° 22 Diagrama de la Aplicacion

Handwritten signature or initials.

10.3- MOTORES PRIMOS Y LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE ELLOS, APLICACIONES.

Tabla 04.- Tipos de tecnología en la generación de electricidad

TECNOLOGÍA	APLICACIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Motores Diesel	Bombas de agua Molinos Refrigeración Iluminación y comunicación	Mantenimiento fácil Servicio energético continuo (24h) Permite actividades que generan ingresos	Alto gasto de combustible Emisiones nocivas y de CO ₂
Pequeños equipos de biomasa	Bombas de agua Molinos Refrigeración Iluminación y comunicación	Permite actividades que generan ingresos Posible generación continua	Emisiones nocivas
Mini-hidráulica	Molinos Iluminación y comunicación Otros	Larga vida Alta fiabilidad Permite actividades que generan ingresos	Localización específica Disponibilidad intermitente del agua
Eólica	Bombas Molinos Iluminación y comunicación	Sin combustibles	Baterías caras Servicio intermitente de Energía
Solar-fotovoltaica	Iluminación básica Equipos electrónicos	Sin combustibles	Alto coste de capital Alto coste de recambio de la Bateria Necesita más I + D