



**REPÚBLICA DE CUBA**

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA  
FACULTAD METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

## **TRABAJO DE DIPLOMA.**

**TÍTULO: CARACRTERIZACIÓN TECNOLÓGICA Y ENERGÉTICA  
DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE GRAN POTENCIA  
DE LA UNIDAD #1 DE LA CTE “LIDIO RAMÓN PÉREZ”  
DE FELTON.**

**Autores: Reinier Milanés Nolazco.  
Yamila Góngora Fournier.**

**Tutores: Ing. Luís Castillo Muguercia.  
M. Sc. Ignacio Romero Rueda.  
Dr. Raúl Izquierdo Pupo.**

**MOA, JULIO 2006.  
AÑO DE LA REVOLUCIÓN ENERGÉTICA EN CUBA.**

## **Autenticidad**

---

Reinier Milanes Nolazco y Yamila Góngora Fournier diplomantes de los Ing. Luís Castillo Muguercia, M.Sc Ignacio Romero Rueda y el Dr. Raúl Izquierdo Pupo autorizamos a la facultad metalurgia electromecánica en conjunto con el centro que dispongan de este trabajo cuando sea necesario. Para que así conste firman este documento todos los antes mencionados.

---

Reinier Milanes Nolazco

---

Yamila Góngora Fournier

---

Ing. Luis Castillo Muguercia

---

M.Sc Ignacio Romero Rueda

---

Dr. Raúl Izquierdo Pupo

---

## **Dedicatoria**

---

A mi familia y amigos que tanto me han ayudado para poder llegar a este momento.

A nuestra revolución que me ha dado la posibilidad de estudiar para alcanzar el nivel que poseo.

## **Agradecimientos**

---

A toda la ayuda prestada por los tutores Msc. Ignacio Romero Rueda, al Ing Luís Castillo Muguercia y al Lic. Ariel Cuenca Alfonso.

A la colaboración prestada por los trabajadores de la CTE "Lidio Ramón Pérez" y en especial al Grupo de Programación y Control de la UEB EMCE y al grupo de gestión eléctrica de la planta de Felton.

A todos mis familiares, amistades y demás compañeros que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo.

## **Pensamientos**

---

Felicito a todos los que luchan, a los que no desisten jamás ante las dificultades; a los que creen en las capacidades humanas para crear, sembrar y cultivar valores e ideas; a los que apuestan por la humanidad; a todos los que comparten la hermosa convicción de que un mundo mejor es posible.

Fidel Castro Ruz

## **Resumen**

---

En el presente trabajo se realiza una evaluación y caracterización de los motores asincrónicos del bloque #1 de la CTE "Lidio Ramón Pérez", además permite conocer una serie de información hasta el punto de caracterizar el equipo desde la salida de fábrica hasta su utilización en la industria.

Se toma como base para la caracterización de dichos motores las mediciones realizadas en un breve tiempo, los datos de catálogo, los pasaportes técnicos, datos de chapa y otros datos necesarios obteniéndose resultados favorables a la investigación en el cual se basa el trabajo. Se detalla la situación actual y real del funcionamiento de los motores de gran potencia del bloque #1.

## **Summary**

Presently work is carried out an evaluation and characterization of the asynchronous motors of the block #1 of the CTE "Lidio Ramón Pérez", also allows to know a series of information until the point of characterizing the team from the factory exit until its use in the industry.

Takes like base for the characterization of this motors the mensurations carried out in a brief time, the catalog data, the technical passports, foil data and other necessary data obtaining you favorable results to the investigation in which the work is based. The current and real situation of the operation of the motors of great power is detailed of the block #1.

## Tabla de Contenido.

Introducción.....	1
I.I Introducción.....	1
I.II Fundamentación del trabajo realizado.....	1
I.III Problema de la investigación.....	2
I.IV Hipótesis científica.....	2
I.V Objetivo General.....	2
I.VI Objetivos Específicos.....	2
I.VII Tareas del Trabajo.....	2
Capítulo I: Caracterización Técnica y Energética de los Motores Eléctricos.....	4
1.1 Introducción.....	5
1.1.1 Flete Terrestre.....	6
1.1.2 Flete Marítimo.....	6
1.1.3 Izado del motor.....	6
1.1.4 Inspección del motor a la entrega.....	6
1.1.5 Almacenamiento y mantenimiento antes de la instalación.....	6
1.1.6 Seguridad durante la instalación de los motores.....	7
1.2 Datos Eléctricos.....	7
1.2.1 El sistema de circulación agua de mar tiene las siguientes funciones.....	9
1.2.2 El sistema de alimentar tiene las siguientes funciones.....	11
1.2.3 El sistema de condensado tiene las siguientes funciones.....	12
1.2.4 El sistema de enfriamiento tiene las siguientes funciones.....	12
1.2.5 El sistema de Recirculación de gases tiene las siguientes funciones.....	13
1.2.6 Los Ventiladores de Tiro Forzado (VTF) tienen las siguientes funciones.....	13
1.2.7 Métodos de arranque de motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla.....	14
1.2.8 Arranque directo de motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla...	16
1.2.9 Momento de arranque y momento máximo.....	17
1.3 Datos Mecánicos.....	18
1.3.1 Características Constructivas.....	18
1.3.2 Otras características constructivas.....	19
1.3.3 Requerimientos de acoplamientos.....	19
1.3.4 Grado de protección del motor.....	20
1.3.5 Requerimientos de lubricación.....	20
1.3.6 Temperatura ambiente.....	20
1.3.7 Vibraciones y Ruidos.....	21
1.3.8 Datos mecánicos de los motores de 6kv.....	23
1.4 Análisis de los datos obtenidos.....	24
1.5 Conclusiones.....	24
Capítulo II: Pruebas Tecnológicas y de Puesta en Marcha.....	25
2.1 Introducción.....	25

2.2	Ensayos no Destructivos.....	27
2.2.1	Determinar Resistencia de Aislamiento.....	27
2.2.2	Determinar Coeficiente de Absorción (Ka).....	29
2.2.3	Determinar Índice de Polarización (I P).....	30
2.2.4	Determinar Rigidez Dieléctrica con Corriente Directa.....	32
2.3	Ensayos Destructivos.....	35
2.3.1	Determinar Rigidez Dieléctrica con Corriente Alterna (corriente de fuga).	35
2.3.2	Prueba del Acero Activo.....	36
2.3.3	Prueba de Descarga Parcial.....	41
2.4	Resultado de los ensayos.....	41
2.5	Conclusiones.....	44
Capítulo III: Evaluación Energética.....		45
3.1	Introducción.....	45
3.2	Caracterización energética.....	45
3.3	Principales deficiencias.....	47
3.4	Posibles soluciones.....	50
3.5	Conclusiones.....	51
Conclusiones generales.....		52
Recomendaciones.....		53
Bibliografía.....		54
Anexos		



## **Introducción**

---

- I.I Introducción.
- I.II Fundamentación del trabajo realizado.
- I.III Problema de la investigación.
- I.IV Hipótesis científica.
- I.V Objetivo General.
- I.VI Objetivos Específicos
- I.VII Tareas del trabajo.

### **I.I Introducción.**

En los momentos actuales cobra vital importancia el correcto funcionamiento de las centrales eléctricas que se encuentran instaladas y en operación en nuestro país, dada la situación coyuntural por la que atraviesa la isla, los precios del petróleo se encuentran en valores irrisorios en el mercado mundial y los países que conforman el bloque del tercer mundo dedican el mayor por ciento de sus ingresos a la adquisición de este preciado producto, denominado oro negro, para satisfacer sus necesidades de suministro eléctrico, el cual constituye un indicador que demuestra el desarrollo alcanzado por un país.

**Hoy cobra mucha importancia el estudio de los motores asincrónicos, específicamente el trifásico, sin embargo sus características lineales de par velocidad y su respuesta dinámica más eficiente a la tercera parte de su potencia nominal han posibilitado su difusión y uso más eficiente.**

El estudio del comportamiento de estos motores trifásicos asincrónicos de gran potencia de la unidad #1 de la CTE "Lidio Ramón Pérez" se efectúa a partir del análisis de los datos técnicos dados por el fabricante, las mediciones realizadas a los mismos en su operación normal, y los gráficos elaborados a partir de estos elementos.

### **I.II: Fundamentación del trabajo realizado.**

El proceso de obtención de energía eléctrica en una termoeléctrica es inconcebible sin la utilización de motores eléctricos y en correspondencia con la

potencia a generar serán las categorías de los equipos instalados para el uso de planta. Los motores de gran potencia tienen una decisiva utilización en este proceso, por eso son tan importantes las pruebas y los controles que se le realizan para su buen funcionamiento, así como una adecuada selección. Los motores eléctricos suministran la mayor parte de la energía motriz que mueve a los equipos industriales y el uso tan extendido que tienen, estos representan unos de los campos con más oportunidades para el ahorro de energía que de hecho se traducen en mayor competitividad y una considerable reducción de los costos, este comienza desde la correcta selección de los motores, o sea, que los accionamientos acoplados o el mecanismo a mover se corresponda con el diseño y características técnicas de los mismos, se debe elegir el motor más adecuado para las necesidades que se tengan, tomando en cuenta las condiciones ambientales, de operación, de arranque, de regulación de velocidad, su tamaño, su potencia. Por eso se plantea que es efectivo el ahorro energético cuando el o los motores operan a su máxima eficiencia. Cuando se tienen motores eficientes, estos representan ahorros económicos importantes para el usuario y beneficios considerables para el país y la sociedad en su conjunto.

### **I.III Problema de la investigación.**

La no existencia de una base de datos de los motores de gran potencia que operan a régimen continuo y faciliten la solución a tiempo de cualquier imprevisto que se presente en el proceso de producción.

### **I.IV Hipótesis científica.**

Con los datos técnicos y la relación existentes entre el motor y el mecanismo a mover se pueden controlar y definir los indicadores energéticos, así como la adecuada y correcta selección económica del equipo.

### **I.V Objetivo General.**

Establecer una caracterización tecnológica de los motores eléctricos de gran potencia de la CTE de Felton.

### **I.VI Objetivos Específicos.**

- Relacionar los datos técnicos de los motores de 6kV con el accionamiento.
- Definir las características generales de los motores de 6kV.

### **I.VII Tareas del trabajo.**

- Realizar una recopilación de los datos correspondientes a los motores de gran potencia donde se tendrán en cuenta los datos nominales, las hojas de mantenimiento, los criterios de verificación del mantenimiento y las mediciones de tensión y corriente por un período determinado de operación.
- Realizar un análisis de las características actuales de dichos motores dentro de los cuales tendremos en cuenta el coeficiente de absorción, índice de polarización y características de operación de estos.
- Efectuar un análisis de los resultados obtenidos a partir de las mediciones y cálculos realizados a los motores así como realizar su valoración energética.

## **CAPÍTULO I: Caracterización Técnica y Energética de los Motores Eléctricos.**

1.1: Introducción.

1.1.1: Flete terrestre.

1.1.2: Flete marítimo.

1.1.3: Izado del motor.

1.1.4: Inspección del motor a la entrega.

1.1.5: Almacenamiento y mantenimiento antes de la Instalación.

1.1.6: Seguridad Durante la Instalación de los Motores.

1.2: Datos eléctricos.

1.2.1: Características de funcionamiento del sistema de circulación agua de mar.

1.2.2: Características de funcionamiento del sistema alimentar.

1.2.3: Características de funcionamiento del sistema de condensado.

1.2.4: Características de funcionamiento del sistema de enfriamiento.

1.2.5: Características de funcionamiento del VRG.

1.2.6: Características de funcionamiento del VTF.

1.2.7: Métodos de arranque de motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla.

1.2.8: Arranque directo de motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla.

1.2.9: Momento de arranque y momento máximo.

1.3: Datos mecánicos.

1.3.1: Características Constructivas.

1.3.2: Otras características constructivas:

1.3.3: Requerimientos de acoplamientos.

1.3.4: Grado de protección del motor.

1.3.5: Requerimientos de lubricación.

1.3.6: Temperatura ambiente.

1.3.7: Vibraciones y Ruidos.

1.3.8: Hoja de datos mecánicos de los motores de 6kV.

1.4: Análisis de los datos obtenidos.

1.5: Conclusiones del capítulo I.

## 1.1: Introducción

El motor eléctrico es una máquina destinada a transformar energía eléctrica en energía mecánica. Es el más usado de todos los tipos de motores, ya que combina las ventajas de la utilización de la energía eléctrica – bajo costo, facilidad de transporte, limpieza y simplicidad de comando – con su construcción simple, costo reducido, gran versatilidad de adaptación a las cargas más diversas y mejores rendimientos. Los motores de corriente alterna son los más utilizados, porque la distribución de energía eléctrica es hecha normalmente con corriente alterna.

El motor de inducción funciona normalmente con una velocidad constante, que varía ligeramente con la carga mecánica aplicada al eje. Debido a su gran simplicidad, robustez y bajo costo, es el motor más utilizado, siendo adecuado para casi todos los tipos de máquinas que se encuentran en la práctica. Los motores de inducción han conquistado prácticamente toda la diversidad de posibilidad de aplicación en las esferas doméstica e Industrial. Dentro de los motores de inducción cobran gran importancia el motor con rotor en cortocircuito o jaula de ardilla que es el más simple. La nominación de Jaula de Ardilla se debe a su semejanza con una jaula.

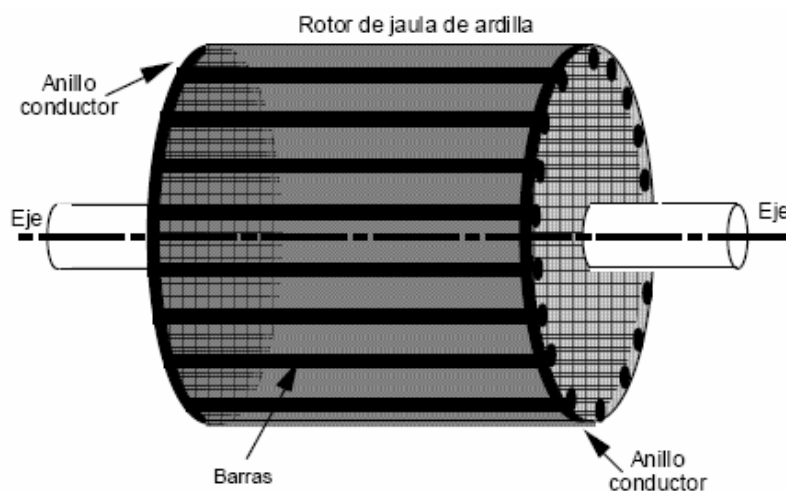


Figura #1: Rotor de jaula de ardilla.

La Jaula de Ardilla de los rotores está formada por barras de metal (cobre, aluminio o bronce) que se alojan en las ranuras del rotor, y dos aros uno a cada extremo que conectan entre sí eléctricamente estas barras de forma tal que estas barras conforman el devanado del rotor a la vez que representan un secundario en cortocircuito, si consideramos que el estator del motor, que contiene el enrollado inductor se designa como primario.

#### **1.1.1: Flete Terrestre.**

El motor se monta en una base de madera con tornillos. El izado puede ser hecho usando carretillas elevadoras o grúas tomándolo de las argollas de izado.

#### **1.1.2: Flete Marítimo.**

El motor es embalado en una caja de madera. Dicha caja tiene una construcción rígida, de madera que se puede alzar usando las carretillas elevadoras o las grúas.

#### **1.1.3: Izado del motor.**

El izado del motor siempre debe realizarse usando las indicaciones señaladas en el embalaje, puntos de izaje, argollas de izado que están colocadas en la parte superior del embalaje. El motor nunca debe ser levantado desde su base con las carretillas elevadoras. Las viguetas deben usarse para evitar daños en la cubierta superior y en la caja de bornes principales.

#### **1.1.4: Inspección del motor a la entrega.**

Inmediatamente se inspecciona el embalaje, el motor tiene que ser revisado para comprobar posibles daños que pudieron ocurrir durante el transporte. Cualquier avería durante el transporte debe ser comunicada inmediatamente a la Compañía de Embarque/Seguros y al proveedor del motor, que en nuestro país la entidad encargada de realizar estas inspecciones es CUBACONTROL.SA. Todos los daños, incluyendo daños en la caja de transporte, deben ser notificados, debe comprobarse inmediatamente la lista de contenidos por si hubiera piezas o accesorios perdidos. El proveedor debe ser informado de estas pérdidas, una vez

realizadas todas estas operaciones se procede a la reclamación o aceptación del equipo.

#### **1.1.5: Almacenamiento y mantenimiento antes de la instalación.**

Si el motor necesita ser almacenado temporalmente después del embalaje, este debe ser hecho apropiadamente para evitar daños. El motor no debe estar sujeto a vibración, ya que puede dañar los cojinetes. Tampoco debe estar sujeto a cambios de temperatura, ya que causa condensación dentro de la máquina. El motor debe ser guardado en un espacio que pueda ser calentado. Si el calentamiento no es posible, debe usarse una forma de calentamiento externo. Si el motor está equipado con resistencias de caldeo, debe ser conectada. Si el motor debe almacenarse en el exterior, hay que usar una cubierta a prueba de agua, que proteja al motor también del polvo. El lugar de calentamiento, el motor debe estar protegido de la humedad usando un material absorbente, tal como Silica-Gel. El medio ambiente no debe contener gases corrosivos.

#### **1.1.6: Seguridad durante la instalación de los motores.**

Para evitar accidentes, las medidas de seguridad y los aparatos requeridos en el lugar de instalación deben de estar de acuerdo con las instrucciones y las regulaciones estipuladas para la seguridad en el trabajo. Esto se aplica a las regulaciones de seguridad generales del país en cuestión y a los acuerdos específicos hechos para cada lugar del trabajo.

### **1.2: Datos Eléctricos.**

#### Características en Régimen.

##### ◆ Potencia nominal:

Es la potencia mecánica entregada en la punta del eje y que satisface las necesidades de la carga. Desde el punto de vista técnico económico, no es racional sobredimensionar el motor a una utilización inferior al 75 % de su potencia nominal y técnicamente, es recomendable que el motor tenga una reserva de no menos de un 10 % con respecto a la carga. Se tendrá en cuenta que para el caso

de motores con aislamiento clase F, con elevación de temperatura para aislamiento clase B, el motor tendrá una reserva de potencia de un 12 % aproximadamente. Este concepto, o sea la potencia que el motor puede entregar, está íntimamente ligado a la elevación de temperatura de bobinado. Sabemos que el motor puede accionar cargas de potencia muy por encima de la nominal hasta casi alcanzar el par máximo. Pero lo que sucede es que si esta sobrecarga fuese excesiva, o sea, si se le exigiera al motor una potencia muy por encima de aquella para la cual fue proyectado, el calentamiento normal sería sobrepasado y la vida del motor disminuiría, pudiéndose incluso quemar rápidamente.

◆ Velocidad nominal:

Está dada por las exigencias de la máquina accionada con una tolerancia definida por el rango de regulación de la carga. Es la velocidad del motor funcionando a potencia nominal bajo tensión y frecuencia nominales. Depende del deslizamiento y de la velocidad sincrónica  $n_s$  que es función de la cantidad de polos y de la frecuencia de alimentación.

◆ Rendimiento y factor de potencia:

Estos parámetros se darán para el 50, 75 y 100 % de la potencia nominal. Es significativo el ahorro de energía eléctrica y la descarga de potencia reactiva que se pueden lograr al variar en solo algunas centésimas, el valor del rendimiento cuando se trata de motores de gran potencia. El rendimiento alto es importante por dos motivos:

- Un mayor rendimiento significa pérdidas bajas y por tanto menos calentamiento del motor.
- Cuanto mayor es el rendimiento, menor la potencia absorbida de la línea y por consiguiente, menor el costo de la energía a pagar.

Factor de Potencia:

Un motor no consume solo potencia activa, luego convertida en trabajo mecánico, sino también potencia reactiva para la magnetización, la cual no produce trabajo.

◆ Factor de servicio:



Este parámetro da el por ciento de utilización de la potencia nominal del motor de forma continua. Por ejemplo, para un FS = 1,15 el motor puede trabajar permanentemente al 115 % de la potencia nominal.

◆ Clase térmica y tecnología para su obtención:

La tecnología de punta del aislamiento de máquinas rotatorias, se basa en el método VPI (Vacío - Impregnación - Presión) para la obtención de un aislamiento termoreactivo clase F.

◆ Elevación de temperatura ( $\Delta t$ ):

Según la norma ICE 34-1, para máquinas mayores de 600 W y midiendo por medio de resistencias, los límites de temperatura de aislamiento clase B, F y H, son como siguen:

- Un motor clase F que tenga elevación de temperatura para clase B, tendrá una reserva de potencia del 12 % (consultar al fabricante).
- Un aumento de 8 a 10<sup>0</sup> C en la temperatura del aislamiento reduce la vida a la mitad.
- Verificar el calentamiento del motor midiendo la temperatura externa de la carcasa es erróneo en los motores modernos.

Cada clase de aislamiento tiene según la norma IEC 34 - 1, un valor de elevación de temperatura permisible (aislamiento clase B de 90<sup>0</sup> C y aislamiento clase F de 115<sup>0</sup> C, medidos por el método de detectores embebidos). Pero es práctica mundial que el fabricante establezca elevaciones de temperatura de 80 y 100<sup>0</sup> C respectivamente para los aislamientos B y F.

Los motores pueden pedirse con aislamiento clase F y elevación de temperatura para clase F (F / F) o aislamiento clase F y elevación de temperatura para clase B (F / B) teniéndose para este último caso una reserva de temperatura, esto es, de potencia.

- Medición de la elevación de temperatura:

- El método de resistencia es el más preciso y confiable. Otros métodos son:

1. Termoresistores (PT100).
2. Termistores (PTC y NTC).
3. Termostatos.

*Tabla #1: Datos de los equipos categoría B del Bloque #1.*

Equipos	Ventilador de Tiro Forzado	Ventilador Recirculador de Gases	Bomba Alimentar	Bomba Enfriamiento	Bomba de Circulación	Bomba de Condensado
Tipo	2V222-06H	2N4355Z-6	2V205-02H	HKR-056P08E0Q-01M	QRV800L3	HKR-50B04E0Q-03M
n (RPM)	1193	1188	3580	888	445	1777
P (kW)	2000	250	4500	300	710	370
I (A)	225	31.7	504	38.7	91	45.4
V(V)	6000	6000	6000	6000	6000	6000
F.P	0.9	0.8	0.89	0.79	0.8	0.83
Rodamiento delantero	NU236	6320Q6	Chumacera	NV320B/ZS	NU234M	NV320B/ZS
Rodamiento trasero	NV236	6220	Chumacera	6320Q6	7326BM	6320Q6
Tipo de protección	IP54	IP44	IP44	IP55	IP54	IP55
Cantidad	2 E/S	2 E/S	3 2E/S	2 1E/S	2 E/S	3 2E/S
Mecanismo que accionan	Un ventilador	Un ventilador	Dos bombas	Una bomba	Una bomba	Una bomba

E/S: En servicio

E/R: En reserva

### **1.2.1: Características de funcionamiento del sistema de circulación agua de mar.**

Hacer circular a través del condensador el agua procedente del canal de agua de mar, y que es previamente filtrada por el sistema Taprogge y así garantizar el flujo necesario para condensar el vapor de escape del cilindro de baja presión de la turbina.

Además parte de esta agua de mar pasa a los enfriadores del circuito de agua dulce (circuito intermedio) para su enfriamiento.

Este sistema está compuesto por los siguientes elementos:

-Bombas de circulación. (VC01 y VC11D001).

Son dos bombas centrífugas de ejecución vertical, diseñadas para el 100% de la potencia del bloque, en caso de tener una sola por las dos secciones se limitará el bloque al 60% de su potencia.

-Bombas de vacío o eyectores económicos.(VC41-42D001).

Son los encargados de aspirar el aire de las cámaras de agua del condensador, de las cámaras de retroceso en la parte de agua de mar y de las tuberías de salida en los enfriadores de agua de enfriamiento. Cada eyector está diseñado para el 100% de la potencia nominal de bloque, con el fin de acortar el tiempo de inundación de todas las cámaras durante el arranque se aprovecha la marcha en vacío de las dos bombas. Los espacios individuales para la aspiración de aire están conectados mediante tuberías al Tk colector VC40B101 (caja de agua de mar).

-Sistema de limpieza del condensador Taprogge.

Este sistema persigue el objetivo de garantizar la limpieza del condensador evitando que entren impurezas mecánicas al mismo, así como, realizar la limpieza de la superficie interior de los tubos por medio del sistema de bolas.

- Filtros Taprogge.

Los filtros Taprogge tienen la función de retener las suciedades del agua de mar que no fue eliminada por los diferentes sistemas de mallas de limpieza. En cada línea de descarga de las bombas de circulación se encuentran cuatro filtros independientes, con una compuerta incomunicada y una línea de desagüe para la limpieza de los filtros, a través de la misma, poniendo a lavar el filtro se desaloja la suciedad con el 8-10 % del agua de mar que llega al filtro.

La suciedad del filtro es controlada por un sistema de medición de la presión diferencial que al pasar la presión del valor límite ajustado manda a lavar los filtro a contra flujo. Los filtros son controlados desde el armario de mandos, tanto en automático, como en manual.

Tabla #2: Datos técnicos del motor de circulación de agua de mar.

Datos Técnicos del Motor de Circulación de Agua de Mar	U/M	PARÁMETRO
Especificación Técnica		5V220 - 16 VV
Potencia Nominal	KW	710
Voltaje Nominal	V	6000
Velocidad Sincrónica	Rpm	450
Velocidad con Carga	Rpm	445
Frecuencia Nominal	Hz	60
Tipo de Rotor		SQUIREL CAGE
Número de Polos		16
Eficiencia 5 4 Load/Carga	%	94,7
4 4 Load/Carga	%	94,6
3 4 Load/Carga	%	94,0
2 4 Load/Carga	%	92,4
Factor de Potencia 5 4 Load/Carga	%	0,74
4 4 Load/Carga	%	0,8
3 4 Load/Carga	%	0,67
2 4 Load/Carga	%	0,55
Corriente 5 4 Load/Carga	A	117
4 4 Load/Carga	A	91
3 4 Load/Carga	A	82
2 4 Load/Carga	A	66
Velocidad	Rpm	445
Torque Nominal	Nm	15176
Torque de Arranque ST/FLT	Nm	9865(0,65)
Torque Máximo MT/FLT	Nm	30350 (2,0)
Corriente de Arranque SC/FLC		4,5
Estado Frío	seg	46
Estado Caliente	seg	36
Perdida de Voltaje en Arranque		al 80% Un
Tipo de Arranque		DOL
Tiempo Arranque	Seg	2,5
Número de arranques consecutivos en Frío		3
Número de arranques consecutivos en Caliente		2
Clase de Aislamiento		F
Tipo de Cable de Entrada		LAYER
Tipo de Conexión del estator		Y

Dato del accionamiento de la carga del motor		17.7.2001
--	--	-----------

\*Las tablas que contienen los datos eléctricos de los demás motores se muestran en los anexos del 1 al 5.

### **1.2.2: Características de funcionamiento del sistema de alimentar.**

Este sistema lo conforman 3 bombas principales que a su vez tienen conformado dentro propio sistema por 3 bombas auxiliares que ayudan a las primeras en el proceso de arranque, tienen la importante función de suministrar la cantidad de agua necesaria con la presión y temperatura requerida para producir el vapor en la caldera. Dentro del sistema de alimentar están comprendidos:

- Tres bombas de alimentar.
- Dos calentadores de alta presión (CAP).
- Un tanque de alimentar.

Este último posee la función de alimentar con una temperatura de unos 152<sup>0</sup>C descarga a la succión de la bomba auxiliar y después a la succión de la bomba principal, esta descarga el agua de alimentar a los CAP. para aumentarle la temperatura a 240 +/- 100C con la que va finalmente a caldera recibiendo en el economizador más de 264<sup>0</sup>C con la que llega al domo. Para obtener mas información a cerca de los datos eléctricos de los motores que conforman este sistema, ver anexo #1.

### **1.2.3: Características de funcionamiento del sistema de condensado**

Antes de entrar en las funciones es bueno señalar que este sistema está compuesto por 3 bombas en una primera etapa de funcionamiento vertical y 3 en la segunda etapa de funcionamiento horizontal, guardando el diseño montado en la CTE de la entidad proyectista. Este sistema transporta el agua que se acumula en el condensador producto a la condensación del vapor que ha realizado trabajo en la turbina y llevarlo al tanque de alimentar para ser incorporado nuevamente al ciclo Agua - Vapor, pasando durante su recorrido por los Calentadores de Baja Presión, Condensador de Vapor de los Sellos, Eyectores Principales y reguladoras del Tanque de Alimentar donde adquiere temperatura. Incorporar al ciclo el condensado proveniente del drenaje de los Calentadores de Alta y Baja Presión,

Pre calentadores de Aire, Expánder de Sala de Máquinas, así como otros drenajes que descargan al condensador. Reponer las pérdidas de agua del ciclo con agua desmineralizada proveniente de tratamiento químico al condensador por medio de la reguladora de nivel por la ducha o por el pozo. Para mas detalles ver anexo #2.

#### **1.2.4: Características de funcionamiento del sistema de enfriamiento**

El Sistema de Enfriamiento lo constituyen 3 bombas dispuestas de que en su función exista una de reserva, siendo el encargado de suministrar el agua para el enfriamiento de todos los equipos dinámicos del bloque, así como, intercambiadores de calor que por sus características técnicas necesitan del agua para su trabajo. Para mas detalles ver anexo #3.

#### **1.2.5: Características de funcionamiento del sistema de Recirculación de gases.**

Los gases salen de la caldera con una temperatura de 350 °C y entran al calentador de aire regenerativo (CAR), los que salen después de ceder el calor al aire en el mismo a 145 °C. Antes de entrar al CAR, una determinada cantidad de gases se recirculan hacia la caldera mediante un ventilador denominado "Ventilador de Recirculación de Gases (VRG). Estos ventiladores que se señalan son 2, estando dispuestos de forma tal que la recirculación de gases que se realiza sea homogénea en ambos lados de los conductos. El objetivo principal de esta recirculación de gases es mantener la temperatura adecuada en el vapor recalentado principalmente a potencias inferiores a 150 MW ya que para potencias superiores a esta el volumen de gases que se genera producto de la combustión generalmente es suficiente para alcanzar dicha temperatura. Este flujo de gases de recirculación se regula mediante las compuertas de regulación en la entrada del VRG en función del flujo y temperatura del vapor recalentado a la salida del recalentador #2. Para mas detalles ver anexo #4.

### 1.2.6: Características de funcionamiento de los Ventiladores de Tiro Forzado (VTF).

El aire procedente de los VTF pasa por los precalentadores de aire y eleva su temperatura hasta 75 °C con el objetivo principal de elevar la temperatura del aire a la entrada del CAR para reducir la posibilidad de que se alcance el punto de rocío en el lado frío de los mismos; de los precalentadores el aire pasa a los CAR donde eleva su temperatura hasta 305 °C y de éstos se distribuye hacia las cajas de aire de los quemadores para participar en la combustión. Antes de llegar al CAR existe un puente de gases entre ambos conductos de descarga de los respectivos VTF con una compuerta intermedia. De dicho puente salen dos líneas, una a cada lado de la compuerta que van cruzadas hacia las compuertas de sellaje de los conductos de gases antes de la entrada del CAR.

El cruzamiento de esta línea tiene como objetivo poder mantener el aire de sellaje desde la otra sección en caso que se dispare el VTF y CAR de la sección correspondiente a dicha compuerta de sellaje. También existe un puente de aire a la salida del CAR entre ambos conductos de aire con el objetivo de igualar las presiones del aire en ambas secciones antes de entrar a los quemadores. Después de este puente sale una línea de aire de cada conducto que va hacia el sellaje de la compuerta del conducto de recirculación de gases situada entre el VRG y la caldera correspondiente a cada sección. Para mas detalles ver anexo #5.

*Tabla #8 Nomenclatura de los equipos anteriores.*

Equipos	Nomenclatura
Ventilador de Tiro Forzado	NG10 y 20 M101
Ventilador Recirculador de Gases	NS10 y 20 M101
Bombas de Alimentar	RL01,11 y 21M101
Bombas de Enfriamiento	VG01 y 11M101
Bombas de Circulación	VC01 y 11M101

Bombas de Condensado	RM 31,32 y 33M101
----------------------	-------------------

### **1.2.7: Métodos de arranque de motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla.**

- 1- A pleno voltaje (directamente de la red).
- 2- A voltaje reducido.
  - a. por medio de autotransformador (compensador).
  - b. por medio de resistencia en serie (resistor).
  - c. por medio de reactancia en serie (reactor).

En ambos casos, la corriente de arranque generalmente resulta mayor que la nominal, produciendo las perturbaciones comentadas en la red de distribución. Estos inconvenientes no son tan importantes en motores pequeños, que habitualmente pueden arrancar a tensión nominal.

Todo motor polifásico de inducción puede ponerse en marcha con seguridad, aplicando todo el voltaje de la red en el primer momento, sin producirse perjuicios al motor, pero la fuerte corriente de arranque adsorbida puede producir fluctuaciones demasiado grandes de potencia y voltaje en la red suministradora de la energía eléctrica.

Por ejemplo, el código de los límites de corriente en el arranque indicados se muestra a continuación:

Hasta 3 HP 4,0 . In  
Más de 3 hasta 6 HP 3,5 . In  
Más de 6 hasta 9 HP 3,1 . In  
Más de 9 hasta 12 HP 2,8 . In  
Más de 12 hasta 15 HP 2,5 . In  
Más de 15 hasta 18 HP 2,3 . In  
Más de 18 hasta 21 HP 2,1 . In  
Más de 21 hasta 24 HP 1,9 . In  
Más de 24 hasta 27 HP 1,7 . In  
Más de 27 hasta 30 HP 1,5 . In  
Más de 30 HP 1,4 . In

La máxima caída de tensión en la red no debe superar el 15% durante el arranque. Los circuitos con motores deben contar con interruptores que corten



todas las fases o polos simultáneamente y con protecciones que corten automáticamente cuando la corriente adquiera valores peligrosos. En los motores trifásicos debe colocarse una protección automática adicional que corte el circuito cuando falte una fase o la tensión baje de un valor determinado. Cuando haya de reducirse la corriente de arranque, se emplea uno de los métodos a voltaje reducido para disminuir el voltaje aplicado durante el arranque. En el método a voltaje reducido por medio de autotransformador el motor se conecta con el secundario a un autotransformador. Después que la máquina se ha acelerado suficientemente, el motor se conecta a pleno voltaje de la red. Con este método solo hay dos gradaciones en las maniobras de la puesta en marcha: un voltaje reducido de un valor definido y, después, el voltaje directo de la red. Los aparatos de puesta en marcha que emplean el método de autotransformador para reducir el voltaje se llaman aparatos de puesta en marcha compensadores o de autotransformador. En el segundo método, la resistencia se conecta en serie con los conductores de la red del motor. En muchos casos solo se usa un escalón, de modo que el motor se conecta primero con la red, poniendo en serie una resistencia intermedia de un valor determinado, y después, cuando la máquina se ha acelerado suficientemente, se da todo el voltaje de la red. Donde las condiciones de la puesta en marcha son más duras, o cuando haya que regularse más ajustadamente la corriente de la puesta en marcha, se emplean escalones adicionales para ir desconectando las resistencias. El método por medio de reactancias es semejante al método de resistencia en serie, excepto que lo que se inserta en serie con el motor, durante la puesta en marcha, es una reactancia en lugar de una resistencia. Con este método se usa tan solo un escalón de reactancia. Para un mismo par de arranque desarrollado, el método de autotransformador limita al mínimo el valor de la corriente de puesta en marcha. La potencia eléctrica consumida durante el período de arranque será considerablemente menor que si se usa resistencia. Una desventaja de este método consiste en que generalmente el motor está enteramente desconectado de la red durante el período de transición que media entre el voltaje reducido y el

directo de la red. Esto tiene como consecuencia que se presenta una culminación de intensidad en el instante en que se aplica el voltaje directo.

### **1.2.8: Arranque directo de motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla.**

Se dice que un motor arranca en forma directa cuando a sus bornes se aplica directamente la tensión nominal a la que debe trabajar. Si el motor arranca a plena carga, el bobinado tiende a absorber una cantidad de corriente muy superior a la nominal, lo que hace que las líneas de alimentación incrementen considerablemente su carga y como consecuencia directa se produzca una caída de tensión. La intensidad de corriente durante la fase de arranque puede tomar valores entre 6 a 8 veces mayores que la corriente nominal del motor. Su principal ventaja es el elevado par de arranque: 1,5 veces el nominal. Siempre que sea posible conviene arrancar los motores a plena tensión por la gran corriente de arranque que se obtiene, pero si se tuvieran muchos motores de media y gran potencia que paran y arrancan en forma intermitente, se tendrá un gran problema de perturbaciones en la red eléctrica. Las características de arranque y funcionamiento de los motores de inducción con rotor en cortocircuito dependerán ampliamente del diseño del rotor. Esto hace que los motores se presenten en varios grupos en función de la corriente de arranque y el deslizamiento.

Los valores de resistencia óhmica y reactancias de las barras y los aros del rotor son en definitiva los que modifican las características de arranque y funcionamiento del motor.

Independientemente del diseño las corrientes que circulan por las barras del rotor son de valores que superan en muchas veces las corrientes del estator.

La situación más crítica se presenta en el momento de arranque, donde la intensidad de la corriente en las barras alcanza centenas y hasta miles de amperes en los motores de gran potencia. Esta alta corriente hace que la temperatura de las barras se eleve considerablemente durante el arranque lo que puede traer daños en el funcionamiento del rotor.

(Tenga presente que en estos momentos la ventilación es nula).

Características de arranque.

- ◆ Arranques a 6 kv, 60 Hz.
  - ◆ Momentos característicos de la curva de arranque.
1. Momento de arranque.
  2. Momento mínimo.
  3. Momento Máximo.

### **1.2.9: Momento de arranque y momento máximo.**

Estos parámetros definen los puntos más importantes de la características de arranque la cual a su vez, para un momento de inercia y de resistencia de la carga dados, el tiempo de arranque del motor, que a su vez es un parámetro dado por el fabricante y que da una medida de la buena selección del motor, puesto que si el motor, durante el arranque con la carga para la que fue adquirido, demora más de dicho tiempo, es evidente que se dio mal el momento de inercia, el momento de resistencia de la carga o ambos, o se seleccionaron mal los momentos de arranque y máximo.

Cuando se utiliza una maquina de inducción para arrancar y accionar una carga mecánica a una velocidad determinad, es posible que sucedan tres situaciones diferentes:

1. El torque eléctrico de arranque que suministra la maquina puede ser inferior al torque mecánico que requiere la carga en reposo para comenzar a moverse. En esta situación la maquina no puede acelerar, el rotor esta detenido o bloqueado. La corriente es varias veces la nominal y si no se pone remedio a esta situación, la maquina corre un serio riesgo de dañarse por calentamiento excesivo.
2. El torque eléctrico es exactamente igual al torque de la carga. Esta situación tiene el mismo problema que el primer caso. Si los torques eléctricos y mecánicos están equilibrados, no es posibles acelerar la maquina.

3. El torque eléctrico de arranque es mayor que el torque mecánico de la carga. En estas condiciones, existe un torque acelerante que permite incrementar la velocidad del rotor, hasta un punto de la característica torque eléctrico – deslizamiento donde se equilibran los torques de la maquina y de la carga. Si la velocidad alcanzada en este punto es cercana a la velocidad sincrónica, la corriente disminuye a un nivel que permite la operación en régimen permanente. Cuando la maquina opera en este punto, un pequeño incremento de la carga mecánica, reduce la velocidad e incrementa el torque eléctrico de accionamiento, obteniéndose un nuevo punto de operación.

### **1.3: Datos Mecánicos.**

---

#### **1.3.1: Características Constructivas.**

##### **Dimensiones.**

Las dimensiones y masa del motor dependen de las exigencias de la máquina accionada, de las dimensiones y resistencia mecánica de la base existente, de la posibilidad de resonancia y de las dimensiones del local de ubicación.

##### **Dimensiones básicas:**

###### Para un motor horizontal:

- Altura del eje.
- Diámetro y ajuste de la punta del eje.
- Distancia entre el primer agujero y la punta del eje.
- Distancia longitudinal entre los agujeros de anclaje.
- Distancia transversal entre los agujeros de anclaje.
- Diámetro de los agujeros de anclaje.

###### Para un motor vertical:

- Altura de la punta del eje a la superficie de apoyo de la brida.
- Número de orificio de la brida.
- Diámetro de los orificios de la brida.
- Diámetro a los orificios de la brida.

- Diámetro y ajuste del escalón de la brida.
- Altura del escalón de la brida.
- Diámetro y ajuste de la punta del eje.

#### **Sentido de giro del motor.**

- Estará en dependencia de las exigencias de la carga y se dará siempre mirando desde el lado del acoplamiento principal, pudiendo ser en sentido horario (CW) o antihorario (CCW).
- Se solicitará el sentido de giro del motor de acuerdo a las exigencias de la carga.
- Se tendrá en cuenta la necesidad de intercambiabilidad de los motores y en este caso se solicitará una máquina con doble sentido de rotación.
- No se solicitarán motores con doble sentido de giro, a no ser en caso estrictamente necesario, por cuanto el fabricante obtiene un mejor rendimiento con ventiladores de enfriamiento diseñados para un solo sentido de giro.

#### **1.3.2: Otras características constructivas:**

- Caja de conexiones:
  - Posición izquierda o derecha vista desde el lado del acoplamiento.
  - Altura de los aisladores terminales.
  - Altura de la entrada.
  - Distancia desde la punta del eje al centro de la caja.
  - Diámetro de la entrada.
  - Prese de la entrada del cable.
- Caja de conexiones de elementos sensores y calefacción: posición respecto a la punta del eje.
- Bujes de centrado: dos en diagonal.
- Tornillos para el desplazamiento vertical del motor durante el alineamiento: cuatro tornillos
- Para motores de más de 1000 kW la conexión de las fases del enrollado será atornillada.

#### **1.3.3: Requerimientos de acoplamientos.**

Los tipos de acoplamientos a utilizar pueden ser:

Acoplamiento directo:

- Rígido
- Semirígido por elementos de acoplamiento de nylon o goma.
- Semirígido por elementos de acoplamiento de resortes.

Acoplamiento Indirecto:

- Acoplamiento por engranaje.
- Acoplamiento por poleas y correas.
- Acoplamiento hidráulico.
- Generalmente se utiliza el acoplamiento directo, siendo el acoplamiento directo rígido, el más exigente en las condiciones de operación.
- Cuando el acoplamiento es indirecto, el cliente dará la relación de transmisión.

**1.3.4: Grado de protección del motor.**

Las carcazas y demás accesorios de acuerdo a las características del lugar donde serán instalados los motores, deben tener un determinado grado de protección. Para las Centrales eléctricas, los motores deben ser IPW55 para el trabajo a intemperie e IP54 para el trabajo bajo techo.

**1.3.5: Requerimientos de lubricación.**

Tipo de lubricante: el fabricante recibirá las siguientes características de los lubricantes que serán utilizados por el cliente:

- Para grasas: temperatura de trabajo, temperatura de goteo, grado de viscosidad y jabón base (siempre litio)
- Para aceites: temperatura de trabajo, punto de inflamación, por ciento de humedad permisible, grado de viscosidad, errumbe, conductividad.
- Intervalo de lubricación: estará en correspondencia con lo establecido en el Manual del Fabricante de los Rodamientos, y con el programa de lubricación de la planta que será informado por el cliente.

- El cliente comprobará que las características del aceite que utilizará en su sistema de lubricación corresponda con las exigidas por el fabricante de los cojinetes de deslizamiento.

### 1.3.6: Temperatura ambiente.

En motores que trabajan a temperaturas ambientes superiores a 40°C, el bobinado puede alcanzar temperaturas perjudiciales para el aislamiento.

### 1.3.7: Vibraciones y Ruidos.

- Límites de severidad según normas ISO, 10816, 3945 ó 2372.

*Tabla #9: Límites recomendados para la severidad de vibración.*

Balanceo	Velocidad rpm de la máquina	Máximo valor eficaz de vibración para la altura H del eje.		
		56 a 132	160 a 225	250 a 355
		mm/s	mm/s	mm/s
N (normal)	600 a 1800	1.8	1.8	2.8
	1800 a 3600	1.8	2.8	4.5
R (reducida)	600 a 1800	0.71	1.12	1.8
	1800 a 3600	1.12	1.8	2.8
S (especial)	600 a 1800	0.45	0.71	1.12
	1800 a 3600	0.71	1.12	1.8

### Otros criterios de aceptación referentes al espectro de las vibraciones:

- El rotor debe ser balanceado dinámicamente, cumpliendo con el Grado de calidad del balanceo según la norma ISO 1940/1.
- Para el balanceo y medición del grado de vibración de los motores con chavetero en la punta del eje, éste debe ser ocupado con media chaveta.

- Las mediciones de vibraciones deben ser efectuadas sobre los cojinetes, en la proximidad del eje, en tres direcciones perpendiculares (radial vertical, radial horizontal y axial) con la máquina en operación funcional normal.
- Para permitir la evaluación del balanceo y de la vibración del motor eléctrico, es necesario efectuar mediciones con la máquina desacoplada, bajo condiciones de ensayo determinadas, de forma que permita la reproducción de los ensayos y obtener medidas comparables.
- Para las mediciones que se realicen con la máquina en vacío y desacoplada, funcionando en la frecuencia y tensión nominales se tomarán los límites recomendados para la severidad de vibración, conforme la norma ISO 10816 - 1.
- La vibración de la máquina eléctrica está relacionada con su montaje, por ello al efectuar las mediciones en condiciones reales de instalación y funcionamiento, los valores del nivel global de velocidad efectiva, deben corresponder con el estado Bueno de la Guía de severidad de la norma ISO 10816-1.
- ◆ Los espectros de vibración deben ser obtenidos con el sensor adecuado, configurados con el rango de frecuencias conveniente y con la suficiente resolución para los valores de frecuencias esperados de acuerdo a las características constructivas de la máquina a analizar.
- ◆ Los problemas mecánicos inherentes al motor, deben ser identificados y resueltos antes del equilibrado, como son las posibles deformaciones en el eje del rotor, desalineamiento entre los cojinetes del motor, posibles soldaduras de los cojinetes en sus alojamientos o defectos de los propios cojinetes.
- ◆ Los problemas eléctricos del motor debido a fuerzas electromagnéticas desiguales se ponen en evidencia cortando la alimentación eléctrica, desapareciendo el o los picos correspondientes sobre el espectro.
- ◆ No deben aparecer picos significativos en la frecuencia de línea y sus múltiplos, en la frecuencia de rotación y sus múltiplos con modulación en frecuencia y otras frecuencias que dependen de los elementos cinemáticos del motor (Número de polos, de entalladuras del estator, de barras del rotor, de



paletas del o los ventiladores, velocidad de rotación y de la denominación de los rodamientos si los tiene).

### 1.3.8: DATOS MECÁNICOS DE LOS MOTORES DE 6kV.

#### Motor Eléctrico Bomba de Circulación.

Tabla #10: Datos mecánicos del Motor Eléctrico Bomba de Circulación.

Datos Técnicos del Motor Bomba de Circulación	U/M	PARÁMETROS
Acero		Si
Tipo de Rotor		SQUIREL CAGE
Inercia del Rotor MR <sup>2</sup>	Kgm <sup>2</sup>	280
Temperatura de Calculo	°C	40
Incremento de Temperatura	°C	80
Sistema de Enfriamiento de la IEC		IC611
Código de Construcción de la IEC		IM V1
Número de Extremos de Ejes		1
Forma de Terminación del Eje		CILINDRICO
Tipo de Acoplamiento		DIRECTO
Tipo de Rodamiento		NU 214
Rodamiento Guía		GUIDE ROLLER
Lubricante		GRASA
Sentido de Rotación del Rotor		ANTIHORARIO
Tipo de Caja Terminal		STEEL
Caja de Neutro Exterior		NO
Posición de la Caja Terminal		ON SIDE
Nivel de Ruido sin carga a 1 Metro	dB(A)	≤ 85
Peso total	Kg	10000
Peso Rotor	Kg	3200
Accesorios		X
Pintura para condiciones de ambiente marino, salino y severa corrosión		Si
Pruebas en fabrica en correspondencia con la IEC 34		Si
Pruebas de Rutinas		Si
Pruebas en vacío		Si
Pruebas con carga		Si
Dibujo preliminar		d. N9221A1
Juego de rodamientos de repuesto.	Set	Si
Dato del accionamiento de la carga del motor		17.7.2001

\*Las tablas que contienen los datos mecánicos de los demás motores se muestran en los anexos del 6 al 10.

#### **1.4: Análisis de los datos obtenidos.**

El proceso tecnológico en la Central Termoeléctrica (CTE) no es posible si no intervienen los equipos clasificados como categoría B, en ellos se deciden eventos fundamentales en la Sala de Máquinas, Equipos Auxiliares y Calderas, es por eso que revisten gran importancia además de su alto costo tecnológico que se seleccionan los equipos de 6kV y no otros que también tienen importancia pero su costo es mucho mayor. Debido a la demanda de potencia para poner en marcha cada uno de los accionamientos y que estos cumplan los requisitos tecnológicos es necesario utilizar motores de gran potencia. Los demás datos que presentan los motores de categoría B cumplen con los requisitos tecnológicos y las exigencias que presenta el proyecto.

#### **1.5: Conclusiones.**

1. Se tienen los datos de los motores asíncronos de la unidad #1.
2. Se han recopilado los principales datos que permite realizar un análisis de los motores de 6kV de la unidad #1 de la CTE de Felton los cuales son:
  - Datos nominales de cada motor.
  - Datos mecánicos de cada motor.
  - Funciones de cada uno de los motores.
  - Conceptos básicos.
3. Con los datos expresados en este capítulo podremos realizar los cálculos y posteriormente el análisis del funcionamiento de los motores de categoría B así como sus principales deficiencias como se podrá apreciar en los capítulos posteriores.

## **CAPÍTULO II: Pruebas Tecnológicas y de Puesta en Marcha.**

---

2.1: Introducción.

2.2: Ensayos no Destructivos.

2.2.1: Determinar Resistencia de Aislamiento.

2.2.2: Determinar Coeficiente de Absorción.

2.2.3: Determinar Índice de Polarización.

2.2.4: Determinar Rigidez dieléctrica de Corriente Directa (coeficiente de alinealidad).

2.3: Ensayos Destructivos.

2.3.1: Determinar Rigidez Dieléctrica con Corriente Alterna (corriente de fuga).

2.3.2: Prueba del Acero Activo.

2.3.3: Prueba de Descarga Parcial.

2.4: Resultado de los Ensayos.

2.5: Conclusiones del Capítulo II.

### 2.1: Introducción.

Los sistemas aislantes de las máquinas eléctricas están constituidos por una combinación de material aislante propiamente dicho, una estructura de soporte con buenas propiedades mecánicas y térmicas y un material aglutinante. El aislante más utilizado desde fines de siglo pasado es la mica, aplicada habitualmente en forma de láminas compactadas o papel compuesto por partículas de este material. Como material soporte se suele utilizar vidrio, papel y poliéster y como aglutinante los modernos sistemas aislantes utilizan resinas sintéticas del tipo epoxi.

A partir de todos los elementos anteriores, mediante procedimientos que varían de un fabricante a otro, se construye el aislamiento de cada una de las bobinas que componen los devanados de la máquina. El sistema aislante de una máquina, durante su funcionamiento esta sujeto a esfuerzos mecánicos, eléctricos, térmicos y de entorno ambiental de diversa magnitud. Estos esfuerzos son el origen de su degradación gradual y están motivados por las siguientes causas:

MECÁNICAS: Se producen como consecuencia de cortocircuitos o arranques, circunstancias en las que las altas corrientes circulantes determinan importantes esfuerzos electrodinámicos, una fijación insuficiente de las cabezas de bobina o un acuñado incorrecto en el estator, son las principales fuentes de degradación.

ELÉCTRICAS: Se producen normalmente por efecto de las elevadas tensiones ocasionadas por perturbaciones de la red y maniobras con interruptores. Las degradaciones producidas como consecuencia de otros efectos como fisuras, vacíos, separación del conductor del aislante, envejecimiento o contaminación, son la principal causa de las fallas eléctricas.

TÉRMICAS: El incremento de temperatura de los devanados puede estar ocasionado por un incremento de las pérdidas o por una deficiente refrigeración. Causas habituales del incremento de pérdidas son las sobrecargas o los excesivos ciclos de arranque consecutivos, para los cuales la máquina no está concebida.

En cualquier caso, imponer al aislante temperaturas de funcionamiento superiores a las de su clase conlleva a un envejecimiento prematuro del material con las consiguientes pérdidas de sus cualidades mecánicas y dieléctricas.

ENTORNO AMBIENTAL: En máquinas abiertas el grado de contaminación del entorno es particularmente importante; un ambiente de humedad, aceite, ácido, polvo con partículas conductoras o la entrada de cuerpos extraños puede dar lugar a un alto nivel de degradación. El envejecimiento del aislamiento reduce su resistencia eléctrica y mecánica, de este modo, una onda de sobre tensión provocada por una descarga atmosférica o por una maniobra, o bien en un esfuerzo mecánico producido durante un arranque pueden ser las causas de la rotura del aislante y de un cortocircuito. El fallo puede ocurrir a veces sin envejecimiento previo si existe algún tipo de deficiencia derivada del proceso de fabricación; o bien si el motor no está correctamente dimensionado o utilizado. Sin

embargo, estos casos son los menos habituales. La vida útil durante la cual una máquina eléctrica prestará servicio será por tanto muy dependiente de lo capaz que sea su sistema aislante de seguir realizando sus funciones. El hecho de que existan varios tipos de ensayos y que no todos coincidan en sus objetivos, es indicativo de que ninguno es capaz de determinar, de una forma clara el estado de los devanados.

## **2.2: Ensayos no Destructivos.**

Las pruebas no destructivas, como su nombre lo indica, no provocan ningún daño al aislamiento bajo ensayo, ya que las mismas se realizan a niveles de tensión nominal de trabajo de las máquinas o en última instancias, como en el caso del ensayo para la determinación del coeficiente de alinealidad, controlando ciertos parámetros límites que indican la detención de la prueba a un nivel determinado.

### **2.2.1: Determinar Resistencia de Aislamiento.**

Para la realización de esta prueba es necesario poseer un megómetro adecuado, o al menos 5000 V y de ser posible que tenga la posibilidad de medir la resistencia de aislamiento por pasos a distintos voltajes (100, 500, 1000..... 5000 V) y cumplir los requisitos adecuados establecidos para la misma.

Este ensayo consiste en la obtención de varios parámetros para que controlándolos nos indiquen la detención oportuna de un posible fallo en el aislamiento de la máquina.

#### Factores que afectan la prueba de resistencia de aislamiento.

A menos que las mediciones de resistencia de aislamiento y absorción dieléctrica se lleven a cabo con un alto grado de habilidad, se presentarán fluctuaciones importantes provocadas por factores que se discuten en los párrafos siguientes. Cada uno de estos factores pueden ser causa de grandes errores en la medición de la resistencia de aislamiento, los cuales no deben considerarse como problemas del aparato de medición.

### Efecto de la condición de la superficie del aislamiento.

Los depósitos tales como carbón, polvo o aceite depositados en las superficies aislantes pueden bajar la resistencia de aislamiento. Este factor es particularmente importante cuando se tienen superficies aislantes relativamente grandes expuestas al ambiente. El polvo depositado sobre las superficies aislantes, ordinariamente no es conductor cuando está seco, pero cuando se expone a la humedad se vuelve parcialmente conductor y baja la resistencia de aislamiento, por lo que se deberá eliminar toda materia extraña que esté depositada sobre el mismo antes de efectuar la prueba.

### Efecto de la humedad.

Una gran parte de los materiales utilizados en los sistemas de aislamiento como son el aceite, el papel, el carbón y algunas cintas, son higroscópicas y por lo tanto capaces de absorber humedad ocasionando una reducción de la resistencia de aislamiento. Actualmente se construyen algunas máquinas rotatorias con aislamiento que no absorben humedad, pero si la temperatura alcanza un valor igual o inferior al punto de rocío se puede formar una película de humedad sobre la superficie del aislamiento, reduciendo su resistencia. Es importante sobre todo en el caso de las máquinas rotatorias efectuar las pruebas cuando los devanados tengan una temperatura superior a la del punto de rocío; esto es necesario especialmente en el caso de equipos de importancia. Para ello se efectúan mediciones de temperaturas del bulbo húmedo y bulbo seco para determinar el punto de rocío y la humedad absoluta o relativa.

### Efecto de la temperatura.

La resistencia de aislamiento varía inversamente con la temperatura para la mayor parte de los materiales aislantes. Para comparar apropiadamente las mediciones periódicas de resistencia de aislamiento, o convertir cada medición a una misma base. Esta conversión se efectúa con la siguiente ecuación:

$$R_n = R_a * 2^{[(T_2 - T_1)/a]} \quad (1)$$

Donde:

$R_n$  : Resistencia de aislamiento a la temperatura T1.

$R_a$  : Resistencia de aislamiento a la temperatura T2

$a$  : es el coeficiente térmico de la resistividad.

Para hallar el coeficiente térmico de resistividad realizamos dos pruebas de aislamiento ( $R_{60}$ ) sucesivas a dos temperaturas diferentes. La primera prueba se puede efectuar poco después del equipo salir del horno (estado caliente) y la segunda después que el equipo se ha enfriado a la temperatura ambiente.

Si al aumentar el potencial de prueba se reducen significativamente los valores de resistencia de aislamiento, esto nos puede indicar que existen imperfecciones o fracturas del aislamiento, posiblemente agravados por suciedad o humedad, aún cuando también la sola presencia de humedad con suciedad puede ocasionar este fenómeno.

#### Efecto de la carga residual.

Un factor que afecta no solo las mediciones de resistencia de aislamiento sino también la de absorción dieléctrica y el índice de polaridad es la carga previa en el aislamiento. Esta carga puede originarse porque el equipo trabaja aislado de tierra o por una aplicación de voltaje de corriente directa en una prueba anterior. Por lo tanto es necesario que se descarguen los aislamientos mediante una conexión de todas sus fases a tierra, durante 10 minutos.

#### Efecto del circuito de prueba.

Básicamente existan 2 circuitos de prueba para la medición de la resistencia de aislamiento en las máquinas rotatorias: circuito de prueba utilizando la guarda y circuito de prueba sin utilizar guarda. Dentro de estos dos tipos de circuitos existen varias conexiones según sea el tipo de información que se requiera. Se recomienda siempre que sea posible y práctico que se separen las fases y se prueben independientemente, ya que con ello se puede establecer una comparación entre las mismas que es muy útil para la evaluación de las condiciones presentes y futuras del devanado.

Por otro lado las pruebas de todas las fases a la vez tienen el inconveniente de que únicamente se prueba el aislamiento a tierra y se omite la prueba del aislamiento entre fases.

### 2.2.2: Determinar Coeficiente de Absorción (Ka).

Es la razón existente entre la Resistencia de Aislamiento medida a los 15 segundos y 60 segundos. Este coeficiente, muy empleado en la década del 50, permite evaluar, con cierta confiabilidad, la Resistencia de Aislamiento y el estado de contaminación.

Para la determinación del coeficiente de absorción (Ka) se calcula el cociente entre R15 y R60 atendiendo a lo señalado en la siguiente expresión:

$$Ka = \frac{R60''}{R15''} \quad (2)$$

Donde:

R60'': Resistencias del aislamiento en 15 segundos.

R15'': Resistencia del aislamiento en 60 segundos.

*Tabla #16: Criterios de aceptación del coeficiente de absorción.*

Criterio	Valor de Ka
Pobre	< 1,1
Dudoso	≥1,1 hasta < 1,25
Aceptable	≥1,25 hasta < 1,40
Bueno	≥1,40 hasta < 2
<i>Excelente</i>	mayor que 2

El ensayo para la determinación del coeficiente de absorción se realiza con un megómetro de 2000 V ó 2500 V capaz de proporcionar una intensidad de corriente de al menos 2 mA e inferior a 5 mA.

### 2.2.3: Determinar Índice de Polarización (I P)



Es la razón existente entre la Resistencia de Aislamiento medida desde 1 hasta 10 minutos. Este coeficiente evalúa el grado de contaminación. El Índice de Polarización (IP) es el indicador de mayor aceptación en la actualidad para la evaluación de la Resistencia de Aislamiento y la presencia de contaminación y humedad presentes en el aislamiento de las Máquinas Eléctricas Rotatorias de Gran Potencia (MERGP). Los criterios obtenidos a partir de la aplicación del ensayo de Resistencia de Aislamiento en Función del Tiempo son más certeros que los derivados del ensayo de Coeficiente de Absorción y permiten determinar, de manera confiable, el estado general del aislamiento entre fases y en el aislamiento a tierra, es decir si éste se encuentra fallado, si se encuentra con un nivel de aislamiento apropiado, si ha absorbido humedad o se encuentre contaminado.

Para la determinación del Índice de Polarización se miden los valores de la resistencia de aislamiento medidos al 1er minuto ( $R1'$ ), y a los 10 minutos ( $R10'$ ), respectivamente de aplicada la tensión de ensayo al devanado objeto de prueba.

$$IP = \frac{R1'}{R10'} \quad (3)$$

Donde:

$R1'$ : Resistencia medida en el primer minuto de haber sido aplicada la tensión.

$R10'$ : Resistencia medida en el décimo minuto de haber sido aplicada la tensión.

El Índice de Polarización también puede ser determinado como:

$$IP = \frac{R10'}{R1'} \quad (4)$$

Donde:

$R1'$ - Resistencia medida en el primer minuto de aplicada la tensión.

$R10'$ - Resistencia medida el décimo minuto de aplicada la tensión.

*Tabla #18: Criterios aceptación para el índice de polarización.*

Valor	Criterio
-------	----------

$\geq 1,5$	Pobre
1,5 hasta 2	Dudoso
2 hasta 3	Aceptable
Mayor que 3	Bueno

#### 2.2.4: Determinar Rigidez Dieléctrica con Corriente Directa.

Este ensayo se realiza inmediatamente después del ensayo de resistencia de aislamiento en función del tiempo si el resultado es satisfactorio.

Este ensayo se realiza cuando la temperatura del devanado sea la de estado frío, esta temperatura debe ser tal que evite la condensación sobre la superficie del aislamiento. Además la humedad relativa será  $\leq 75\%$ , siendo admisible hasta el 80% en temporada de lluvia. Las máquinas con sistema de enfriamiento forzado, por agua a través del devanado del estator, sólo pueden ser ensayadas si el líquido refrigerante es totalmente evacuado, o manteniendo dicho sistema en pleno funcionamiento.

El método empleado consiste en la aplicación de una tensión de ensayo de corriente directa en un rango determinado que depende de la tensión nominal de la máquina, objeto de ensayo, dividido en seis escalones uniformes de tensión y la medición en cada escalón de las tensiones y las corrientes de conducción, a intervalos de 1 minuto.

El valor mínimo de la tensión de ensayo, primer escalón de tensión, será calculado como:

$$U_{min} = 0.5 * U_{nom}, \text{ kV} \quad (5)$$

Las tensiones correspondientes a cada escalón se determinan a partir de los valores máximos ( $U_{máx}$ ) y mínimos ( $U_{mín}$ ) de tensión de la siguiente forma:

Se calcula el incremento de tensión por escalón ( $\Delta U_{esc}$ ) como:

$$\Delta U_{esc} = \frac{U_{máx} - U_{mín}}{n}, \text{ kV} \quad (6)$$

Donde:

$n$  -número de que depende la cantidad de escalones y estos a su vez de la tensión de la MERGP ensayada.

# Escalones =5  $\forall 6 \leq U_{nom} \leq 6kV$

# Escalones =6  $\forall U_{nom} >6kV$

Determinándose  $n$  a partir de la siguiente fórmula:

$$n = \# \text{ Escalones} - 1 \quad (7)$$

*Tabla #20: Tensiones recomendadas para el ensayo de rigidez dieléctrica con corriente directa al devanado del estator de las MERGP.*

Tensión nominal de la MERGP	Tensión de ensayo
3.0	7.7
3.3	8.4
4.0	9.8
6.0	13.9
6.3	14.5
6.6	15.1
10.0	22.1
11.0	24.1
13.2	28.6
13.8	29.9
15.0	32.3

La tensión empleada para el ensayo se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$U_{ens} = 1.6 * (1.28 * U_{nom} + 1) \quad (8)$$

Determinar Coeficiente de Alinealidad con Corriente Directa.

Se realiza con corriente directa de alta tensión, cuando una tensión de directa se aplica al aislamiento el gradiente de tensión se controla por la resistividad del aislamiento. Para la mayoría de los sistemas de aislamiento éstos se aproximan al

gradiente cuando se aplica corriente alterna y en este caso está controlado por la permitividad. En el caso de las máquinas rotatorias éstas están compuestas por diferentes materiales en las cabezas y en las rectas y la distribución de esfuerzos a través de ellos no es la misma que cuando aplicamos tensión, o sea, los efectos sobre el aislamiento no son los mismos y sobre todo el ensayo con corriente directa es el único que prueba el aislamiento de las cabezas por eso lo consideramos imprescindible. Esta prueba solo puede realizarse si el resultado de la medición de la resistencia de aislamiento es satisfactorio.

Esta prueba permite además la obtención de la característica de intensidad vs tensión mediante la obtención de 6 valores de corriente de conducción correspondiente a los 6 valores de tensión de corriente directa. Los valores de la corriente de conducción se medirán a los 15 y 60 segundos de aplicado el voltaje de cada escalón.

Para la ejecución de esta prueba se tomarán 6 escalones uniformes de tensión. El valor máximo de la tensión de ensayo ( $U_{max}$ ) se determina en dependencia de la tensión nominal del equipo que será sometido a ensayo. Se probará cada fase por separado estando las otras 2 unidades entre sí, conectadas al estator y firmemente aterradas. Los valores máximos permisibles para cada escalón son los siguientes:

*Tabla #21: Valores máximos permisibles para cada escalón.*

U/Unom	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Icond $\mu$ A	250	500	1000	2000	3000	3500

El coeficiente de alinealidad ( $K_h$ ) se calcula según la siguiente fórmula:

$$K_h = \frac{I_{m\acute{a}x} * U_{mín}}{I_{mín} * U_{máx}} \quad (9)$$

$U_{mín}$ : Tensión mínima durante el ensayo (kV)

$U_{máx}$ : Tensión máxima durante el ensayo (kV)

$I_{mín}$  : Corriente medida a los 60 segundos de aplicada la tensión  $U_{mín}$  ( $\mu A$ )

$I_{máx}$  : Corriente medida a los 60 segundos de aplicada la tensión  $U_{máx}$  ( $\mu A$ )

Criterio de aceptación.

$$1 \leq Kh \leq 3$$

Durante este ensayo se calculará adicionalmente el coeficiente de absorción ( $Ka$ ) para cada escalón de tensión, tomando los respectivos valores de tensión y corriente obtenidos durante la prueba mediante la expresión:

$$Ka = I_{15''} / I_{60''} \quad (10)$$

Donde:

$I_{15''}$  : Intensidad de la corriente de fuga a los 15 segundos de aplicada la tensión correspondiente a cada uno de los escalones.

$I_{60''}$  : Intensidad de la corriente de fuga a los 60 segundos de aplicada la tensión correspondiente a cada uno de los escalones.

### **2.3: Ensayos Destructivos.**

Es el ensayo que se realiza con el objetivo de conocer la tensión de ruptura del aislamiento. Estas pruebas se realizan en casos excepcionales de reparación y en fábricas.

#### **2.3.1: Determinar Rigidez Dieléctrica con Corriente Alterna (corriente de fuga).**

Este ensayo solo puede efectuarse si la prueba de medición de la resistencia de aislamiento fue exitosa, y una vez concluida el mismo deberá repetirse el ensayo del megómetro el cual debe arrojar los mismos resultados que antes de la aplicación del potencial elevado. Su realización consiste en la aplicación, durante un minuto, de una tensión de corriente alterna sinusoidal cuya magnitud depende de: la tensión nominal; la potencia; el tiempo de servicio de la maquina; y en el caso de la fabricación de las bobinas en el taller, en que etapa de reparación se

encuentra el motor se encuentra la maquina. Durante la ejecución de este ensayo se mide la corriente de fuga a tierra por el lado de alta tensión.

*Tabla #23: Tensiones recomendadas para el ensayo de Rigidez Dieléctrica con Corriente Alterna al devanado del estator.*

Tensión nominal de la MERGP (kV)	Tensión de ensayo en función de la tensión nominal y la potencia nominal.		
	Máquinas Nuevas (kV)	Máquinas antes del 1er arranque (kV)	Máquinas en operación (kV)
2	4	3.2	2.6
3	7	5.6	1.5
3.3	7.6	6.1	4.9
4	9	7.2	5.8
6	13	10.4	8.3
6.6	14.2	11.4	9.1
10	21	16.8	13.4
11	23	18.4	14.7
13.2	27.4	21.9	17.5
13.8	28.6	22.9	18.3

### **2.3.2: Prueba del Acero Activo.**

Este ensayo se realiza con el núcleo a la temperatura del medio ambiente. La temperatura del núcleo no debe diferir en más de 5<sup>0</sup>C a la temperatura del medio. La detección y evaluación del estado técnico del aislamiento entre láminas del núcleo magnético de los estatores se determina mediante este ensayo, el cual consiste en un método de magnetización anular del núcleo, con una inducción magnética similar a la existente en la máquina en régimen nominal.

Si dicha inducción se desconoce el ensayo se realiza con una inducción de un Tesla el empleo de inducciones diferentes implicará cambios en el tiempo de duración del ensayo.

En esta prueba el núcleo del estator simula a un transformador que posee un devanado inductor (primario) y un devanado de control (secundario).

Las máquinas con sistema de enfriamiento forzado, por agua a través del devanado del estator, solo pueden ser ensayadas si el líquido refrigerante es totalmente evacuado. El ensayo del acero activo se realiza solamente con el rotor fuera del estator, si el devanado del estator presenta conexión múltiple de estrella o delta, deben abrirse todas las ramas en paralelo para evitar la circulación de corrientes inducidas durante la prueba.

Para iniciar dicho cálculo es necesario conocer el valor de los parámetros:

- Longitud Axial Total del Núcleo del Estator ( $L$ )
- Longitud Axial de los Canales de Ventilación ( $L_c$ )
- Cantidad de Canales de Ventilación ( $N_c$ )
- Diámetro externo del Núcleo del Estator ( $D_{ext}$ )
- Diámetro interno del Núcleo del Estator ( $D_{int}$ )
- Altura del Diente ( $H_d$ )
- Altura del Yugo o Culata ( $H_y$ )

Para ello deben medirse dichas dimensiones.

Para determinar el número de espiras del devanado inductor ( $\omega_1$ ) a 60 Hz se emplea la siguiente fórmula:

$$\omega_1 = \frac{37.5 * U}{S_y * B}, \text{ espiras} \quad (11)$$

Donde:

$U$  -tensión de la fuente de alimentación, por lo general se elige a partir del valor de tensión disponible directamente en el lugar del ensayo.

$B$  -Inducción magnética (1T)

$S_y$  -Sección transversal del yugo ( $\text{cm}^2$ ). Se determina a partir de:

$$S_y = (L - (N_c * L_c)) * k * H_y, \text{cm}^2 \quad (12)$$

$k$  -Factor de apilamiento de las láminas del núcleo del estator. Ver tabla #24.

$H_y$  – Altura de la culata y se determina:

$$H_y = \frac{D_{ext} - D_{int}}{2} - H_d, \text{ cm} \quad (13)$$

Tabla #24: Factor de apilamiento típico de las máquinas del núcleo del estator de las MERGP.

Espesor de la Lámina (mm)	Aisladas con Esmalte		Aisladas con Papel
	Rango	Valor Recomendado	
0.50	$0.90 \leq k \leq 0.95$	0.93	0.90
0.35	$0.87 \leq k \leq 0.94$	0.91	0.85

El devanado de control frecuentemente está constituido por una sola espira, sin embargo, ocasionalmente es necesario calcular un número de espiras con las cuales se obtenga un nivel de tensión entre el 80 y el 100% de la escala del voltímetro disponible. Para determinar el número de espiras del devanado de control se emplea la siguiente fórmula:

$$\omega_2 = \omega_1 = \frac{U_2}{U}, \text{ espiras.} \quad (14)$$

Donde:

$U_2$  -Tensión en los terminales del devanado de control. Este valor se elige a partir de las características de los instrumentos de medición disponibles (generalmente  $U_2$  se elige próximo a 100V por defecto).

La duración del ensayo para inducciones magnéticas de 1T o las correspondientes al régimen nominal de la MERGP ensayada, es de 90 minutos. Cuando por alguna razón no es posible alcanzar la inducción antes establecida, o si, por alguna razón es necesario variar el tiempo de duración del ensayo, se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo} = 90 * \left( \frac{B}{B_{RECT}} \right), \text{ minutos.} \quad (15)$$



Donde:

*Tiempo* -Duración del ensayo de Acero Activo.

*B* -Inducción Magnética (T)

$B_{RECT}$  - Inducción Magnética calculada por la siguiente fórmula (T):

$$B_{RECT} = \frac{U * 10^4}{\sqrt{2 * \pi * f * S_y * \omega}}, \text{ T} \quad (16)$$

El cálculo de la potencia mínima requerida para la realización del ensayo se determina a partir de la corriente máxima esperada, es decir:

$$I_{M\dot{A}X} = 1.1 * \frac{A\omega * (D_{EXT} + (D_{EST} - 2 * Hd))}{2 * \omega} * \pi, \text{ A} \quad (17)$$

Donde:

$I_{M\dot{A}X}$  - Corriente del devanado magnetizador (A).

$A\omega$  - Fuerza magnetomotriz específica ( $A * \omega / cm$ ).

Para un inductor de 1 tesla ver tabla a continuación:

*Tabla #25: Valores recomendables de fuerza magnetomotriz específica para el ensayo del núcleo del estator ( $A * \omega / cm$ ).*

Aceros laminados en frío		Aceros aleados	
Rango	Recomendado	Rango	Recomendado
$1.5 \leq A\omega \leq 1.7$	1.6	$2.0 \leq A\omega \leq 2.7$	2.4

*Tabla #26: Secciones transversales recomendadas para los conductores empleados durante el ensayo y evaluación del estado técnico del núcleo del estator de las MERPG en función de la corriente de magnetización.*

Corriente de magnetización (ver fórmula 17 )	30	45	60	85	105	130
Sección transversal del conductor de cobre (mm <sup>2</sup> )	6	10	16	25	35	50

Finalmente se determina la potencia necesaria para la realización del ensayo como:

$$S = U * I_{M\acute{A}X} * 10^{-3}, \text{ kVA} \quad (18)$$

El devanado de magnetización debe de ser colocado lejos de las zonas donde se sospecha que existan daños para facilitar la medición de la temperatura.

La evaluación de los resultados de este ensayo se realizará a partir de los criterios de pérdidas específicas y del incremento de la temperatura, las pérdidas específicas se determinan mediante la siguiente fórmula y se expresa en  $w/kg$  :

$$P_o = \frac{k_{TR} * P_{\omega} * \frac{\omega_1}{\omega_2}}{\rho * \left[ \left( \frac{\pi}{4} (D_{ext}^3 + D_{int}^3) - \frac{Z}{2} * (H_D * A_D) \right) * (L - (N_C * L_C)) \right]} \quad (19)$$

Donde:

$k_{TR}$  - Relación de transformación del transformador de corriente (TC).

$P_{\omega}$  - Potencia medida por el vatímetro (W).

$\rho$  - Densidad del acero electrotécnico de la MERGP. Ver tabla a continuación:

*Tabla #27: Densidad de los aceros electrotécnicos en función del contenido de silicio.*

Primera cifra de la marca del acero	Grado de aleación del acero al silicio	Contenido de Si (%)	Densidad ( $\rho$ ) Kg/cm <sup>2</sup>
1	Bajo	0.8-1.8	7.80
2	Medio	1.8-2.8	7.75
3	Elevado	2.8-3.8	7.65
4	Alto	3.8-4.8	7.55

\*En el acero laminado en frío 2.8-3.5 %.

La evaluación se realiza mediante la comparación del valor del resultado de la fórmula (19) con las pérdidas específicas correspondientes al acero electrotécnico de la MERGP en cuestión, según lo especificado por el fabricante.

### 2.3.3: Prueba de Descarga Parcial.

Una descarga parcial, como su nombre lo indica, es un fenómeno de rotura eléctrica que está confinado y localizado en la región de un medio aislante, entre 2 conductores que se encuentran a diferente potencial.

La localización de la descarga puede ser la consecuencia de un aumento del campo eléctrico en un determinado espacio, relativamente pequeño, comparado con las dimensiones del medio aislante. El aumento del campo puede ser debido a cambios bruscos en la naturaleza del aislante, que pueden ser provocados por vacuolas en un medio sólido o por espacio de gas entre las superficies de un aislante con un conductor o con otro aislante.

### 2.4: Resultado de los ensayos.

- Resultado del ensayo para la determinación del coeficiente de absorción del VTF.

$$Ka = \frac{R60''}{R15''} \qquad Ka_1 = \frac{4010\mu\Omega}{2005\mu\Omega} = 2.0$$

$$K\alpha_2 = \frac{3707.5\mu\Omega}{1483\mu\Omega} = 2.5 \quad K\alpha_3 = \frac{3398.10\mu\Omega}{1999.03\mu\Omega} = 1.94$$

Tabla #17: Resultados del ensayo para determinar el coeficiente de absorción del VTF.

Parte Medida	R 15 ( $\mu\Omega$ )	R 60 ( $\mu\Omega$ )	K abs
A vs B+C+Tierra	2005	4010	2.0
B vs A+C+Tierra	1483	3707.5	2.5
C vs B+A+Tierra	1999.03	3898.10	1.95

- Resultado del ensayo para la determinación del índice de polarización del VTF.

$$IP = \frac{R10'}{R1'} \quad IP_1 = \frac{8020.5\mu\Omega}{4010\mu\Omega} = 2.0$$

$$IP_2 = \frac{10381\mu\Omega}{3707.5\mu\Omega} = 2.8 \quad IP_3 = \frac{11616.3\mu\Omega}{3898.10\mu\Omega} = 2.9$$

Tabla #19: Resultados del ensayo para determinar el Índice de Polarización del VTF.

Parte Medida	R(1)	R(2)	R(3)	R(4)	R(5)	R(6)	R(7)	R(8)	R(9)	R(10)	IP
A vs B+C+Tierra	4010	4014	4250	5525	6022	6822	7001	7099	7992	8020	2.0
B vs A+C+Tierra	3707.5	3992	4601	4993	5803	6999	7901	8998	9952	10381	2.8

C vs												
B+A+Tierra	3898.1	4693	5001	6010	7955	9001	9910	1003	1099	11616	2.9	

**- Resultado del ensayo para determinar la rigidez dieléctrica con corriente directa.**

$$U_{ens} = 1.6 * (1.28 * U_{nom} + 1)$$

$$U_{min} = 0.5 * U_{nom} = 0.5 * 6 = 3 \text{ KV}$$

$$U_{m\acute{a}x} = 13.9 \text{ KV}$$

$$U_{ens} = 1.6 * (1.28 * U_{nom} + 1) = 1.6 * (1.28 * 6 + 1) = 13.88 \text{ KV}$$

$$\Delta U_{esc} = \frac{U_{m\acute{a}x} - U_{m\acute{i}n}}{n}, \text{ Kv} = \frac{13.9 - 3}{4} = 2.725 \text{ Kv}$$

$$U_1 = 3 \text{ KV} = U_{min}$$

$$\begin{aligned} U_2 &= U_1 + \Delta U_{esc} \\ &= 3 + 2.725 \\ &= 8.17 \text{ kv} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_3 &= U_2 + \Delta U_{esc} \\ &= 8.17 + 2.725 \\ &= 10.98 \text{ kv} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_4 &= U_3 + \Delta U_{esc} \\ &= 10.9 + 2.725 \\ &= 13.62 \text{ kv} \end{aligned}$$

U5 se calcula para maquinas con tensión nominal mayores de 6000V.

**- Resultado del ensayo para determinar el coeficiente de alinealidad con corriente directa del VTF.**

$$Kh = \frac{I_{m\acute{a}x} * U_{m\acute{i}n}}{I_{m\acute{i}n} * U_{m\acute{a}x}}$$

$$Kh_1 = \frac{8 \mu A * 3 \text{ kV}}{1 \mu A * 13 \text{ KV}} = 1.84$$

$$Kh_2 = \frac{8.8\mu A * 3kV}{1.2\mu A * 13KV} = 1.64$$

$$Kh_3 = \frac{8.5\mu A * 3kV}{1\mu A * 13KV} = 1.96$$

*Tabla #22: Resultados del ensayo para determinar el Coeficiente de Alinealidad con Corriente Directa del VTF.*

		U1	U2	U3	U4	Kh
		3.0	8.17	10.9	13.62	
FASE A	I <sub>15'</sub> (μA)	2.0	8.0	8.0	8.0	1.84
	I <sub>60'</sub> (μA)	1.0	6.0	6.0	8.0	
FASE B	I <sub>15'</sub> (μA)	2.0	8.0	6.5	8.8	1.69
	I <sub>60'</sub> (μA)	1.2	6.8	6.5	7.0	
FASE C	I <sub>15'</sub> (μA)	2.0	6.5	8.0	8.5	1.96
	I <sub>60'</sub> (μA)	1.0	4.5	6.5	5.9	

## **2.5: Conclusiones.**

En este capítulo se ha hecho referencia a las pruebas tecnológicas y de puesta en marcha que se le realizan a los motores de gran potencia de la termoeléctrica de Felton. Las cuales dan una medida del estado técnico del aislamiento de estos motores de categoría B, del tiempo de vida útil. Además de constituir una base de datos para realizar un diagnóstico y prevenir fallos en estos.

### Capítulo III: Evaluación energética.

3.1 Introducción.

3.2 Caracterización energética.

3.3 Principales deficiencia.

3.4 Posibles sus soluciones.

3.5 Conclusiones

#### 3.1 Introducción.

En este capitulo se realizara una caracterización energética con el fin de detectar los principales problemas de cada motor describir sus posibles soluciones.

#### 3.2 Caracterización energética.

Para realizar la caracterización energética de los motores se tuvieron en cuenta una serie de factores que intervienen en su funcionamiento tales como:

- Potencia nominal del motor
- Potencia real del motor
- Rendimiento
- Factor de carga
- Horas de trabajo anual
- Vida útil del equipo

Tabla 3.1 Datos de los motores existentes

Motor	Pn(kW)	Pr (kW)	$\eta$	H/anual	V/útil	Fc
Ventilador de tiro forzado	2000	1980	0,43	8064	10	0.99
Ventilador regenerativo de gases	250	240	94.8	8064	10	0.96
Bomba de circulación	710	542	94,0	8064	10	0.76
Bomba alimentar	4500	4718	96.8	8064	10	1.04
Bomba de condensado	370	202.5	94.5	8064	10	0.54
Bomba de enfriamiento	300	320	0,88	8064	10	1.06

La tabla 3.1 muestra los valores nominales y reales de los motores de inducción. Realizando un análisis pertinente a los parámetros pudimos percatarnos que dos de estos motores no presentan un adecuado funcionamiento, contando con un factor de carga inadecuado.

Para calcular el consumo anual del motor se necesita calcular el factor de carga de los motores el cual se calcula de la siguiente manera.

$$F_c = \frac{P_R}{P_N} \quad (3.1)$$

Donde:

$F_c$  : Factor de carga

$P_R$  : Potencia real del motor                       $P_N$  : Potencia nominal

Con el factor de carga determinamos en que por ciento de la carga nominal el motor está operando y hasta que punto podemos elevar su eficiencia.

$$CA = \frac{NA * F_c * P_N}{(\eta * 1000)} \quad (3.2)$$

Donde:

$CA$  : Consumo anual del motor obsoleto

$NA$  : Número de horas anuales

$\eta$  : Rendimiento

Tabla3.2 Base de datos

ELEMENTOS	VTF	VRG	VCR	VAL	VCN	VEN
Potencia nominal(kW)	2000	250	710	4500	370	300
Potencia real(kW)	1980	240	542	4718	202.5	320
Rendimiento	0.9	0.94	0.94	0.96	0.94	0.88
Factor de carga	0.76	0.96	0.76	1.04	0.54	1.06
Numero de horas anuales de operación	8,064.00	8,064.00	8,064.00	8,064.00	8,064.00	8,064.00
Consumo anual de cada motor	10 159.92	1 535.93	3 453.29	29326.7 5	1 278.67	2 173.87
vida útil	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Kp aproximado de cada motor	0.06	0.01	0.02	0.15	0.01	0.01
Km aproximado respecto al conjunto	0.25	0.03	0.07	0.59	0.03	0.04



Consumo anual del conjunto	47,928.4 4	
K aproximado del bloque (%)	24.62	

VTF: Ventilador de tiro forzado.

VRG: Ventilador regenerativo de gases.

VCR: Bomba de circulación.

VAL: Bomba alimentar.

VCN: Bomba de condensado.

VEN: Bomba de enfriamiento.

En la tabla 3.2 podemos observar que el factor de carga de cada motor se encuentran dentro del rango de aceptación excepto de dos motores que están ligeramente sobrecargados, además que estos motores representan un 24.62% del consumo del bloque.

### 3.3 Principales deficiencias.

Analizaremos los resultados calculados en el epígrafe anterior que nos dará una idea detallada de cada motor.

El motor del ventilador de tiro forzado presenta un rendimiento de 0.9, un factor de carga de 0.76 trabajando un promedio de 8064 horas al año y acumulando un consumo anual de 10 159.92 kW al año representando un 0.06 de la potencia consumida del bloque, un 0.25 de la potencia consumida de todos los motores.

El motor del ventilador de recirculación de gases presenta un rendimiento de 0.94, un factor de carga de 0.96 trabajando un promedio de 8064 horas al año y acumulando un consumo anual de 15 355.93 kW al año representando un 0.01 de la potencia consumida del bloque, un 0.03 de la potencia consumida de todos los motores.

La bomba de circulación presenta un rendimiento de 0.94, un factor de carga de 0.76 trabajando un promedio de 8064 horas al año y acumulando un consumo anual de 34 532.29 kW al año representando un 0.02 de la potencia consumida del bloque, un 0.07 de la potencia consumida de todos los motores.

La bomba alimentar presenta un rendimiento de 0.96, un factor de carga de 1.04 lo que nos indica que esta un poco sobrecargado trabajando un promedio de 8064 horas al año y acumulando un consumo anual de 29 326.75 kW al año representando un 0.15 de la potencia consumida del bloque, un 0.59 de la potencia consumida de todos los motores.

La bomba de condensado presenta un rendimiento de 0.94, un factor de carga de 0.54 trabajando un promedio de 8064 horas al año y acumulando un consumo anual de 1278.67 kW al año representando un 0.01 de la potencia consumida del bloque, un 0.04 de la potencia consumida de todos los motores.

La bomba de enfriamiento presenta un rendimiento de 0.88, un factor de carga de 1.06 lo que nos indica que esta un poco sobrecargado trabajando un promedio de 8064 horas al año y acumulando un consumo anual de 2173.87kW al año representando un 0.01 de la potencia consumida del bloque, un 0.04 de la potencia consumida de todos los motores.

De forma general los motores presentan un consumo anual de 47 928.44 y representan un 24.62% del consumo total del bloque que es de 32 500 kW/h.

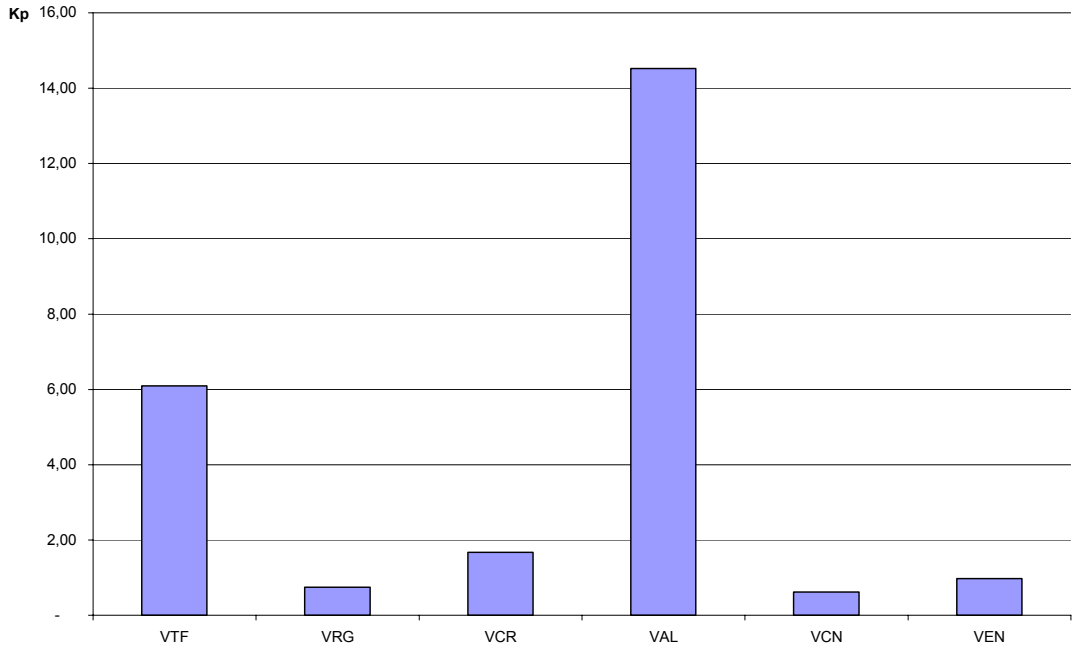


Figura3.3.1 Influencia del consumo de cada motor con respecto al bloque.

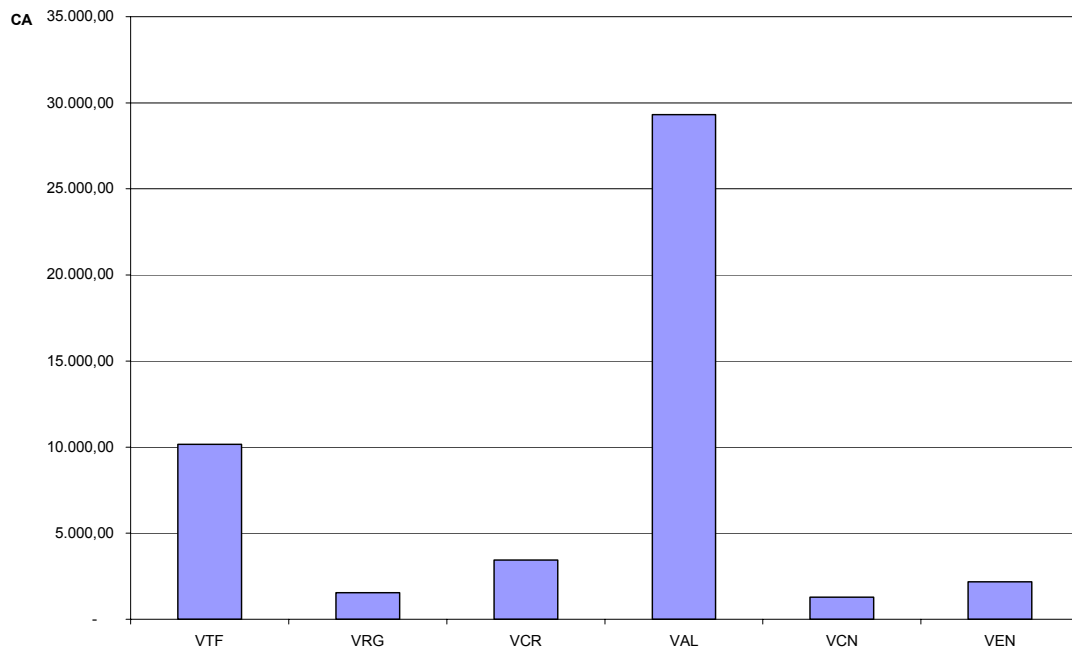


figura3.3.2 Consumo de cada motor al año.

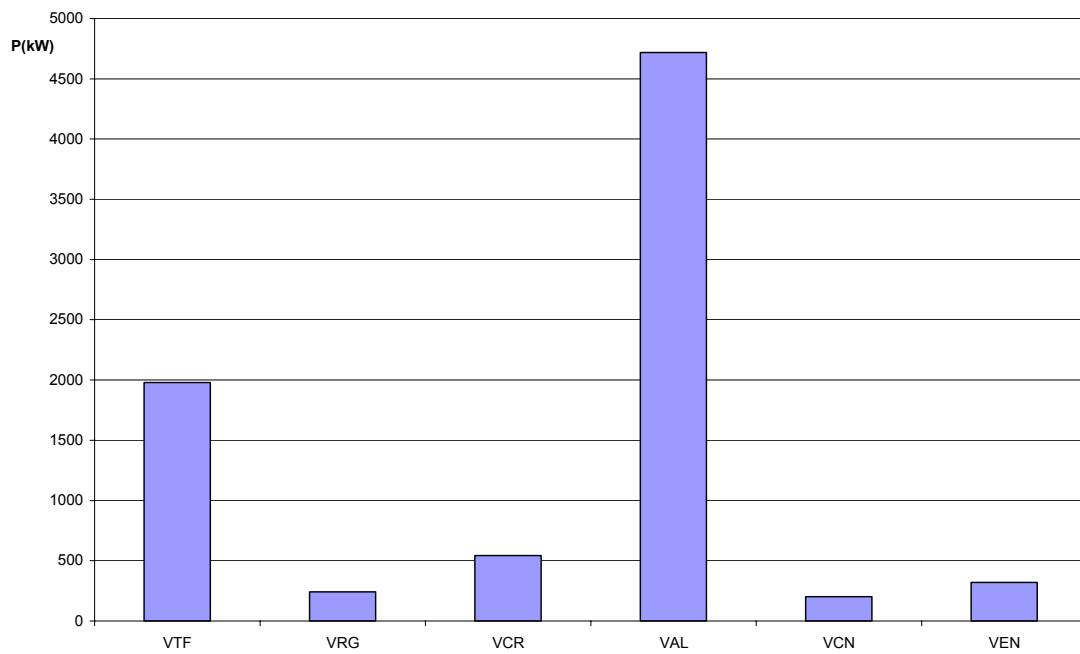


Figura3.3.3 Potencia real que consume cada motor en una hora.

### 3.4 Posibles soluciones.

Como el análisis de las pruebas no dieron ningún problema de aislamiento tendremos que analizar otros problemas que de forma transitoria pueden afectar el funcionamiento óptimo de los motores eléctricos. Estos pueden ser originados por problemas mecánicos, de ensuciamiento del equipo o también por problemas vibracionales. A continuación mencionaremos de forma general algunos de los problemas y sus posibles soluciones.

#### Problemas mecánicos.

Problema	Solución
Desalineamiento.	➤ Corrección del alineamiento.
Vibraciones de alta y baja frecuencia.	➤ Análisis dinámico y corrección de defecto.
Daños en los cojinetes del motor.	➤ Cambio de rodamientos. ➤ Evaluación de la lubricación de los rodamientos. ➤ Evaluación de las condiciones de trabajo (vibraciones).
Deterioro de los cojinetes de la bomba	➤ Cambio de cojinetes. ➤ Evaluación y corrección de la rugosidad del rotor.
Flexión de la flecha.	Corrección de la flecha.

#### Problemas de ensuciamiento.

Problemas.	Soluciones.
Enfriadores sucios.	➤ Realizar limpieza de enfriador o cambio de los intercambiadores de calor. ➤ Revisar si existen tubos punchados y realizar prueba hidrostática.

Condensador sucio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Limpieza del canal de entrada.</li> <li>➤ Utilización del sistema de tratamiento de agua de mar contra los organismos vivos (clorinación, anillos de cobre, etc.)</li> </ul>
--------------------	---

Problemas de hidráulicos.

Problemas.	Soluciones.
Bajo nivel del canal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Limpieza de las mallas fijas.</li> <li>➤ Limpieza de las mallas rotatorias.</li> </ul>
Rotura del sifón.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Eliminar infiltraciones de aire en el sistema.</li> <li>➤ Revisar el buen trabajo de las bombas de vacío.</li> <li>➤ Revisar posibles problemas constructivos del sifón.</li> </ul>

### 3.5 Conclusiones.

En este capítulo se llegó a la conclusión que el problema no es eléctrico sino que hay que revisar los motores pues pueden tener problemas mecánicamente, de ensuciamiento o hidráulicos.

### **Conclusiones generales.**

En este trabajo sobre la base de los datos nominales de cada motor, los datos mecánicos, su función y algunos conceptos básicos realizamos el análisis del funcionamiento de los equipos categoría B, principales del bloque así como sus principales deficiencias.

Se han hecho referencia a las pruebas tecnológicas y de puesta en marcha que se le realizan a los motores de gran potencia por lo que se ha podido apreciar que disponiendo de una base de datos la cual contenga toda una gama de información electromecánica del motor y el accionamiento se facilitan los trabajos de mtto y de reparación, además de las posibilidades para licitación y compra de piezas de repuesto y equipos.

## **Recomendaciones generales.**

---

El sistema de mantenimiento de los equipos categoría B, que son los que definen el proceso de producción en la CTE es inconcebible sin una base de datos efectiva y confiable, por lo que desde esa perspectiva se garantiza la efectividad de los mtos y reparaciones, además de facilitar información técnica para la explotación y su desarrollo.

Es necesario que la base de datos contenga todo el nivel de información técnica del equipo y sus agregados, que permita al cliente un desenvolvimiento pleno de la técnica a aplicar con resultados satisfactorio, por lo que es necesario.

1. Que la secuencia de utilización de toda la información contenida en este trabajo esté en correspondencia con el sistema de norma ramales utilizadas en la UNE (unión nacional eléctrica).
2. Que se utilice de forma general en los proyecto de mtto y reparación de equipos categoría B.
3. Los criterios de aceptación plasmados en las pruebas realizadas deben estar abalado por el sistema de procedimiento existente en la UNE.
4. En los casos de licitación y compra de equipos partes y accesorios es necesaria la revisión del equipo en sitio y que el especialista haga una valoración de otros parámetros no incluidos en el trabajo.

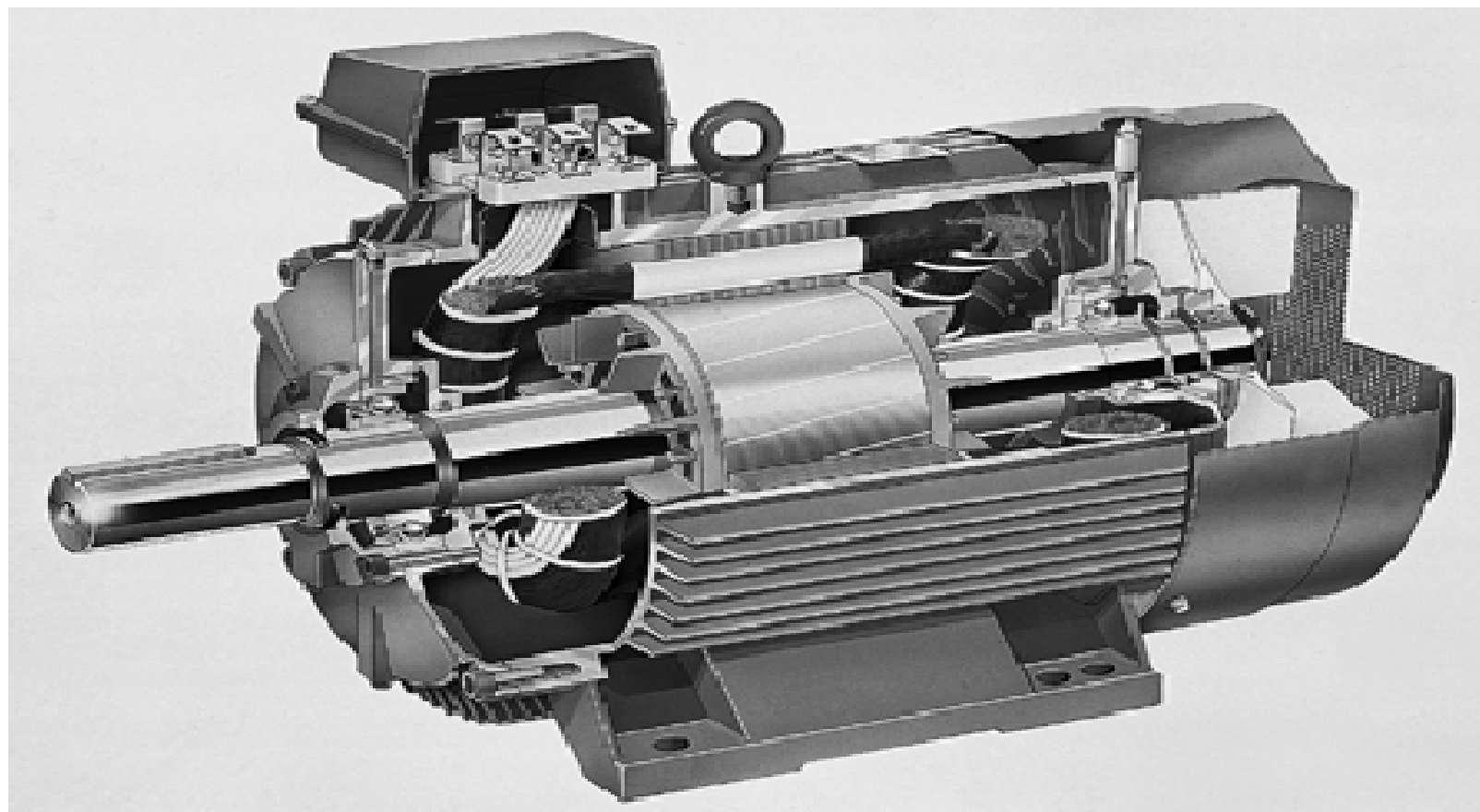
## **Bibliografía.**

---

- 1- Ivanov-Smolenski, A. V. Máquinas Eléctricas (tomo II). Editorial Mir - Moscú.
- 2- Caracterización energética de motores de inducción trifásica. [www.prismas.com](http://www.prismas.com)
- 3- Mc Pherson, G. An Introduction to Electrical Machines and Transformers. Second Edition, 1989.
- 4- Voldek, I. Máquinas Eléctricas (en dos tomos). La Habana. Editorial Pueblo y Educación, 1974.
- 5- Recomendaciones para el ahorro de energía en motores eléctricos. FIDE. México D.F, Pág. 24
- 6- Revisión de la normatividad en la aplicación de motores de inducción de la eficiencia alta. Boletín IIE, marzo abril del 2001.
- 7- Uso eficiente de la energía eléctrica. [www.energuia.com](http://www.energuia.com)
- 8- Manual\_evamotor. [www.cubaenergía.com](http://www.cubaenergía.com)
- 9- Alianza para la recuperación económica. Diario de Yucatán, México, pág. 67, 31 de octubre del 95
- 10-NEMA.MG-10-1994,Energy Managment guide for Selection and Use of FIFEC Frecuency,DC.1994



**ANEXOS**  
**MOTORES SIEMENS**





V-ring

Inner bearing  
cover B5

Spring washer

Gap seal

Labyrinth seal

