

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



## **GESTIÓN Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE REBOBINADOS Y MANTENIMIENTO DE 03 GENERADORES DE 24 MVA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE YAUPI**

**INFORME DE COMPETENCIA  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:  
EDWIN EDUARDO REGENTE OCMIN**

**PROMOCIÓN**

**1980 – II**

**LIMA – PERÚ**

**2012**

**GESTIÓN Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE  
REBOBINADOS Y MANTENIMIENTO DE 03  
GENERADORES DE 24 MVA DE LA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA DE YAUPI**

*A mis queridos padres, por su eterno amor  
que propiciaron este momento.*

*A mi amada esposa que me es mi alma y la  
fuerza que hizo posible mi profesión.*

*A mis queridos hijos y nieto que es lo que  
motiva a superarme y ver con optimismo el  
futuro; y finalmente, a mis amigos que  
siempre confiaron en mí.*

## SUMARIO

En el presente informe se expone los trabajos secuenciales para el mantenimiento de generadores eléctricos en una central hidráulica cumpliendo con las normas y estándares internacionales.

Se detalla los procesos de gestión en la dirección de la ejecución y la metodología práctica del rebobinado de 03 estatores y el mantenimiento de sus respectivos rotores realizadas en campo de 03 unidades de generación de 24 MVA cada uno, el proceso de construcción de bobinas estáticas y el protocolo de pruebas a que son sometidas como requisito de calidad; así como, el montaje de las bobinas y las pruebas eléctricas finales para la puesta en operación de los generadores; luego de la reparación general a que fueron sometidos. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y como consecuencia los mencionados generadores se encuentran 100% operativos ha satisfacción de la empresa generadora Electroandes (en adelante ELA).

Tanto, la gestión de la dirección, el rebobinado del estator, las pruebas eléctricas del estator, el mantenimiento y pruebas eléctricas del rotor y las pruebas eléctricas finales del generador fueron realizados por una empresa constituida y conformada por profesionales peruanos que en base a sus conocimientos y experiencia han logrado un significativo e importante aporte a la ingeniería del país al convertirse en la primera empresa 100% nacional que realiza trabajos de esta importancia y envergadura.

## ÍNDICE

<b>SUMARIO.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>v</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>2</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Planteamiento del Problema.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Alcances.....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>5</b>
<b>EL GENERADOR SÍNCRONO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Partes de un generador síncrono .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1 Rotor o Campo del Generador Síncrono .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2 Estator o Armadura.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Circuito equivalente monofásico de un generador síncrono.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 Principio de funcionamiento.....</b>	<b>9</b>
<b>2.4 Aspectos constructivos.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>.....</b>
<b>CICLO DEL PROYECTO.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Determinación del Ciclo del Proyecto.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 Relación entre el Ciclo de Vida del proyecto y las operaciones de la empresa generadora ELA .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3. Fases del Ciclo de Vida del proyecto .....</b>	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>26</b>
<b>PROCESOS DE DIRECCIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 Dirección del Proyecto.....</b>	<b>26</b>

<b>4.2</b>	<b>Acta de Constitución del Proyecto.....</b>	<b>29</b>
<b>4.3</b>	<b>Enunciado del Alcance del Proyecto.....</b>	<b>32</b>
	<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>33</b>
	<b>REBOBINADO DE LOS ESTADORES.....</b>	<b>33</b>
<b>5.1</b>	<b>Estructura del Desgloce del Trabajo (EDT).....</b>	<b>33</b>
<b>5.2</b>	<b>Diccionario del EDT.....</b>	<b>33</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Bobinas en Planta.....</b>	<b>33</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Estator Rebobinado de Generadores.....</b>	<b>49</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Mantenimiento del Núcleo del Estator.....</b>	<b>52</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Montaje de Bobinas .....</b>	<b>57</b>
<b>5.2.5</b>	<b>Pruebas Eléctricas.....</b>	<b>66</b>
<b>5.2.6</b>	<b>Mantenimiento del Rotor.....</b>	<b>69</b>
<b>5.2.7</b>	<b>Pruebas Finales del Generador.....</b>	<b>70</b>
	<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>85</b>
	<b>GESTIÓN DE RIESGOS DEL PROYECTO.....</b>	<b>85</b>
<b>6.1</b>	<b>Plan de Gestión de Riesgos.....</b>	<b>85</b>
<b>6.2</b>	<b>Identificación de Riesgos: Registro.....</b>	<b>85</b>
<b>6.2.1</b>	<b>Elaboración del Alcance de la Propuesta Técnica y Económica.....</b>	<b>86</b>
<b>6.2.2</b>	<b>Construcción de las bobinas.....</b>	<b>87</b>
<b>6.2.3</b>	<b>Desmontaje del Estator.....</b>	<b>87</b>
<b>6.3</b>	<b>Tabla de Evaluación de riesgos y respuestas.....</b>	<b>89</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>91</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>94</b>

## **PRÓLOGO**

La reparación de los bobinados del Estator de los 03 generadores de potencia de la Central Hidroeléctrica de Yaupi, fue un exitoso trabajo profesional por la importancia que representa en 4 aspectos fundamentales: (i) el suministro de energía para la Región Centro; (ii) fuente principal de ingresos de la empresa generadora; y (iii) por lo especializado de su reparación y la exigencia de garantías para el proveedor, que significan para la Ingeniería Eléctrica, desde el punto de vista teórico y experiencia práctica, un conocimiento que requiere ser documentado, que sirva de soporte para aquellos profesionales emprendedores que se encuentran dentro de este rubro y que les permita mejorar la tecnología y minimizar los riesgos de gestión en su aplicación que representen un valor agregado al desarrollo profesional de los profesionales, interesados en esta actividad, y a la economía del país.

El desarrollo del proyecto requiere la aplicación de conocimientos, técnicas y herramientas, así como experiencias en este tipo de reparaciones, no solo en el aspecto técnico, sino de la aplicación de conocimientos, técnicas y herramientas en la Dirección de Proyectos que permitan al especialista profesional dirigir el proyecto y al equipo de especialistas tomar las decisiones necesarias para asegurar el éxito de su ejecución.

# **CAPÍTULO I ANTECEDENTES**

## **1.1 Objetivos**

El objetivo del presente trabajo es informar y explicar acerca del trabajo de rebobinado de los 03 estatores y el mantenimiento de los 03 correspondientes rotores de los generadores N° 1, 2 y 3 de 24 MVA cada una de ellas de la Central Hidroeléctrica de Yaupi, asimismo sobre las pruebas eléctricas de asilamiento y de las pruebas de características y parámetros de los generadores eléctricos.

La Central Hidroeléctrica de Yaupi, que cuenta con 5 generadores síncronos de 24 MVA cada uno y una potencia instalada total de 120 MVA, está ubicada en el Departamento de Cerro de Pasco, a 350 km de la ciudad de Lima, y su acceso es por la carretera central ingresando por el Este del centro poblado de Carhuamayo.

El servicio de mantenimiento comprende:

- Rebobinado del Estator y pruebas eléctricas del Generador N° 1
- Mantenimiento y pruebas eléctricas del rotor del Generador N° 1
- Rebobinado del Estator y pruebas eléctricas del Generador N° 2
- Mantenimiento y pruebas eléctricas del rotor del Generador N° 2
- Rebobinado del Estator y pruebas eléctricas del Generador N° 3
- Mantenimiento y pruebas eléctricas del rotor del Generador N° 3

## **1.2 Planteamiento del Problema**

La mantención de los generadores eléctricos de potencia son actividades periódicas de gran importancia que programan las empresas de generación para asegurar la continuidad y la confiabilidad del suministro eléctrico al sistema de operaciones del COES; la salida intempestiva de una unidad por una reparación mayor o una falla origina severas repercusiones en el sistema eléctrico y grandes pérdidas de producción e ingresos a proveedores y clientes usuarios de la energía eléctrica.

Durante la vida útil, los generadores eléctricos se ven sometidos a un conjunto de esfuerzos térmicos, eléctricos y mecánicos que degradan el sistema aislante de sus componentes eléctricos y magnéticos, conduciendo eventualmente a su falla. Es importante para las empresas generadoras conocer con claridad los mecanismos periódicos y continuos de deterioro a los que se ven sometidos, centrar su atención en las

variables significativas que identifican el proceso y tomar acciones correctivas para que durante las reparaciones de los generadores se utilicen los materiales aislantes adecuados que permita minimizar fallas durante su operación.

El no utilizar aislamientos adecuados influye en la ocurrencia de descargas parciales, este fenómeno debe evitarse en todo tipo de aislamientos de alta tensión. Las descargas parciales deben eliminarse o reducirse al mínimo con la aplicación de materiales y procesos de manufactura que garanticen bajos niveles de descargas parciales en los bobinados del generador.

Los procesos de la gestión de la calidad presente en todas las áreas del conocimiento incluyen las políticas de la organización ejecutante relativas a la calidad del servicio que presta y las exigencias de la organización de la empresa beneficiaria en cuanto a políticas que forman parte de sus prácticas; y las normas, reglas y guías gubernamentales del sector donde se desarrolla las empresas de generación eléctrica, de tal manera que el proyecto satisfaga las necesidades del cliente dentro los estándares y normas que la regulan.

Es claro que un elemento crítico de la gestión de la calidad en el contexto del proyecto es convertir las necesidades y expectativas del cliente en requisitos que se constituyen en los parámetros de aceptación del producto final que forman parte del Alcance del Proyecto.

Este proceso implica la identificación de las normas de calidad que son relevantes y la determinación de los procedimientos y/o técnicas para satisfacerlas. Por ser un factor clave, este proceso debe realizarse paralelamente a los demás procesos de planificación del proyecto en las diferentes áreas del conocimiento, de tal manera que si el producto requiere cambios para satisfacer normas de calidad más exigentes o de grado superior estos sean ajustados oportunamente.

### **1.3 Alcances**

La empresa M & P INGENIEROS S.A.C.; que en adelante denominaremos **empresa de mantenimiento y reparación**, asumió el compromiso del mantenimiento de los rotores y reparación de los bobinados estáticos de los 03 generadores.

El alcance del proyecto, consiste en el diseño, fabricación, almacenamiento, pruebas y montaje de las bobinas estáticas, así como el mantenimiento del rotor y pruebas para la puesta en operación de los generadores, los mismos que deben realizarse de acuerdo con los estándares de calidad exigidos por la empresa generadora en sus términos de referencia, que listamos a continuación:

- IEEE Std 43-1974 (Reaff 1991), Recommended Practice for Testing Resistance of Rotating Machinery (ANSI).

- IEEE Std 56-1977 (Reaff 1991), Guide for Insulation Maintenance Of Large AC Rotating Machinery (10000 kVA and Larger) (ANSI).
- IEEE Std 95-1977 (Reaff 1991), Recommended Practice for Insulation Testing of Large AC Rotating Machinery with High Direct Voltage (ANSI).
- IEEE Std 112-1991, Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators.
- IEEE Std 115-1983 (Reaff 1991), Guide: Test Procedures for Synchronous Machines (ANSI).
- IEEE Std 117-1974 (Reaff 1991), Standard Test Procedures for Evaluation of Systems of Insulating Materials for Random-Wound AC Electric Machinery (ANSI C50.32-1976).
- IEEE Std 432-1992, Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electrical Machinery (5 HP to less than 10 000 HP) (ANSI).
- IEEE Std 433-1974 (Reaff 1991), Recommended Practice for Insulation Testing of Large AC Rotating Machinery with High Voltage at Very Low Frequency (ANSI).
- IEEE Std 434-1973 (Reaff 1991), Guide for Functional Evaluation of Insulation Systems for Large High Voltage Machines (ANSI).
- IEEE Std 522-1992, Guide for Testing Turn-to-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating Current Rotating Electric Machines (ANSI).
- IEEE Std 792-1987 (Reaff 1995), Trial-Use Recommended Practice for the Evaluation of the Impulse Voltage Capability of Insulation Systems for AC Electric Machinery Employing Form-Wound stator Coils (ANSI).

## **CAPÍTULO II EL GENERADOR SÍNCRONO**

El generador síncrono es un tipo de máquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica.

Un generador sincrónico trifásico entrega tres voltajes sinusoidales de igual intensidad pero desfasados en  $120^\circ$ . Este tipo de máquina eléctrica tiene una gran importancia en la generación de energía eléctrica actual, ya que transforman los movimientos mecánicos provocados por la naturaleza, entre ellos el agua, aire o vapores (generación hidroeléctrica, eólica o térmica) en energía eléctrica que luego se transmite mediante líneas de transmisión trifásica, siendo ésta la forma más eficiente y económica de llevarlos a los centros de consumo. Sin estos generadores, no tendríamos el sistema eléctrico que conocemos actualmente.

La característica principal del generador sincrónico es que la velocidad del rotor es la misma del campo magnético rotatorio.

### **2.1 Partes de un Generador Síncrono**

El generador síncrono está compuesto principalmente de una parte móvil o rotor y de una parte fija o estator.

#### **2.1.1 Rotor o Campo del Generador Síncrono**

Es la parte de la máquina que realiza el movimiento rotatorio, constituido de un material envuelto en un enrollamiento llamado bobinado de campo, que tiene como función producir un campo magnético constante, así como, en el caso del generador de corriente continua para interactuar con el campo producido por el bobinado del estator.

La tensión aplicada en ese bobinado es continua y la intensidad de la corriente soportada por ese bobinado es mucho más pequeño que el bobinado del estator, además de eso, el rotor puede contener dos o más bobinados, siempre en número par y todos conectados en serie siendo que cada bobinado será responsable por la producción de uno de los polos del electroimán.

Existen dos tipos de rotor en generadores eléctricos: rotor liso y rotor de polos salientes, el primero ofrece un entrehierro constante y se utiliza mayormente para generadores de grandes velocidades mientras que el segundo tiene entrehierro variable, y se usa para velocidades menores. En el caso del Generador Síncrono en la Central

Hidroeléctrica de Yaupi dado los valores de caudal y altura de los grupos de Generación se determina Turbina Pelton de Baja velocidad de 450 RPM por lo que el rotor adecuado a este requerimiento será un rotor de polos salientes como muestra la Fig. 2.1, en ella se muestra el rotor de polos salientes del generador síncrono de la Central Hidroeléctrica de Yaupi que es de 16 polos salientes.



Fig. 2.1 Rotor del Generador

### 2.1.2 Estator o Armadura

Parte fija de la máquina, montada envuelta del rotor de forma que el mismo pueda girar en su interior, también constituido de un material ferromagnético envuelto en un conjunto de bobinados distribuidos al largo de su circunferencia como se muestra en la Fig. 2.2. Los bobinados del estator son alimentados por un sistema de tensiones alternadas trifásicas.



Fig. 2.2 Armadura del Generador

Por el estator circula toda la energía eléctrica generada, siendo que tanto la tensión y la corriente eléctrica que circulan son bastante elevadas en relación a la tensión y

corriente de campo del rotor, que tiene como función sólo producir un campo magnético para "excitar" la máquina de forma que fuera posible la inducción de tensiones en las terminales de los bobinados del estator.

El espacio comprendido entre el rotor y el estator, es conocido como entrehierro.

Esta máquina eléctrica síncrona tiene la particularidad de poder operar ya sea como generador o como motor.

Su operación como alternador se realiza cuando se aplica un voltaje de corriente continua en el campo de excitación del rotor y a su vez éste es movido o desplazado por una fuente externa (motor primo), que da lugar a tener un campo magnético giratorio que atraviesa o corta los conductores del estator, induciéndose con esto un voltaje entre los terminales del generador.

#### a) Escobillas o Carbones

Las escobillas están fabricadas de carbón grafitado prensado y calentado a una temperatura de 1200°C.

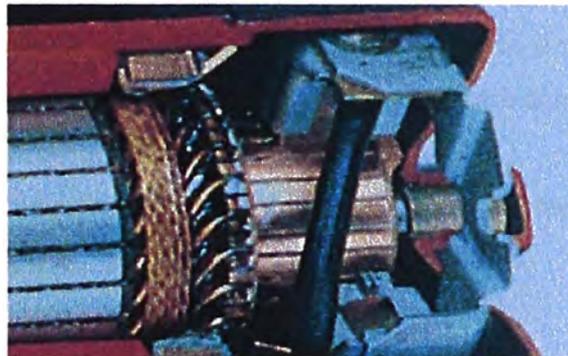


Fig. 2.3 Escobillas en el Generador

Se apoyan rozando contra el colector gracias a la acción de unos resortes, que se incluyen para hacer que la escobilla esté presionando y en contacto continuo contra el colector como se aprecia en la Fig. 2.3. El material con que están fabricadas las escobillas produce un roce suave equivalente a una lubricación.

#### b) Porta Carbones

Son elementos que sujetan y canalizan el movimiento de los carbones. Los que se deslizan libremente en su caja siendo obligadas a apoyarse sobre el colector por medio de un resorte que carga al carbón con una tensión determinada.

#### c) 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 rectificadora) la tensión alterna generada por el generador, debe ser de una

frecuencia constante de 60hz; y para eso el rotor siempre tiene que girar a la misma velocidad independientemente de que carga esté asumiendo (potencia en megawatts), que son variables, la generación de potencia es variable a frecuencia y voltaje constante, si no se tiene un regulador automático de voltaje (llamado AVR en inglés) esto no se puede lograr.

#### **d) Regulador de Velocidad (RAS)**

No 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.

Es elevado el número de las distintas marcas y tipos de reguladores automáticos instalados en las centrales hidráulicas, por destacadas casas constructoras, especializadas en la fabricación y montaje de los mismos.



**Fig. 2.4 Regulador de Velocidad de los Generadores de la CHE Yaupi**

Para los generadores de esta Central Hidroeléctrica se instalaron Reguladores de Velocidad marca WORDMAN óleo hidráulico cuya velocidad de referencia era tomada directamente del eje principal a través de sistema de transmisión de engranajes. Actualmente han sido reemplazados por instrumentos de sistemas digitales. Fig. 2.4.

Tengamos presente que determinadas industrias, para el funcionamiento de sus complicadas instalaciones, requieren un suministro de energía eléctrica con unos valores muy exactos de la frecuencia y de la tensión. Por lo tanto, los reguladores deben de responder a unas exigencias de sensibilidad, estabilidad y seguridad muy precisas.

## 2.2 Circuito equivalente monofásico de un generador síncrono

El circuito monofásico equivalente de un Generador Síncrono viene representado en la siguiente figura:

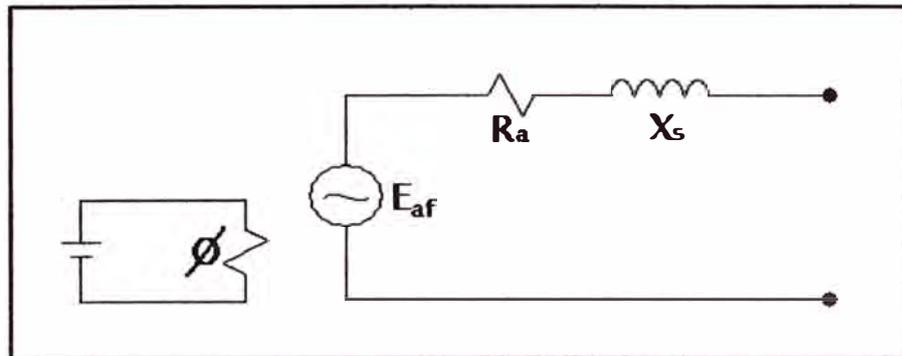


Fig. 2.5 Circuito Equivalente Monofásico del GS

De este circuito, solo nos centraremos en el circuito de armadura, en la cual se tienen tres cantidades que son fundamentales en el comportamiento del GS, las cuales son:

- La tensión inducida ( $E_{af}$ ), producida gracias al flujo que se genera al circular la corriente de campo por su respectivo circuito.
- La resistencia de armadura ( $R_a$ )
- La reactancia síncrona ( $X_s$ )

Para determinar estos valores se realizan principalmente tres pruebas, la prueba resistencia de armadura, la prueba de vacío y la prueba de cortocircuito.

## 2.3 Principio de funcionamiento

Partiendo de la base de que si un conductor eléctrico corta las líneas de fuerza de un campo magnético, se origina en dicho conductor una corriente eléctrica. La generación de tensión trifásica tiene lugar en los alternadores, en relación con un movimiento giratorio. Fig. 2.6 (a).

Según este principio, existen tres arrollamientos iguales independientes entre sí, dispuestos de modo que se encuentran desplazados entre sí  $120^\circ$ . Según el principio, de la inducción, al dar vueltas el motor (imanes polares con devanado de excitación en la parte giratoria) se generan en los arrollamientos tensiones alternas senoidales y respectivamente corrientes alternas, bajo carga, desfasadas también  $120^\circ$  entre sí, por lo cual quedan desfasadas igualmente en cuanto a tiempo. De esa forma tiene lugar un ciclo que se repite constantemente, produciendo la corriente alterna trifásica.

Aunque las tres corrientes son de igual frecuencia e intensidad, la suma de los valores instantáneos de las fuerzas electromotrices de las tres fases, es en cada momento igual a cero, lo mismo que la suma de los valores instantáneos de cada una de las fases, en cada instante, como se puede observar en la Fig. 2.6 (b).

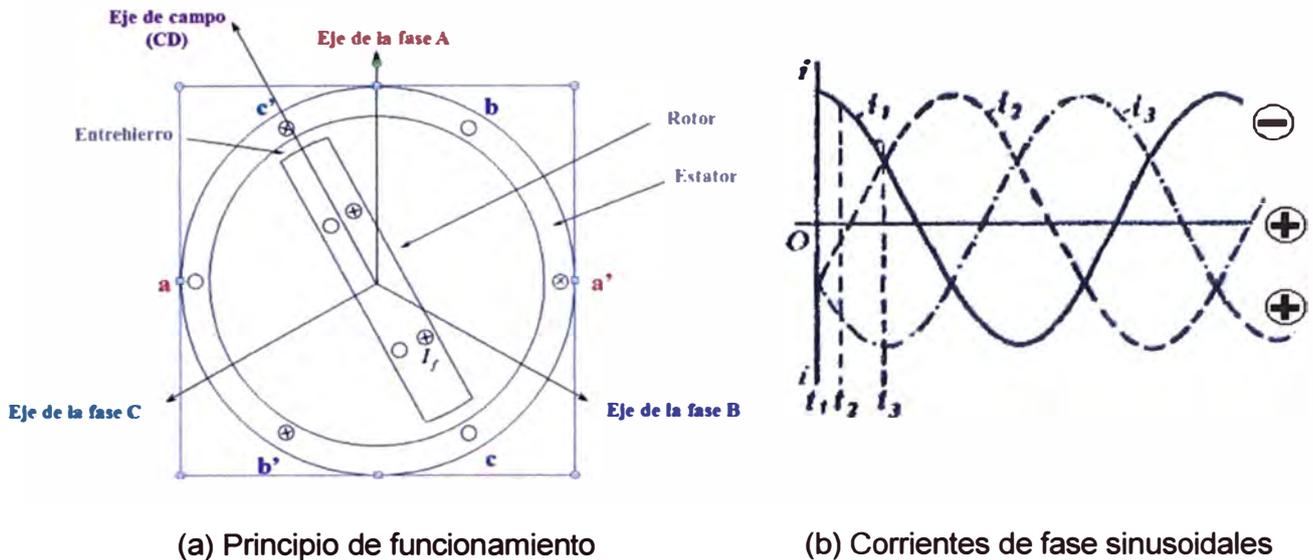


Fig. 2.6 Máquina Síncrona de polos salientes

Aquí mostramos las tres fases, ya desfasadas sobre un mismo eje a  $120^\circ$ . La línea negra del grafico representa la corriente de distinta polaridad, es decir, en este caso el negativo de la fase 1, corriente opuesta a las fases 2 y 3 que son por su naturaleza de polaridad positiva.

El principio de funcionamiento de un generador síncrono se basa en la ley de Faraday. Para crear tensión inducida en el circuito de armadura (estator), debemos crear un campo magnético en el rotor o circuito de campo, esto lo lograremos alimentado los devanados del rotor con corriente continua denominada corriente de excitatriz, este campo magnético inducirá una tensión en el devanado de armadura por lo que tendremos una corriente alterna fluyendo a través de él.

Al operar como generador, la potencia es suministrada a la máquina por la aplicación de un torque y por la rotación del eje de la misma, una fuente de energía mecánica puede ser, por ejemplo, una turbina hidráulica, a gas o a vapor. Una vez estando el generador conectado a la red eléctrica, su rotación es dictada por la frecuencia de la red, pues la frecuencia de la tensión trifásica depende directamente de la velocidad de la máquina.

Para que la máquina síncrona sea capaz de efectivamente convertir energía mecánica aplicada a su eje, es necesario que el enrollamiento de campo localizado en el rotor de la máquina sea alimentado por una fuente de tensión continua de forma que al

girar el campo magnético generado por los polos del rotor tengan un movimiento relativo a los conductores de los enrollamientos del estator.

Debido a la distribución y disposición espacial del conjunto de enrollamientos del estator, las tensiones inducidas en sus terminales serán alternas sinusoidales trifásicas.

## 2.4 Aspectos constructivos y tipo de arrollamientos [1]

En toda máquina se pueden distinguir los siguientes tipos de materiales:

Materiales magnéticos de alta permeabilidad, hierro, acero, chapa al silicio.

Materiales eléctricos conductores, cobre, aluminio.

Aislantes, que se encargan de canalizar las corrientes y evitar fugas.

Materiales para la lubricación, ventilación, transmisiones mecánicas.

Todos los materiales utilizados en el proceso de la rehabilitación deben ser nuevos.

### a) Formas constructivas

Existen dos formas constructivas básicas: las *cilíndricas* y con *polos salientes*, lo que da lugar a cuatro posibilidades constructivas, que se muestran en la Fig. 2.7.

Los usos más frecuentes son:

- i. Estator y rotor cilíndricos: es la combinación característica de los motores asíncronos y de las máquinas síncronas de alta velocidad.
- ii. Estator cilíndrico y rotor con polos salientes es característico de las máquinas síncronas de baja velocidad.
- iii. Estator con polos salientes y rotor cilíndrico es característico de las máquinas de corriente continua y de algunas máquinas síncronas de poca potencia.
- iv. Estator y rotor con polos salientes se emplea en máquinas especiales, por ejemplo en los motores por pasos.

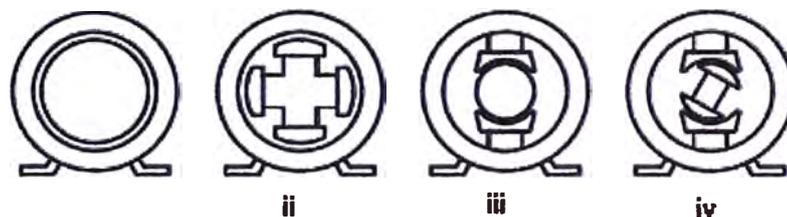


Fig. 2.7 Formas constructivas de máquinas eléctricas

- **Formas cilíndricas**

En las formas cilíndricas de las máquinas se colocan arrollamientos *distribuidos*, estos arrollamientos están formados por bobinas ubicadas en toda o parte de esa superficie cilíndrica.

Para fijar las bobinas éstas se colocan en *ranuras* realizadas en la superficie o muy cerca de ella. En general esas bobinas se encuentran recorridas por *corriente alterna* y cumplen la función de *inducido*, (lugar donde se inducen tensiones).

Como en esas formas cilíndricas el flujo es alterno, las mismas deben ser laminadas y con chapas finas, para disminuir las pérdidas por corrientes parásitas y permitir la rápida variación del flujo.

- **Polos salientes**

En los polos salientes de las máquinas se colocan arrollamientos *concentrados* que son bobinas ubicadas alrededor de los polos.

Esos arrollamientos concentrados generalmente se encuentran recorridos por corriente continua y cumplen la función de *excitación*. Los ejemplos característicos son las máquinas de corriente continua Fig. 2.7 (iii) y las sincrónicas de baja velocidad Fig. 2.7 (ii).

Como el flujo en esos polos salientes es constante, o varía lentamente, se los puede construir *macizos*, pero muchas veces se los hace laminados, con chapas relativamente gruesas, para facilitar su construcción, ya que es más fácil estampar chapas con la forma adecuada y luego apilarlas que mecanizar un bloque de acero

## b) Arrollamientos Distribuidos

- **Tipos de arrollamiento**

Así como los arrollamientos concentrados son simples bobinas, fáciles de concebir, los arrollamientos distribuidos son mucho más complejos ya que deben cumplir no solamente condiciones eléctricas y magnéticas, sino también constructivas: las bobinas deben ser sencillas de realizar, de colocar y minimizar el uso de materiales.

Los arrollamientos rotóricos de las máquinas eléctricas se conectan a través de *escobillas* que puede apoyar sobre *anillos rozantes*, Fig. 2.8 que son aros conductores, continuos, conectados a los extremos del arrollamiento; o sobre un *colector*, Fig. 2.9 que está formado por segmentos conductores, denominados *delgas*, aisladas entre sí y conectadas a cada bobina.

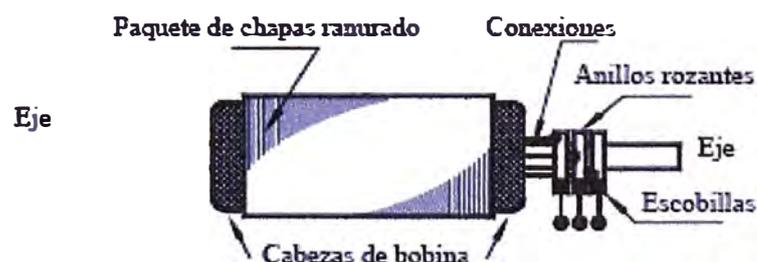


Fig. 2.8 Anillos rozantes en un rotor trifásico

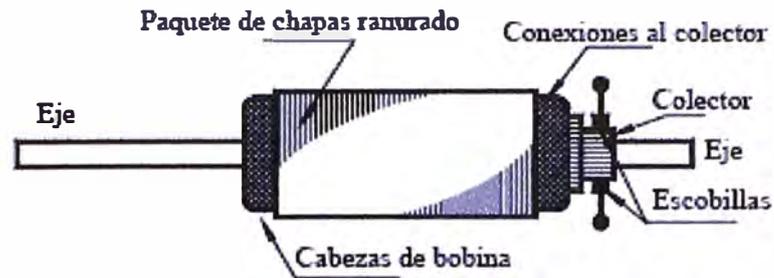


Fig. 2.9 Colector en un inducido

Esto da lugar a dos tipos de arrollamientos distribuidos, los primeros denominados a *anillos*, o *de fases* son eléctricamente *abiertos* y pueden estar tanto en el estator como en el rotor; mientras que los segundos, denominados a *colector*, son eléctricamente *cerrados* y se utilizan solamente en el rotor.

- **Tipos de Ranuras**

Como ya se dijo las bobinas de los arrollamientos distribuidos, y sus aislaciones, se alojan en *ranuras* o *canaletas* ubicadas en la superficie, o muy cerca de ella, del estator o del rotor o en ambas. Las partes magnéticas entre las ranuras se denominan *dientes*.

Las ranuras pueden ser *abiertas*, *semicerradas* o *cerradas* como se muestran en la Fig. 2.10.



Fig. 2.10 Tipos de ranuras

Las ranuras abiertas, que poseen sus lados paralelos, se emplean en máquinas de potencia media o grande, por ejemplo más de 50 kW y en los inducidos a colector, salvo los muy pequeños, de pocos cientos de watt.

La razón por la cual se emplean las ranuras abiertas, con sus lados paralelos, es que las bobinas utilizadas en esas máquinas son prácticamente rígidas y no se podrían colocar si la abertura de la ranura fuera más estrecha.

Las ranuras semiabiertas se emplean en máquinas de menor potencia, que utilizan bobinas formadas por conductores sueltos, los que se colocan muchas veces en forma manual. A fin de poder acomodar mejor los conductores en el fondo y en el tope de las ranuras, lo que mejora el *factor de llenado* de las mismas, conviene que ambos sean redondeados, como se muestra en la Fig. 2.10.

El cerrado de las ranuras se hace por medio de una *cuña de cierre* construida con un material de la resistencia adecuada y que, en la mayoría de los casos, es no magnético. En los dientes se hacen entalladuras a fin de sostener esas cuñas de cierre.

Las ranuras cerradas, que no necesariamente deben tener una sección circular como se muestra en la Fig. 2.10 se emplean principalmente en los rotores de las máquinas asincrónicas. Dentro de esas ranuras se colocan barras conductoras, normalmente sin aislación, que constituyen el arrollamiento rotórico de esas máquinas.

- **Lados de bobinas y capas**

Dentro de cada ranura puede haber uno, dos o más lados de bobinas, al número de *lados de bobina por ranura* se lo designará con la letra *u*. Cuando hay un solo lado de bobina por ranura, se dice que el arrollamiento es de *simple capa*, cuando hay dos o más lados de bobina por ranura estos se disponen en dos capas y se dice que el arrollamiento es de *doble capa*, esto se muestra en la Fig. 2.11.

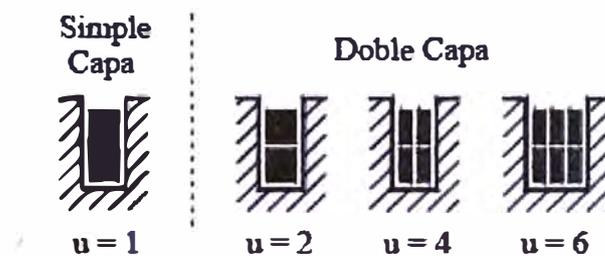


Fig. 2.11 Lados de bobina por ranura

Los arrollamientos de doble capa presentan mayor flexibilidad de diseño y son los más empleados. En los arrollamientos a anillos se utilizan hasta dos lados de bobina por ranura ( $u=2$ ), valores mayores de "u" se emplean en los arrollamientos a colector.

Cuando se dibujan arrollamientos de doble capa, los lados de las bobinas que no se ven, por quedar tapados por otras bobinas, se indican con líneas de trazos como lo establecen las normas del dibujo técnico.

La cantidad de bobinas que se pueden colocar en  $Q$  ranuras depende del número de lados de bobina que se coloquen en cada una de ellas. En efecto, multiplicando el número total de ranuras  $Q$  por la cantidad de lados de bobina que hay en cada ranura  $u$ , se obtiene el número total de lados de bobina que caben en esas ranuras y, como cada bobina tienen dos lados, el número total de bobinas  $B$  será:

$$\boxed{B = \frac{u \cdot Q}{2}} \quad (2.1)$$

Como los casos más comunes son  $u = 1$  y  $u = 2$ , resulta:

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{Si } u = 1 \Rightarrow B = \frac{Q}{2} \\ \text{Si } u = 2 \Rightarrow B = Q \end{array}} \quad (2.2)$$

- **Formas de las bobinas**

Las partes de la bobina que se encuentran colocadas dentro de las ranuras son las que están sometidas al flujo mutuo y donde se inducen las tensiones y se desarrollan las fuerzas útiles, éstos son los *lados activos* de la bobina, el resto se encuentra en el aire y constituyen las *cabezas de bobina* y las *conexiones*, éstas concatenan solamente flujo disperso y contribuyen en gran medida a la reactancia de dispersión, estas son las partes más afectada por los esfuerzos dinámicos que se producen particularmente en los cortocircuitos. En la Fig. 2.12 se esquematiza las distintas partes de las bobinas.

En las máquinas de mayor potencia las bobinas se construyen en moldes complejos que, en varias etapas, le confieren la forma definitiva. Antes de insertarlas en la máquina, las bobinas están completamente aisladas y ensayadas, especialmente cuando las máquinas son de tensiones mayores a las industriales. Como estas bobinas son rígidas se las debe colocar, con mucho cuidado y en ranuras abiertas.

Cuando el arrollamiento está terminado debe quedar perfectamente aislado, con las cabezas de bobina y las conexiones bien acomodadas y fijas para soportar los esfuerzos a que estarán sometidas; todo eso, la experiencia, la facilidad del armado y la economía de materiales, ha establecido ciertas formas de bobinas como las más convenientes; entre las más empleadas se encuentran las de forma *hexagonal (diamante)*, *trapezoidal* y *rectangular*, como se muestran en la Fig. 2.12.

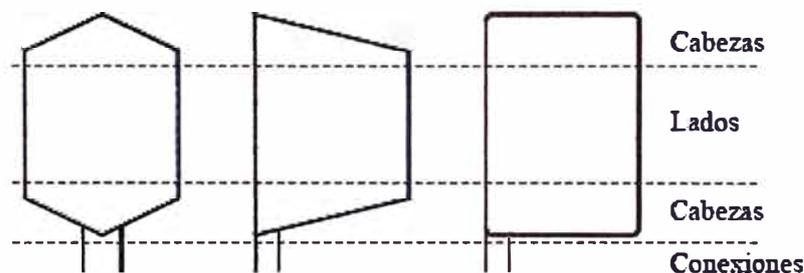


Fig. 2.12 Formas de bobina

La forma más utilizada es la hexagonal o en diamante, especialmente en máquinas de mediana y gran potencia y con arrollamientos dispuestos en doble capa. Para que las cabezas de bobina queden perfectamente ordenadas, en sus extremos dan una media vuelta con lo que se consigue que sus lados queden a distintos niveles, Fig. 2.13.

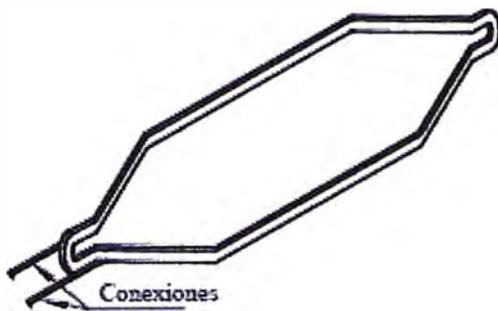


Fig. 2.13 Cambio de capa

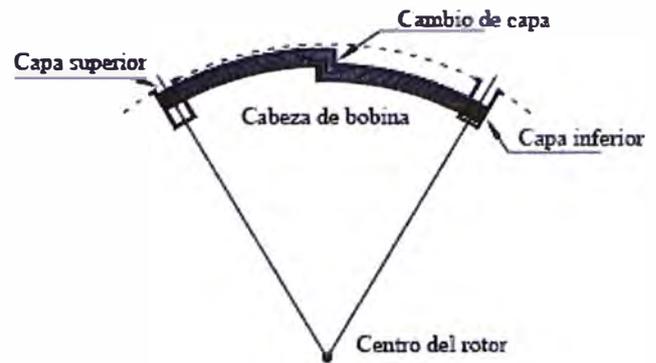


Fig. 2.14 Ranuras radiales

Como las ranuras están ubicadas en una superficie cilíndrica, las cabezas de bobina no son planas y los lados de las bobinas son radiales como las ranuras. En la Fig. 2.13 y Fig. 2.14 se muestra lo indicado.

- **Pasos polar y de bobina**

Se denomina *paso polar*,  $\mathcal{T}_p$  a la distancia que hay de un polo al siguiente, Fig. 2.15. En una máquina con geometría cilíndrica hay que definir el radio al cual se mide esa distancia y hay varias posibilidades, tomar el radio del rotor, el interno del estator, el medio del entrehierro u otro; lo que en todos los casos deberá quedar claramente definido.

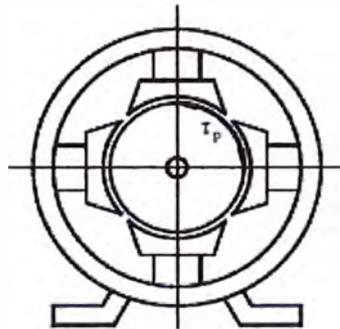


Fig. 2.15 Paso polar

Por ser distancias, los pasos se deben expresar en unidades de longitud, o cuando interesa estudiar un arrollamiento, cuyas bobinas están colocadas en ranuras equiespaciadas, resulta muy cómodo utilizar como unidad de medida la "ranura".

A la distancia entre los lados de las bobinas se la denomina paso de bobina  $Y_1$ , como se muestra en las Fig. 2.16 y 2.17.

El paso de las bobinas puede ser igual, menor o mayor que el paso polar, es decir que la bobina es diametral ( $Y_1 = \mathcal{T}_p$ ), acortada o paso fraccionado ( $Y_1 < \mathcal{T}_1$ ) o alargada ( $Y_1 > \mathcal{T}_1$ ) respectivamente.

En la realidad las bobinas diametrales son comunes en los arrollamientos de simple capa, mientras que en los de doble capa, que poseen menos restricciones constructivas, son comunes las bobinas acortadas. Las bobinas acortadas o de paso fraccionado, al ser más angostas, permiten un ahorro de material y mejoran la distribución del campo magnético en el entrehierro. Las bobinas alargadas producen la misma mejora pero utilizan mayor cantidad de material, por lo tanto su empleo es muy limitado.

- **Tipos de arrollamientos**

Los tipos básicos de arrollamientos distribuidos son dos: *imbricados* y *ondulados*, los que pueden tener variantes respecto a su forma básica. Los arrollamientos imbricados son los más utilizados, mientras que los ondulados suelen emplearse en máquinas de corriente alterna de gran tamaño o en algunos inducidos de máquinas de corriente continua.

En los **Arrollamientos Imbricados**, las sucesivas bobinas quedan *parcialmente superpuestas*. En la Fig. 2.16 se muestra un grupo de dos bobinas de un arrollamiento imbricado.

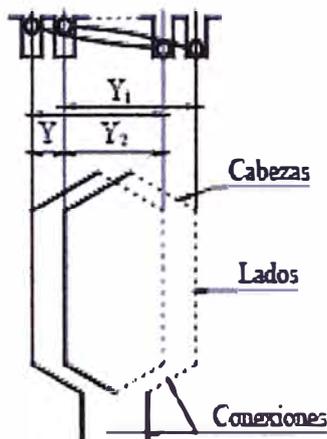


Fig. 2.16 Arrollamiento imbricado

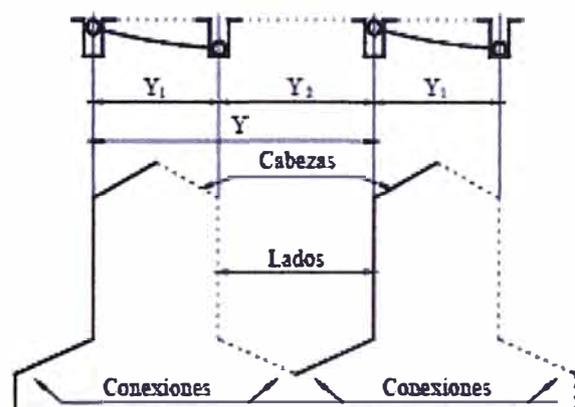


Fig. 2.17 Arrollamiento ondulado

Donde:

- $Y_1$  Paso de bobina.
- $Y_2$  Paso de conexión.
- $Y$  Paso total o del arrollamiento

En estos arrollamientos se cumple la siguiente relación entre los pasos:

$$Y = Y_1 - Y_2$$

En los arrollamientos ondulados dos bobinas sucesivas se encuentran distanciadas aproximadamente un paso polar, es decir no se superponen, Fig. 2.17.

En los arrollamientos ondulados se cumple la siguiente relación entre los pasos:

$$Y = Y_1 + Y_2$$

Además resulta:

$$Y_1 \cong Y_2 \cong \mathcal{F}_p$$

Este tipo de arrollamiento se emplea mucho menos que los imbricados y, en los a colector, también existen las variantes progresivo, regresivo, simple, doble, etc

- **Devanados de pasos fraccionados [2]**

Se da cuando el espacio de centro a centro de las bobinas, es menor que el paso polar. Tales devanados son muy utilizados a causa de la forma de onda se aproxima más a la sinusoidal que con los pasos de paso completo. El empleo del paso fraccionario disminuye la f.e.m. en un factor de paso  $k_{p_r}$ , que es igual a:

$$K_{p_r} = \cos(\tau q / 2), \text{ donde: } \tau = 1, 2, 3, 5, \dots \text{ orden de componente armónico}$$

$$q = \text{ángulo para completar un paso completo}$$

Por efecto de los devanados distribuidos en dos o más ranuras por polo, las f.e.m. en las bobinas adyacentes estarán mutuamente desfasadas y su resultante será menor que la suma algebraica; esta relación se denomina factor de anchura, cuya cálculo es:

$$K_{b_r} = \frac{\text{sen}(q \gamma / 2)}{q \text{sen}(\gamma / 2)}, \text{ donde: } q = \text{número de ranuras por polo y por fase}$$

$$\gamma = \text{ángulo eléctrico de la ranura por polo y por fase}$$

El efecto sobre la F.e.m. inducida de paso fraccionado en sus componentes armónicos será:  $E_r = 4,44 K_{p_r} K_{b_r} f N \Phi$ ; donde,  $f$  es la frecuencia en ciclos por segundo;  $N$  es el número total de espiras en serie y  $\Phi$  es el flujo por polo en webers.

- c) **Devanado del Estator [3]**

Los materiales utilizados, las técnicas de manufactura empleadas en los procesos de rehabilitación o fabricación de bobinas del estator y las pruebas de control de calidad durante las pruebas finales en fábrica y las pruebas de la puesta en operación son de gran importancia en el performance a largo plazo de la de las máquinas eléctricas.

- **Bobinas – Conductores [4]**

Los conductores principales de las bobinas están conformados por subconductores aislados. El material debe ser de cobre electrolítico de 99,9 % de pureza y un contenido de oxígeno no mayor a 10 ppm.

El aislamiento de los conductores y subconductores que forman una bobina debe ser de cinta de fibra de vidrio flexible para permitir el moldeo de transposiciones o la curvatura de cabezales, sin que sufra ningún daño durante el proceso de manufactura.

El fabricante debe utilizar un relleno aislante en las zonas se realizan las transposiciones para obtener un área uniforme. El relleno debe ser a base de una mezcla de polvo de mica aglomerada con resina epóxica.

Las pruebas finales durante la fabricación deben ser debidamente programadas

- **Conexiones entre bobinas**

Las conexiones deben ser iguales o mayores del diseño original

- Prueba de ultrasonido de las uniones soldadas
- Aislamiento de uniones soldadas y curada con temperatura si utilizan capuchones de resina.

- **Materiales de Relleno de Ranuras**

El prestador de servicio debe utilizar materiales de relleno impregnados con pintura semiconductor de fondo de ranura, separador entre bobinas relleno entre la cuña y la bobina y los rellenos laterales necesarios para garantizar el empaque correcto de la bobina en la ranura.

- **Pruebas Finales de aceptación del devanado**

- Prueba de Tensión Aplicada por grupos
- Medición de la resistencia óhmica
- Medición de la resistencia de la cinta semiconductor
- Medición de capacitancia y tangente de pérdidas

**d) Núcleo del estator**

El núcleo del estator está formado por laminaciones aisladas entre sí para facilitar el flujo magnético en el sentido radial. Las láminas se traslapan para formar un cilindro donde tienen troqueladas las ranuras y los elementos de sujeción. La periferia del núcleo puede estar en corto circuito no así la zona adyacente a las ranuras. Los extremos del núcleo se sujetan mecánicamente por lo que se conoce como dedos de sujeción. Se debe evitar que haya puntos adicionales de conexión entre láminas para evitar la inducción de corrientes parásitas.

Para detectar en el núcleo imperfecciones y principalmente corto circuitos entre laminaciones mediante las siguientes pruebas:

- **Prueba de Imperfecciones Electromagnéticas en el Núcleo (EL CID)**

Esta técnica requiere de un circuito de excitación (Toroide) construido concéntricamente y alineado con el eje axial del estator, requiriéndose de aproximadamente de 5 a 15 vueltas alimentado con un voltaje de 120 a 240 voltios con cable de calibre adecuado (10 AWG). El circuito se conecta a una fuente de tensión alterna variable hasta inducir aproximadamente el 4% del flujo nominal del núcleo. Con esta baja densidad de flujo, se puede ingresar al núcleo sin peligro con el detector ELCID para registrar las corrientes axiales en las laminaciones del estator. La forma de detección de las corrientes inducidas es mediante el desplazamiento de una bobina recolectora de campo magnético denominada "Chatock (Rogowsky) a lo largo y ancho

del núcleo del estator, obteniéndose un registro digital para su análisis. Cualquier corriente axial elevada, en las laminaciones en la superficie del núcleo aparecerá como picos en el medidor.

En caso de encontrar valores superiores a 100 mA, en esta prueba, se procederá a efectuar una prueba toroide de alta potencia, para investigar el estado del núcleo.

#### **Prueba de circuito de Alta Potencia de Flujo Toroide / Termovisión**

Determinada las características de la bobina toroide se instala el cable en forma toroidal y concéntrica con el eje axial del estator entre 3 a 10 vueltas. Seguidamente se energiza el circuito con alta tensión para obtener niveles de densidad de flujo de 1 a 1,5 teslas. Luego se inspecciona con una cámara de termovisión con lente angular para explorar grandes porciones de la superficie del núcleo para detectar puntos calientes. Las áreas de calentamiento son detectadas generalmente después de 1 hora de energizado el circuito.

#### **- Criterios de evaluación**

Tabla 2.2 Pruebas de Aceptación

<b>Prueba</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Investigación</b>	<b>Reparación</b>
<b>ELCID (mA)</b>	0 - 100	100 - 200	Mayor a 200
<b>TOROIDE (°C)</b>	< 5	5 a 10	> 20

#### **e) Devanado del Rotor**

La empresa prestadora del servicio deberá realizar antes de realizar el mantenimiento del rotor deberá realizar primeramente una inspección visual de las imperfecciones mecánicas, eléctricas y magnéticas de los devanados del rotor y de los anillos rozantes, siguiendo la Norma Peruana de Diagnóstico de Equipos Eléctricos de Potencia [5].

Los cabezales deben contar con soportes aislantes que proporcione la rigidez mecánica necesaria para evitar desplazamientos de los conductores originados por la fuerza centrífuga.

Seguidamente deberá verificar el aislamiento de los devanados del rotor, anillos y la resistencia óhmica con el objetivo de diagnosticar el grado de mantenimiento a que debe ser sometido los devanados del rotor; y seguidamente proceder a su mantenimiento; luego del cual se deberá nuevamente realizar las pruebas de resistencia de aislamiento y calcular el Índice de Polarización de los devanados del rotor.

## **CAPÍTULO III CICLO DEL PROYECTO**

### **3.1 Determinación del Ciclo del Proyecto**

Todo Proyecto se inicia por dos razones, satisfacer una necesidad o solucionar un problema; el presente trabajo se origina por satisfacer la necesidad por parte de una empresa generadora, en este caso ELECTROANDES (ELA) de realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de 03 generadores de potencia de la Central Hidroeléctrica de Yaupi (CHE Yaupi) consistente en el Rebobinado de 03 Estatores de Grupos de Generación de 24 MVA y el mantenimiento de los respectivos rotores.

La determinación del Ciclo de Vida del Proyecto, dependerá desde que nivel de la organización se plantee satisfacer la necesidad de ejecutar la reparación del bobinado de los 03 estatores de los generadores de la CHE Yaupi; el mismo que se puede abordar desde una concepción integral desde el punto de vista de la Empresa Generadora o en etapas si la ejecución de ciertos procesos se ejecuta con empresas Consultoras y/o de Mantenimiento de Reparaciones Especializadas, de acuerdo al grado de integración horizontal de la empresa.

Por lo tanto, para satisfacer la necesidad de la empresa, se tiene que determinar el Ciclo de Vida del Proyecto que satisfaga el propósito de la organización, para lo cual según lo expresado líneas arriba, estaríamos ante la presencia de 03 Ciclos.

Las fases que comprende cada Ciclo de Vida son secuenciales y, normalmente la forma de transferencia de una fase a otra se da a través de un "entregable", que se describen a continuación:

a) Desde el punto de vista de la **Empresa Generadora**:

- Elaboración de los Términos de Referencia mediante la contratación de un Especialista o Consultora.
- Proceso concursal para contratar la empresa que realizara el mantenimiento y/o reparación de las máquinas eléctricas.
- Ejecución del mantenimiento y reparación de los generadores.
- Puesta en marcha.

b) Desde el punto de vista de la **Consultora**:

- Establecer el Alcance del servicio de mantenimiento y/o reparación

- Determinar la “Línea de Base” de los parámetros electromecánicos
  - Determinación de los entregables del servicio.
  - Términos de Referencia
- c) Desde el punto de vista de la **Empresa de Mantenimiento y Reparación**:
- Elaboración de la Propuesta Técnica y Económica
  - Determinación del Alcance del Contrato
  - Fabricación de las Bobinas
  - Trabajos preliminares
  - Estator desmontado y listo para su reparación
  - Montaje de Bobinas
  - Montaje del Generador
  - Puesta en Marcha
  - Monitoreo

Esquemáticamente, lo expresado en los literales anteriores explica que el ciclo de vida del proyecto visto por la empresa generadora envuelve a las otras.

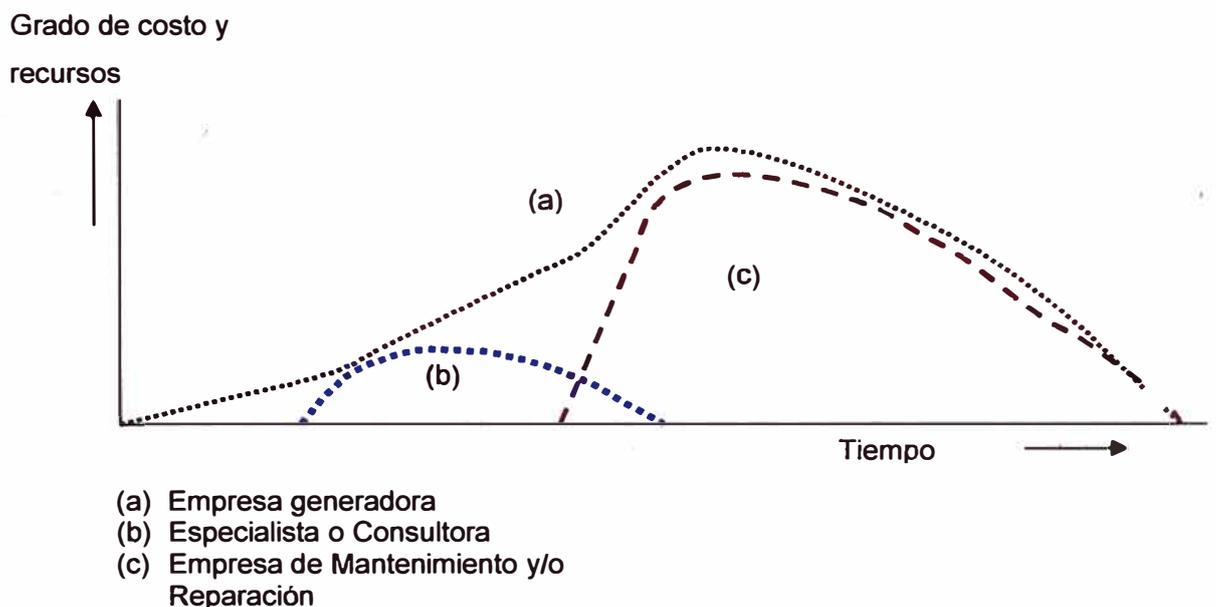


Fig. 3.1 Ciclo de vida del proyecto

La definición del “ciclo de vida” del proyecto puede ayudar al Director del Proyecto a determinar si este deberá tratar los estudios, elaboración de Términos de Referencia o la Elaboración de la Propuesta Técnica Económica como la primera fase del proyecto en cada caso o tratarlo como un proyecto separado e independiente

Para efectos del presente trabajo el ciclo del proyecto que se tratara corresponde al visto por la empresa de Mantenimiento y/o Reparación, curva (c) del esquema, donde la elaboración de la propuesta técnica y económica de su servicio corresponde a la primera

fase del proyecto.

Nótese que el Ciclo de Vida del Proyecto desde el punto de vista de la empresa, curva (a), envuelve a los ciclos de las curvas (b) y (c).

Hay que entender que no existe una única manera, que sea la mejor, para definir el ciclo de vida del proyecto. Las prácticas comunes son las que generalmente se emplean en la industria del sector y que para el presente caso al no haber bibliografía específica para lo que son reparaciones de estatores de generadores de potencia, se lo está definiendo en base a la experiencia y a los conocimientos en dirección de proyectos que ofrece la Guía del PMBOK, para promover una guía de cómo ejecutar un proyecto de esta naturaleza y minimizar los riesgos de su ejecución por parte de la empresa responsable de la Reparación del Bobinado de los 03 generadores de potencia de la CHE Yaupi.

### **3.2 Relación entre el Ciclo de Vida del proyecto y las operaciones de la empresa generadora ELA**

Los generadores de potencia de la CHE Yaupi requieren después de cierto periodo de operación continua someterse a un mantenimiento preventivo de sus componentes principales, los mismos que son monitoreados periódicamente a fin de establecer las fechas de su programación

El proyecto de reparación de los 03 estatores de potencia de la CHE Yaupi se origina como una necesidad de las operaciones ordinarias (núcleo del negocio) de la empresa; es decir, que luego de culminado la reparación de los 03 estatores de los generadores de potencia estos serán entregados como producto final para reintegrarse nuevamente a las operaciones habituales de la empresa.

El periodo de duración de operación continua de los generadores, su parada para el mantenimiento y/o reparación de sus componentes principales constituye lo que en la Dirección de Proyectos se denomina el **Ciclo de Vida del Producto**.

En el siguiente esquema mostrado en la Fig. 3.2, está claro que el Ciclo de Vida del Proyecto forma parte del Ciclo de Vida del Producto; es decir que el proyecto de Reparación de los 03 Generadores de Potencia se considera parte del ciclo de vida de la operación de la Central Hidroeléctrica, siendo el producto **La Energía**.

En dicha Fig. 3.2, se observa la fase inicial del proyecto, fases intermedias y la fase final.

### **3.3 Fases del Ciclo de Vida del proyecto**

Definido el Ciclo de Vida del Proyecto de un trabajo, se pasa a definir cada una de las fases del proyecto.

También se observa que el fin es el producto o sea la energía.

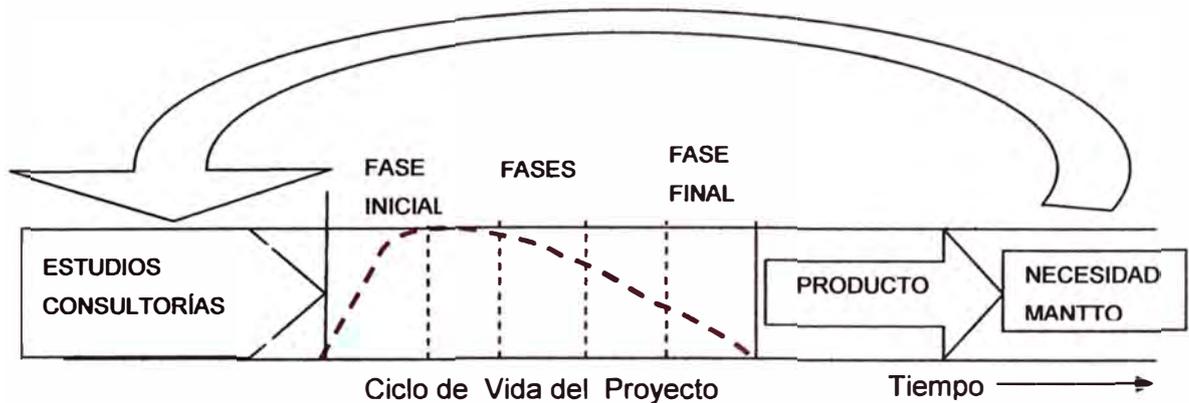


Fig. 3.2 Ciclo de vida del Producto

### 3.3.1 Elaboración de la Propuesta Técnica y Económica

Esta fase abarca el grupo de procesos de inicio del proyecto; en esta fase la empresa de mantenimiento y reparación tomará la decisión de presentarse o no al concurso público que convoca ELA para realizar el servicio requerido. Durante esta etapa la empresa de servicios de mantenimiento y reparación designará al Director o responsable del proyecto y convocará al equipo del proyecto para analizar y evaluar las bases administrativas del concurso y las Especificaciones Técnicas (en base al cual la empresa de servicios de mantenimiento y reparación toma la decisión de participar en el concurso) y elabora la Propuesta Técnica y Económica para su presentación.

Durante el Proceso de Iniciación, la toma de decisiones de aprobación de la Propuesta Técnica y Económica de la empresa de mantenimiento y reparación recae principalmente en el patrocinador del proyecto quién lo financia (ELA); seguidamente el director y el equipo del proyecto de la empresa de mantenimiento y reparación en base a la información proporcionada por ELA y los recursos ofertados de la empresa de reparaciones la empresa de mantenimiento y reparación elaborará, lo que se denomina en el PMBOK, el Acta de Constitución, el Enunciado del Alcance preliminar del Proyecto y la propuesta técnica económica a ELA.

### 3.3.2 Fabricación de Bobinas Estatóricas

Esta fase del proyecto describe las actividades que se deben ejecutar para proveer los nuevos juegos de bobinas estatóricas para los 03 generadores de potencia de 24 MVA de la CHE Yaupi, de acuerdo a requisitos de calidad exigidos por ELA.

Este entregable es considerado una fase del proyecto, debido a que este entregable será encargado a una empresa especialista y tecnología certificada en la fabricación de bobinas para máquinas eléctricas de gran potencia que garantice las exigencias de

calidad de la empresa generadora. La empresa de servicios de mantenimiento y reparación responsable del servicio de rebobinado contrata los servicios con la empresa General Electric Energy Power Systems España, S. A.

Los certificados de calidad exigidas al fabricante, las condiciones de embalaje, plazos de entrega y transporte son actividades que también serán descritas en el presente informe por la importancia de su cumplimiento para dar inicio a los trabajos de montaje; así como, los riesgos involucrados en cada una de ellas.

### **3.3.3 Trabajos preliminares**

Esta fase comprende la preparación de la zona de trabajo para realizar los trabajos de desmontajes de los componentes a ser reemplazados; así como toda la preparación de los materiales aislantes requeridos durante el desarrollo del proyecto, como: construcción de andamios, soportes, equipos y herramientas menores; corte de materiales aislantes a utilizarse para realizar cada uno de los entregables.

### **3.3.4 Estator desmontado y listo para su reparación**

Esta fase comprende las actividades necesarias para dejar expedito el estator para el inicio del montaje de las bobinas; este entregable es de entera responsabilidad de la empresa generadora de acuerdo a los alcances del servicio definidos en los términos de referencia y contrato.

### **3.3.5 Montaje de Bobinas del estator**

La ejecución de esta fase comprende el núcleo del servicio que debe realizar la empresa de mantenimiento y reparación y comprende la secuencia cronológica de los entregables para completar el montaje junto con las pruebas eléctricas y mecánicas a que son sometidas las nuevas bobinas para su curado final.

Durante esta fase, paralelamente, se procederá con el mantenimiento del rotor de los generadores, realizando el reforzamiento del aislamiento de sus principales componentes.

### **3.3.6 Montaje del Generador**

Culminado el montaje de las bobinas y realizado el mantenimiento de los rotores, se procederá con el montaje electro mecánico del generador y su acople a la máquina prima. Este entregable será ejecutado por la empresa generadora ELA.

### **3.3.7 Puesta en Marcha**

Terminado el montaje del generador, la empresa de servicios de mantenimiento y reparación inicia las pruebas del generador para su puesta en marcha.

### **3.3.8 Monitoreo**

Esta fase es importante para la empresa de servicios de mantenimiento y reparación, debido a que existe una garantía por 03 años de los trabajos realizados.

## CAPÍTULO IV

### PROCESOS DE DIRECCION DEL PROYECTO

#### 4.1 Dirección del Proyecto

La Guía del PMBOK define la Dirección de Proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas durante el desarrollo de los procesos y actividades para satisfacer las necesidades del cliente, mediante la aplicación e integración de los cinco grupos de procesos de dirección de inicio, planificación, ejecución, seguimiento y control y cierre en los procesos pertinentes para este proyecto que abarcan las nueve áreas del conocimiento de la dirección de proyectos.

Los grupos de proceso de Dirección son los siguientes:

- Grupo de Proceso de **Iniciación**: que define y autoriza el proyecto o una fase del mismo.
- Grupo de Proceso de **Planificación**: define y refina los objetivos y planifica el curso de acción requerido para lograr los objetivos y el alcance pretendido del proyecto.
- Grupo de Proceso de **Ejecución**: integra a personas y otros recursos para llevar a cabo el plan de gestión del proyecto
- Grupo de Proceso de **Seguimiento y Control**: mide y supervisa regularmente el avance a fin de identificar las variaciones respecto del plan de gestión del proyecto, de tal forma que se toma medidas correctivas cuando sea necesario para cumplir con los depósitos del proyecto.
- Grupo de Proceso de **Cierre**: formaliza la aceptación del producto, servicio o resultado, y termina ordenadamente el proyecto o una fase del mismo.

Los Grupos de Procesos de Dirección de proyectos están siempre presentes en todo proyecto y están relacionados, el resultado o salida de uno se convierte en la entrada del otro proceso, no se tratan de elementos discretos sino de continuos que no necesariamente se producen una única vez durante el desarrollo del proyecto. Los grupos de procesos también interactúan en las diferentes fases del proyecto.

En la Fig. 4.1, se ilustra como los grupos de procesos interactúan en el presente proyecto y se superponen en diferentes momentos, del esquema se aprecia que el grupo de proceso de seguimiento y control lógicamente está presente en todos los otros grupos de procesos. El mayor nivel de interacción entre Grupos de Procesos se da entre el Grupo de Proceso de Planeamiento y el Grupo de Proceso de Ejecución intercalando su preponderancia de incidencia durante el periodo de desarrollo del proyecto.

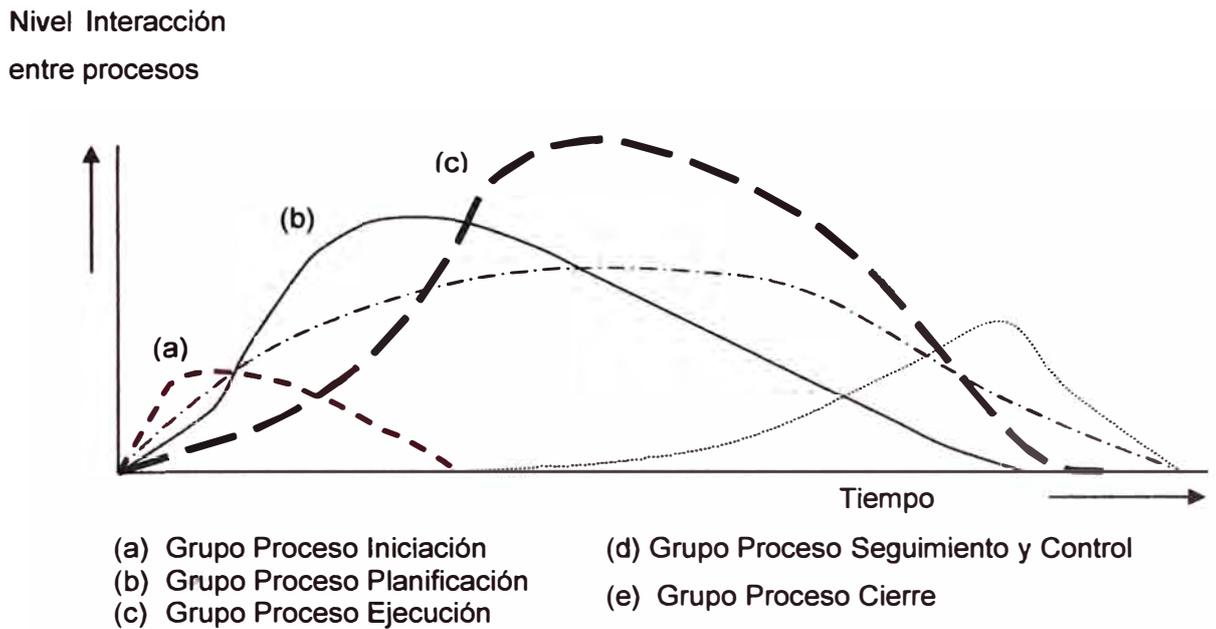


Fig. 4.1 Grupo de procesos durante el ciclo del proyecto

Los procesos de dirección en las nueve áreas del conocimiento están integrados totalmente o parcialmente en los grupos de procesos de la dirección de proyectos, que como ya se indicó anteriormente no todos serán aplicables al proyecto de Rebobinado de 03 estatores de generadores de 24 MVA CHE Yaupi; sin embargo, con el objeto de tener el marco teórico general de lo que propicia la Guía del PMBOK se presenta en la Tabla 4.1 el cuadro matricial de los 44 procesos que comprende la dirección de proyectos identificando a que Grupo de Procesos y Área del Conocimiento corresponden.

En el presente trabajo, por las características propias del proyecto, se desarrolla con mayor énfasis aquellos procesos que se encuentran en los recuadros sombreados en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Cuadro matricial de los Procesos [6]

Procesos de un Área de Conocimientos	Grupo de Procesos de Dirección de Proyectos				
	Iniciación	Planificación	Ejecución	Seguimiento y Control	Cierre
Gestión de Integración del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar el Acta de Constitución</li> <li>• Desarrollar el Enunciado del Alcance Preliminar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar el Plan de Gestión del Proyecto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dirigir y Gestionar la Ejecución del Proyecto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supervisar y Controlar el Trabajo del Proyecto</li> <li>• Control Integrado de Cambios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cerrar el Proyecto</li> </ul>
Gestión del Alcance del Proyecto		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planificación del Alcance</li> <li>• Definición del Alcance</li> <li>• Crear EDT</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificación del Alcance</li> <li>• Control del Alcance</li> </ul>	
Gestión del Tiempo del Proyecto		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definición de Actividades</li> <li>• Establecer la secuencia de Actividades</li> <li>• Estimación de Recursos de Actividades</li> <li>• Estimación de la Duración de Actividades</li> <li>• Desarrollo del Cronograma</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control del Cronograma</li> </ul>	
Gestión de los Costos del Proyecto		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimación de Costos</li> <li>• Preparación Presupuesto de Costos</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de Costos</li> </ul>	
Gestión de la Calidad del Proyecto		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planificación de la Calidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar Aseguramiento de la Calidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar Control de Calidad</li> </ul>	
Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planificación de los Recursos Humanos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adquirir el Equipo del Proyecto</li> <li>• Desarrollar el Equipo del Proyecto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestionar el Equipo del Proyecto</li> </ul>	
Gestión de las Comunicaciones del Proyecto		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planificación de las Comunicaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribución de la Información</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informar el Rendimiento</li> <li>• Gestionar a los Interesados</li> </ul>	
Gestión de los Riesgos del Proyecto		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planificación de la Gestión de Riesgos</li> <li>• Análisis Cualitativo de Riesgo</li> <li>• Análisis cuantitativo de Riesgo</li> <li>• Planificación de las Respuestas a los Riesgos</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguimiento y control de Riesgos</li> </ul>	
Gestión de las Adquisiciones del Proyecto		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planificar las Compras y las adquisiciones</li> <li>• Planificar la Contratación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar Respuesta Proveedores</li> <li>• Selección de Proveedores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Administración del Contrato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cierre del Contrato</li> </ul>

Fuente: Guía de Fundamentos de la Dirección de Proyectos – 3ra Edición PMI

El Director del proyecto será el responsable de alcanzar los objetivos del proyecto siendo responsable de desarrollar en la fase inicial tres documentos principales que son: i) el Acta de Constitución del Proyecto, que autoriza formalmente el proyecto; ii) el enunciado del Alcance del Proyecto, que establece el trabajo que debe realizarse y los productos entregables que deben producirse y; iii) el Plan de Gestión de Gestión del Proyecto, que establece como se realizará el trabajo.

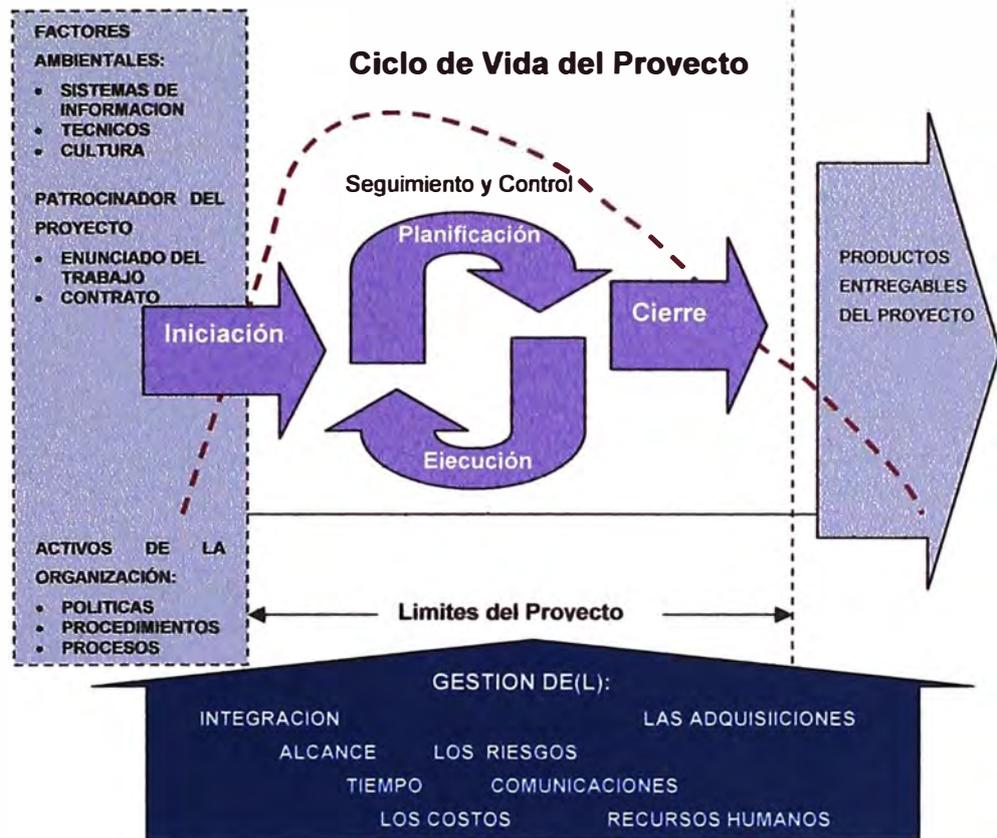


Fig. 4.2 Interacción de los Grupo de procesos y las áreas del conocimiento

El esquema muestra los cinco grupos de procesos y la interacción con los procesos de las nueve áreas del conocimiento durante el desarrollo del ciclo del proyecto; cabe señalar que no todos los procesos de las nueve áreas del conocimiento son aplicables a todos los proyectos, esto dependen de la complejidad y las características propias de cada proyecto.

#### 4.2 Acta de Constitución del Proyecto

Documento que da inicio al proyecto con la autorización del patrocinator quién financia la ejecución del proyecto, con este documento se confiere autoridad al responsable de la ejecución del servicio para aplicar los recursos de la organización en las actividades del proyecto.

En el indicado documento se describe el servicio requerido por la empresa generadora (patrocinadora del proyecto), consistente en el Rebobinado de 03 estatores de generadores de 24 MVA CHE Yaupi.

El desarrollo del Acta de Constitución es el proceso que justifica y vincula documentalmente la comprensión efectiva de los requisitos del servicio a prestarse por La empresa de servicios de mantenimiento y reparación, como una necesidad de satisfacción del negocio de la empresa generadora ELA; en otras palabras vincula el desarrollo del proyecto con el “Core Business” de la empresa. En resumen el Acta de Constitución autoriza la ejecución y financiamiento del proyecto.

Este documento debe contener:

- El enunciado del alineamiento de los objetivos de la organización con el propósito del Proyecto

ELA es una empresa que produce Energía Eléctrica, garantizando un producto de calidad de acuerdo con las leyes y normativa vigente del sector eléctrico, seguridad industrial y preservando el medio ambiente con una filosofía de mantenimiento orientada a proporcionar la disponibilidad y confiabilidad de operación de los equipos y componentes al mínimo costo, con base en una óptima de mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo y proactivo.

El propósito del proyecto de Rebobinado de 03 estatores de generadores de 24 MVA, tiene como objetivo principal poner a las tres unidades generadoras en condiciones de disponibilidad para una operación segura y confiable.

- Los principales entregables, señaladas en la estructura del EDT
- Las fases del proyecto, descritas anteriormente en el numeral 3.3 del capítulo tercero.
- Las restricciones, asunciones y límites del proyecto:

Las restricciones están relacionadas con las condiciones contractuales sobre presupuesto, plazos, etc., enumerándose en el Acta solo los principales, en el servicio de Rebobinado de los estatores se pueden citar entre los principales:

- i. El plazo del servicio es de 180 días contados a partir de la fecha de suscripción del contrato.
- ii. Resolución por penalidades equivalentes al 5% del monto contratado.
- iii. No existe incrementos de los precios ofertados una vez emitida la orden de compra o firmado el contrato.

Las asunciones están asociadas al Alcance del Proyecto, por ejemplo:

- iv. Los rotores de los generadores se encuentran en condiciones operativas y solo requieren mantenimiento preventivo.

- v. El desmontaje y montaje de los equipos electro mecánicos es de entera responsabilidad de empresa generadora
- vi. Los núcleos magnéticos de los estatores no presenten fallas importantes que afecten sus láminas.

Los límites del proyecto identifican las actividades que están incluidas dentro del proyecto y explícitamente las que no están en el proyecto, como son:

- vii. La empresa de servicios de mantenimiento y reparación, no es responsable del deterioro de las nuevas bobinas estatóricas ocasionadas por las actividades de montaje del rotor en la unidad estatóricas por ELA y durante las pruebas y operación del rotor.
  - viii. La empresa de servicios de mantenimiento y reparación, no es responsable de fallas en el rotor de las unidades generadoras antes del mantenimiento; y durante las pruebas y operación del generador.
- La identificación de los involucrados  
El objetivo de conocer a los involucrados del proyecto es analizar y evaluar cómo puede el proyecto satisfacer sus expectativas y afectar el desarrollo del proyecto. Generalmente en proyectos nuevos el conocimiento de los involucrados es un proceso de suma importancia por tratarse de una variable exógena decisiva en la aceptación de su ejecución, su desarrollo y operación en el tiempo. Una mala Gestión de los involucrados en la dirección de los proyectos significa un alto riesgo en sus primeras fases.  
El proyecto que nos ocupa, nace como un requerimiento de la operación de la empresa ELA para mantener la continuidad de las operaciones habituales de la empresa; y en ese sentido no existe mayor riesgo que los directamente vinculados al Rebobinado de los 03 estatores del grupo generador de la CHE Yaupi. Que son: ELECTROANDES S.A., la empresa de servicios de mantenimiento y la empresa proveedora de las bobinas.
  - Los factores críticos de éxito del proyecto; son aquellos factores o eventos que podrían afectar directa o indirectamente el éxito del proyecto, como son:
    - ix. Que las bobinas se encuentren con defectos constructivos
    - x. Que el núcleo del estator se encuentre en malas condiciones.
    - xi. Que durante el montaje, por las maniobras, se produjera deterioro significativo de parte de los componentes del generador.
    - xii. Que los materiales aislantes utilizados sufran deterioro prematuro
  - La estimación de los recursos requeridos.
  - Costos estimados del proyecto.

- La reserva de contingencia, definida como aquella que el equipo del proyecto determina en función a su experiencia y que necesariamente debe ser aprobada por el patrocinador.
- Beneficios estimados
- Estimado de fechas de inicio y término.
- Quienes tienen la autoridad en el proyecto.
- Integrantes del equipo del proyecto, roles y responsabilidades.

### **4.3 Enunciado del Alcance del Proyecto**

Incluye los procesos necesarios para asegurarse que el proyecto incluya todo el trabajo requerido y solo el trabajo requerido para completar el proyecto satisfactoriamente. En términos simples el Alcance del Proyecto tiene que ver con la definición y control de lo que esta y no está en el proyecto; es decir define los límites del proyecto definiendo las responsabilidades que asume cada una de las partes en el desarrollo del proyecto.

Los procesos relacionados con el Alcance son importantísimos para las partes involucradas ya que delimita las actividades que se obligan cada una de las partes que intervienen directamente en la prestación del servicio señalando explícitamente los requisitos, características y calidad de los **entregables** del proyecto.

El Enunciado del Alcance del Proyecto se inicia preliminarmente con la información proporcionada por la Empresa Generadora (Especificaciones Técnicas del servicio requerido del Anexo) para que luego el **Equipo del Proyecto** de la prestadora del servicio se encargue de precisar el Alcance del Proyecto en base a información primaria y experiencia en la ejecución de proyectos similares.

La empresa de reparación M&P Ingenieros responsable de ejecutar el proyecto del Servicio de Rebobinado y mantenimiento de 03 estatores de Grupos de Generadores de 24 MVA – CHE Yaupi, tuvo cuidado en definir el Alcance del proyecto para lo cual utilizo la información que la empresa generadora ELA proporciono; así como de las normas, directivas, (factores ambientales) e información histórica, recursos humanos y lecciones aprendidas (activos de la organización).

## **CAPÍTULO V REBOBINADO DE LOS ESTADORES**

### **5.1 Estructura del Desglose del Trabajo (EDT)**

Es la descomposición jerárquica detallada del trabajo en forma descendente que debe ser ejecutado para la reparación de los bobinados estatóricos de los 03 generadores creando los productos entregables necesarios para lograr los objetivos del proyecto como se muestra en la Fig. 5.1.

La empresa, encargada de la reparación en base a su "Know How" debe enunciar el desglose del trabajo hasta el mínimo manejable, denominado en el PMBOK (paquete de trabajo), que se define como la actividad del nivel más bajo que en costo y tiempo de trabajo puede ser estimado en forma viable.

### **5.2 Diccionario del EDT**

El diccionario del EDT detalla los entregables del proyecto hasta el paquete de trabajo, que debe incluir los códigos de cuenta de control, los responsables del trabajo, el enunciado del alcance del trabajo y la lista de hitos del cronograma.

El diccionario del EDT, junto con el EDT y el enunciado del alcance detallado del proyecto, aprobado por el patrocinador del proyecto constituyen la **línea de base del alcance del proyecto** que permitirá realizar las evaluaciones durante el desarrollo y cierre del proyecto.

Los entregables del proyecto son los siguientes:

#### **5.2.1 Bobinas en Planta**

Para la ejecución de este entregable M&P Ingenieros, que es la empresa de mantenimiento y reparación; contrata los servicios de la empresa española especializada GE Energy Power Systems España, S.A., responsable técnico de la fabricación de las bobinas en su Fábrica de San Sebastián Barrio KarriKa S/N Apartado 18 20140 Andoain (Gipúzkoa), bajo condiciones técnicas y estándares de calidad exigida por Electroandes S.A.

Las 200 bobinas por estator puestas a disposición de la empresa de reparación y mantenimiento M&P Ingenieros S.A.C., se sometieron a pruebas de verificación de sus parámetros eléctricos en presencia del Supervisor de ELA a fin de que considerados conformes sean consideradas disponibles para su montaje.

## Estructura del Desglosé del Trabajo (EDT)

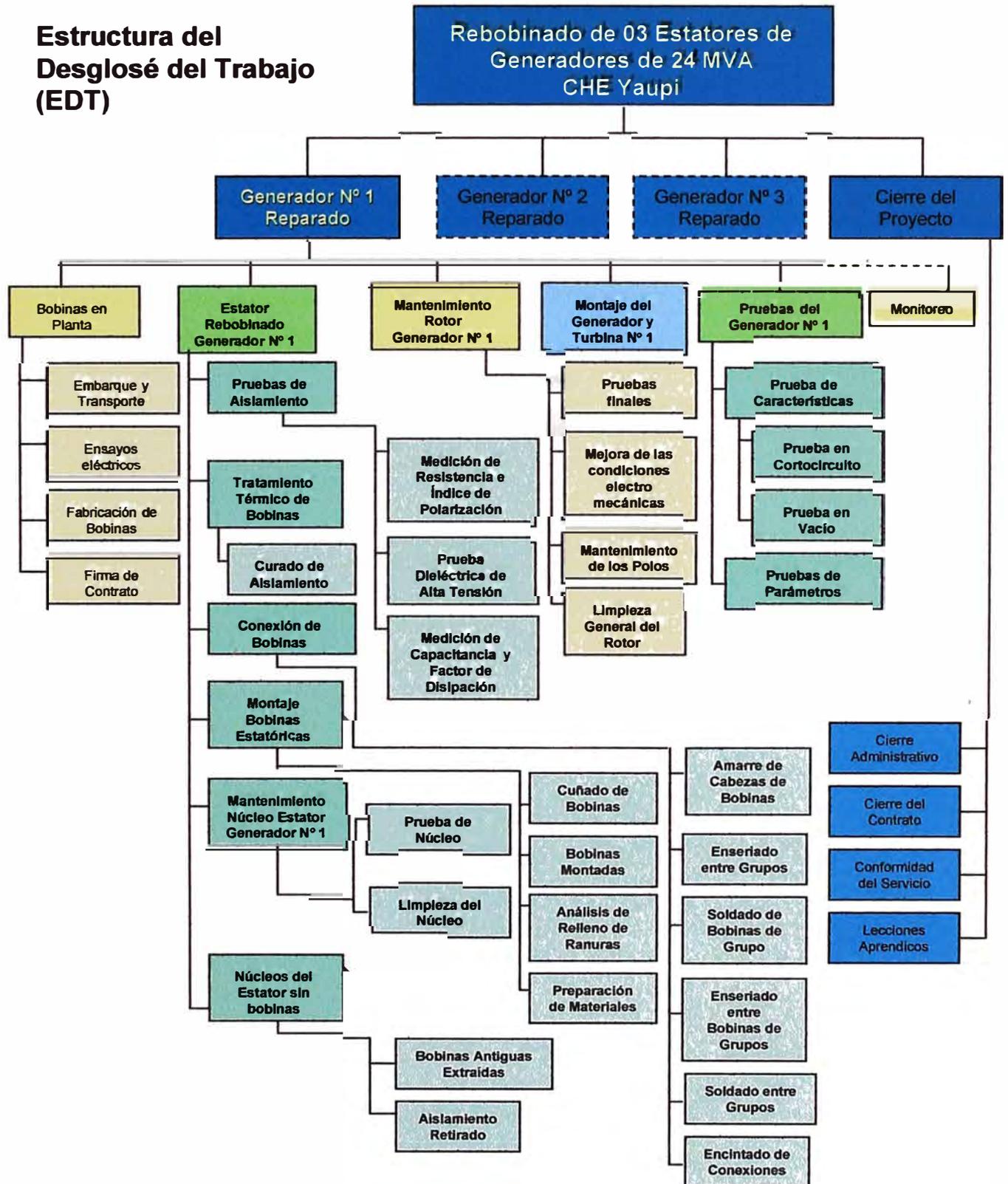


Fig. 5.1 Estructura del Desglose del trabajo

Los procedimientos más utilizados en la actualidad para el aislamiento en la fabricación de bobinas son el proceso Resin Rich, empleado en la ejecución de este proyecto, o el de Vacío.

- **Sistemas de Aislamiento Epoxídicos para Bobinas de Generadores – Proceso Resin Rich**

Este sistema de aislamiento fue diseñado para corregir los problemas derivados de la escasa homogeneización que se conseguía con los sistemas anteriores de aislamiento (micas asfálticas y micas secas con poliéster), en los cuales se producen pequeñas bolsas de aire ocluido, que al ionizarse produce descargas parciales en el seno del aislamiento acortando por descomposición la vida del material aislante.

Se basa en la aplicación de las cintas obtenidas por técnicas de aplicaciones de películas sobre distintos soportes como es la cinta calmicaglas que se compone de papel de mica basada en muscovita calcinada impregnada con resina epóxica y tela de vidrio como portador.

Une a este sistema, la bondad del método de encintado continuo, con las características de los nuevos aislamientos de tipo mica-resina epoxi, consiguiendo con ello una capa perfectamente homogeneizada.

Resulta imprescindible para conseguir el resultado correcto, la utilización de los medios adecuados, tales como la encintadora automática de alta presión constante y prensas calientes automáticas con regulación constante de temperatura y presión.

Durante muchos años, el aislamiento asfáltico fue el aislamiento de Clase B estándar para barras estáticas de generadores. Debido al aumento de las características nominales de los generadores y de los voltajes de inducido, la empresa GE desarrolló un aislamiento con mayor capacidad térmica, resistencia física, tenacidad y propiedades dieléctricas, al que se conoce como sistema de aislamiento a tierra de Clase "F" GEGARD 600°. La mica, que proporciona la gran resistencia dieléctrica requerida, se aplica en forma de cinta de papel de mica integral "rica en resina".

Es impregnada, en condiciones de alta presión y temperatura, con un aglomerante de resina epoxídica termo endurecible. Tras los procesos de modelado y secado, el sistema GEGARD 600° constituye un aislamiento de alta densidad, elástico y homogéneo, de gran resistencia física y dieléctrica.

A continuación se presentan otras propiedades y ventajas adicionales del sistema GEGARD 600°:

- i. Resina – La importantísima base de toda la estructura del aislamiento es un perfeccionamiento clave en la ciencia y tecnología de las resinas epoxídicas y la razón esencial de muchas de las extraordinarias capacidades del aislamiento

GEGARD 600°. Gracias a la red transversal proporcionada por esta resina, pueden obtenerse prestaciones superiores, mientras que la cinética química sincronizada con precisión permite una óptima coincidencia entre los controles de fabricación y el rendimiento del producto final.

- ii. Mayor rendimiento térmico – Durante varios ciclos de funcionamiento y servicio a alta temperatura, las barras estatóricas de tamaño natural aisladas con el sistema GEGARD 600° resistieron, con éxito, a su deterioro debido a choques térmicos.
- iii. Mayor tenacidad – Las barras estatóricas con aislamiento GEGARD 600° presentan una mayor tenacidad y durabilidad.
- iv. Las barras estatóricas aisladas con el sistema GEGARD 600° poseen una mayor resistencia a los productos químicos, humedad, aceites y otros contaminantes.
- v. La cinta GEGARD 600° se coloca con un tensado predeterminado y solapado hasta la mitad de su anchura. Mediante un control estricto del espesor de la cinta durante la aplicación a máquina, se garantiza la aplicación uniforme del aislamiento en la barra estatórica.
- vi. Las barras estatóricas con aislamiento GEGARD 600° han demostrado tener una máxima estabilidad al envejecimiento.
- vii. A lo largo de numerosas pruebas durante la producción, abarcando todos los procesos de fabricación, se ha comprobado la repetibilidad y calidad del proceso de las barras estatóricas con aislamiento GEGARD 600°, siendo pues dicho proceso capaz de producir barras estatóricas uniformes adecuadas para los requerimientos de montaje y separación.
- viii. Las barras estatóricas aisladas con el sistema GEGARD 600° han superado pruebas de resistencia a la fatiga de larga duración, con fuerzas electromagnéticas y vibratorias dos veces superiores a las condiciones de funcionamiento extremas previstas.
- ix. Asimismo, la gran resistencia y alta fiabilidad de funcionamiento del sistema de aislamiento GEGARD 600° han sido confirmadas en las pruebas al choque, en las que se simulaban repentinas cargas en cortocircuito sobre modelos de estator de tamaño natural.
- x. Las barras con aislamiento GEGARD 600° poseen propiedades de rigidez que proporcionan al diseño una resistencia intrínseca a los problemas de vibración resonante. No hay constancia de problemas de vibración resonante con las barras estatóricas GE, siempre que se instalen correctamente.

Combinado con el método de impregnación y las técnicas de modelado de GE, de eficacia probada hace tiempo, el aislamiento GEGARD 600° conferirá al conjunto estator

rotor un sistema de aislamiento de alta calidad capaz de soportar considerables fuerzas electromagnéticas, vibratorias y de cortocircuito.

El sistema GEGARD 600° registra cero fallos de aislamiento en servicio debidos a una ruptura térmica o dieléctrica o a la disolución de la cinta. Nunca hubo ningún problema de seguridad funcional causado directamente por el aislamiento GEGARD 600°.

- **Proceso de Fabricación**

El sistema de aislamiento propuesto para la fabricación de las bobinas estáticas es el sistema de aislamiento GEGARD 600° de GE (Resin Rich).

Su uso ha eliminado totalmente los problemas de migración de aislamiento (agrietamiento circunferencial) experimentados con los antiguos devanados asfálticos. En resumen, el sistema posee mayor resistencia y tenacidad, lo que asegura su alta fiabilidad en el largo plazo.

**Secuencia de construcción**

Las actividades constructivas del proceso de fabricación de bobinas realizada por la GE Energy Power Systems España S.A. sigue la siguiente secuencia:

1. Arrollado
2. Formación de la bobina
3. Rigidización de la parte recta en prensa
4. Aislamiento a masa: encintado continuo en máquina automática con regulación constante de presión, y aplicación de cintas conductoras y semiconductoras.
5. Homogeneización y polimerización de aislamientos en prensa caliente.
6. Curado final de bobina, si procede, en estufa a 140° durante 10 horas.
7. Aplicación de una capa final de cinta de sellado en cabezas

Antes de la fabricación de las barras estáticas se construye un MODELO a escala 1:1 de un sector del núcleo magnético como se muestra en la Fig. 5.2 (a), la forma y el ángulo de la barra se verificarán en el modelo del estator antes de iniciar la producción definitiva de las barras de acuerdo a las dimensiones de la bobina mostradas en la Fig. 5.2 (b). De este modo, se garantiza que la bobina encajara perfectamente en el núcleo del estator durante el montaje final.

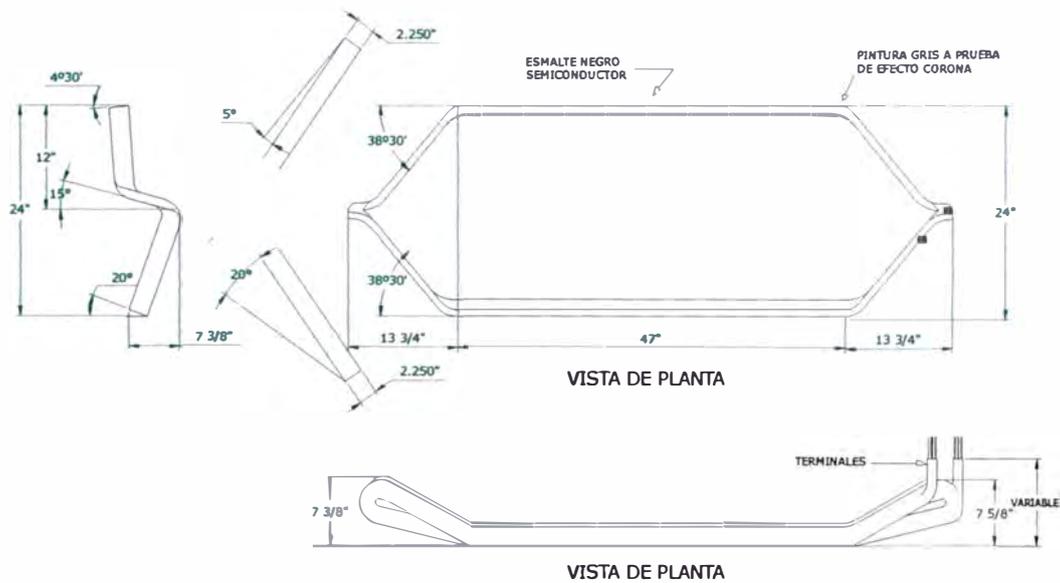
En la fabricación de barras estáticas, GE de España emplea cobre electrolítico recocido con aristas redondeadas de 99,9% que minimiza el agrietamiento por fatiga. Las pletinas de cobre son continuas de un extremo a otro de la barra. No permitiéndose empalmes de cobre.

El proceso de formación de las bobinas se realiza empleando una moldeadora hidráulica que se ajusta de acuerdo al diseño para proceder a darle el ángulo diseño, como se muestra en la Fig. 5.2 (c).



(a) Modelo a escala del núcleo estático

BOBINA PARA LOS ESTADORES



(b) Dimensiones de la bobina estática



(c) Máquina Hidráulica para formación de bobinas

Fig. 5.2 Dimensiones y forma de la Bobina,

Tras su conformación y rigidización se las moldea en máquina automática la cual nos aporta exactitud dimensional desde la 1<sup>a</sup> hasta la última bobina.

El aislamiento GEGARD 600° se aplica para formar el aislamiento a masa de cada barra estatórica formada. El aislamiento se aplica después de dar a las barras una forma acorde con el diseño del devanado frontal del estator.

El aislamiento de masa se realiza por el sistema de encintado continuo a 1/2 recubrimiento con aislamientos clase térmica "F".

Se utilizan: una cinta con soporte de vidrio, mica y alto contenido en resina epoxi en parte recta y otra cinta con soporte de vidrio, mica, folio de poliéster y con menor contenido de resina epoxi en cabezas.

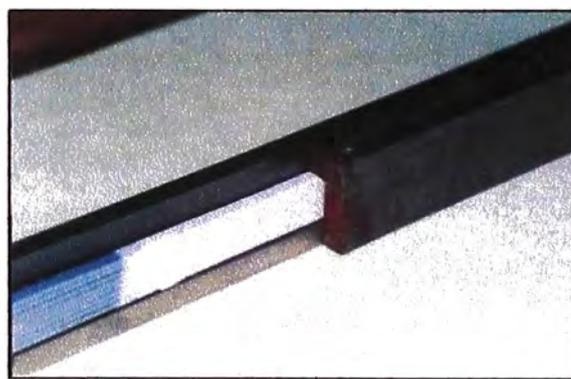
El cono de unión entre ambas cintas se efectúa en cabeza, alejando esta unión del paquete magnético.

Esta operación pretende conseguir una parte recta rígida y con muy buenas características dieléctricas (bajo valor absoluto de factor disipación e incrementos y bajo nivel de descargas) y una cabeza que permite cierta flexibilidad para facilitar el bobinado y manipulación.

La rigidización final de la parte recta se consigue mediante el tratamiento de polimerizado de los aislamientos epoxídicos en prensa y con reglas calientes como se muestra en la Fig. 5.3.



(a) Aplicación de prensa caliente



(b) Regleta caliente

Fig. 5.3 Rigidización de la parte recta de la bobina

- **Sistema de aislamiento y materiales aislantes utilizados**

- a) **Aislamiento del Conductor**

El aislamiento del conductor está más expuesto al voltaje en la operación rutinaria en el caso de que la transposición del conductor se realice al final del bobinado dentro del rango de trayectoria del bobinado. En caso de las barras de Roebel la exposición del aislamiento del conductor al voltaje tiene mucho más bajo nivel.

## CONDUCTOFOL 2009

Cinta de Film PETP papel de mica – Resina Epoxi.

**Composición:** papel de mica basado en Moscovita calcinada impregnada con Resina Epoxi tipo bisfenol A y un film PETP como portador.

### Propiedades:

El compuesto de papel de mica y film de poliéster garantiza un voltaje de ruptura muy elevado y una buena elasticidad.

La resistencia térmica según IEC 216 ha sido establecida en un mínimo de 170 °C y, gracias al alto contenido de mica (60%) y a la resina epoxi especialmente seleccionada, se obtiene una buena resistencia al arco así como también una extraordinaria resistencia tanto en la radiación como al efecto corona.

CONDUCTOFOL 2009, permanece flexible después de un tratamiento térmico. Esto permite que las bobinas pueden ser posteriormente formadas sin riesgo alguno para el aislamiento del conductor, inclusive después de la pre consolidación y prensado del aislamiento principal de la parte recta de las bobinas

### Aplicación:

CONDUCTOFOL 2009 Es utilizado para el aislamiento de pletina de cobre de máquinas de alta y baja tensión. Gracias a la alta resistencia a la tracción y buena elongación el CONDUCTOFOL 2009 permite una alta velocidad de encintado en máquinas convencionales. La cinta no necesita ser calentada o especialmente pegada al cobre de ninguna manera. Tan solo los extremos deben ser adecuadamente sujetos mediante cinta adhesiva.

El número de capas de cinta y el método de aplicación deben ser escogidos para adaptarse al uso final.

### Datos Técnicos:

**Tabla 5.1 Características del CONDUCTOFOL 2009**

CARACTERISTICA	UNIDAD	VALOR
Espesor Nominal	mm	0.09
Tolerancia:	mm	+ 0.01
Espesor después del prensado	mm	0.06 + 0.015
Sustancia total (Gramaje):	g/m <sup>2</sup>	129 + 13
Papel de mica:	g/m <sup>2</sup>	75 + 3
Film PETP:	g/m <sup>2</sup>	42 + 4
Contenido en resinas:	g/m <sup>2</sup>	12 + 3
Tensión de ruptura	kV	> 7
Resistencia a la tracción lineal / cm	N/cm	> 20
Rigidez (25 °C):	N/m	< 30
Clase térmica:		F(155°C)

<b>Almacenamiento:</b>	min. 24 meses a 20 °C min. 48 meses a 5 °C
<b>Forma de Suministro:</b>	Anchura máxima por rollo 1020 mm Cintas a partir de 6 mm de anchura Anchuras estándar 9,12, a 15,20 mm

**b) Aislamiento Principal Parte Recta de Bobina**

**CALMICAGLASS 0409**

Compuesto de tela de vidrio, mica y resina epoxi termoendurecibles.

**Composición:**

CALMICAGLASS 2005 (0409), se compone de papel de mica basado en Moscovita Calcinada impregnada con resina epoxi – Novolac termoendurecible y tela de vidrio como portador.

El tipo 2005 lleva film de separación y es especialmente adecuada cuando la temperatura de transporte o almacenamiento es superior a 30 °C.

El tipo 0409 es idéntico al tipo 2005 pero sin film de separación y es especialmente adecuado para su uso en máquinas de encintado automático.

**Propiedades:**

CALMICAGLASS 2005 (0409), es un compuesto muy flexible, el cual puede ser fácilmente aplicable tanto a mano como mediante máquinas de encintado automático.

Después del curado en prensa de platos calientes, el aislamiento obtenido presenta unas excelentes propiedades dieléctricas, térmicas, mecánicas y químicas.

**Aplicación:**

CALMICAGLASS 2005 (0409), es utilizado para el aislamiento de barras y bobinad de motores y generadores hasta los niveles más altos de tensión nominal y potencia de salida.

CALMICAGLASS 2005 (0409), es también adecuado para la fabricación de componentes moldeados como por ejemplo capuchones para conmutadores, tubos y cilindros.

Almacenamiento: min. 6 meses a 20°C

Min. 12 meses a 5°C

Disponibilidad: En rollos de anchura max. 1010 mm.

Cintas cortadas desde 1010 mm en adelante.

El tipo 2005 se suministra con film de separación.

**Datos Técnicos:**

- Antes del Prensado:

Tabla 5.2 (a) Características iniciales del aislamiento principal [7]

CARACTERISTICAS	UNIDAD	VALOR		
Espesor nominal:	mm	0.12	0.18	0.21
Sustancia total (gramaje):	g/m <sup>2</sup>	164 ± 14	258 ± 23	303 ± 29
Papel de mica:	g/m <sup>2</sup> %	75 ± 3 45	120 ± 15 46	150 ± 16 49
Tela de vidrio:	g/m <sup>2</sup> %	24 ± 1 15	33 ± 3 13	33 ± 3 11
Contenido en resina:	g/m <sup>2</sup> %	65 ± 10 40	105 ± 13 41	120 ± 19 40
Resistencia a la tracción:	N/cm	> 70	> 150	>150
Contenido de volátiles: (15 min 150 °C):	%	< 0.7	< 0.7	< 0.7

- Condiciones de Prensado: (Para obtener estabilidad térmica)

Temperatura: 130 – 180 °C

Presión: 2 – 3 N/mm<sup>2</sup>

Tiempo: 0.5 – 8.0 horas

Ejemplo: 1 hora a 160 °C y 2 N/mm<sup>2</sup>. El curado completo se consigue después de 4 horas a 160 °C.

- Después del prensado: ( 4 horas a 160 °C )

Tabla 5.2 (b) Características finales del aislamiento [7]

CARACTERISTICAS	UNIDAD	VALOR		
Espesor nominal	mm	0.12	0.18	0.21
Espesor final	mm	aprox.. 0.068	aprox. 0.125	aprox. 0.143
Número de capas por	mm	15 ± 1	8 ± 1	7 ± 1
Densidad	g/cm <sup>2</sup>	1.8 – 2.0	1.8 – 2.0	1.8 – 2.0
Conductividad térmica	W/m <sup>°k</sup>	0.25 – 0.30	0.25 – 0.30	0.25 – 0.30
Coefficiente de expansión	1/°K	aprox. 10x10-6	aprox. 10x10-6	aprox. 10x10-6

CARACTERISTICAS	UNIDAD	VALOR		
Térmico lineal				
Resistencia a la flexión :	23°C 150°C	N/mm <sup>2</sup>	>200 >150	>200 >150
Rigidez dieléctrica (medida sobre 0.3 mm de espesor)	23°C 150°C	kV/mm	>50 >45	>50 >45
Constante dieléctrica (23 – 150°C)			4.5-5-3	4.5-5-3
Resistencia al arco			CTI 350	CTI 350
Factor de pérdidas dieléctricas	23°C 90°C 155°C		<10x10-3 <25x10-3 <100x10-3	<10x10-3 <25x10-3 <100x10-3
Clase térmica			F(155°C)	

**c) Aislamiento de Cabeza de Bobina y conexiones**  
**CALMICA – FLEX 0824**

Cinta termoendurecible compuesta de papel de mica-tejido de vidrio-film de poliéster-resina epoxi

**Composición.**

CALMICA-FLEX 0824, es un material de aislamiento de triple capa compuesto de tejido de vidrio como portador, papel de mica impregnado con una resina epoxi termoendurecible modificada y un film poliéster por la parte de la mica.

**Propiedades:**

CALMICA-FLEX 0824, es una cinta de mica especialmente desarrollada para ofrecer protección contra la humedad. Es una altamente flexible, con una ligera adherencia inicial que retiene una cierta flexibilidad después del curado.

**Aplicación:**

CALMICA-FLEX 0824, pueden ser utilizados por ejemplo para el aislamiento de la parte de cabezas y puntos de conexión de bobinas de máquinas tanto de bajo como de alto voltaje en particular aquellas que están expuestas a ambientes muy agresivos.

**Datos Técnicos:**

Tabla 5.3 Características del aislamiento CALMICA-FLEX [7]

CARACTERISTICAS	UNIDAD	VALOR	
Espesor nominal:	mm	0.12	0.17
Tolerancia	mm	+0.015	+0.02
Sustancia total (gramaje)	g/m <sup>2</sup>	158+21	225+25
Tejido de vidrio:	g/m <sup>2</sup>	33+3	33+3
Papel de mica	g/m <sup>2</sup>	55+6	75+8
Film de poliéster	g/m <sup>2</sup>	17+2	42+4
Contenido de resina	g/m <sup>2</sup>	52+10	75+10
Resistencia a la tracción	N/cm	>120	>120

**Rigidez dieléctrica (1 minuto, paso a paso)**

5 x 50% solapamiento	kV	>16	
3 x 50% solapamiento	kV	>16	
Clase térmica:		F(155°C)	F(155°C)
Condiciones de curado		3 horas a 160°C	6 horas a 140°C
Almacenamiento:	min. 3 meses a 20°C	min. 6 meses a 5° C	
Disponibilidad:	Cintas cortadas a partir de 10 mm Anchuras standard de 15,20 y 25 mm. Longitud standard: 50 m.		

**d) Supresión de Voltaje en la Ranura**

Se colocan cintas semiconductoras de diseño especial sobre las superficies externas de todos los devanados estáticos para controlar las cargas acopladas

capacitivamente que se forman en las superficies de los enrollamientos durante los ensayos de hipervoltaje y el funcionamiento del generador. Dichas cargas eléctricas producen en las superficies de los devanados un voltaje igual al voltaje de conductor dentro del aislamiento. Los materiales semiconductores apartan las cargas de las superficies y las ponen a tierra de forma controlada. Sin la presencia de tales materiales, se produciría una erosión del aislamiento como consecuencia de las descargas parciales entre las superficies de devanados y las superficies unidas a tierra.

#### **CONTAFEL H 0865**

Filtro de poliéster conductor

#### **Composición:**

CONTAFEL H 0865, se compone de filtro de poliéster impregnado con un barniz especial a base de negro de Carbón.

#### **Propiedades:**

CONTAFEL H 0865, es altamente flexible y absorbente.

#### **Aplicaciones:**

CONTAFEL H 0865, es utilizado por ejemplo como protección contra el efecto corona en bobinas para máquinas de alta tensión.

#### **Datos Técnicos:**

Espesor:	mm	0.12
Tolerancia en espesor.	mm	+0.02
Sustancia total	g/m <sup>2</sup>	110+11
Resistencia a la tracción	N/cm	>40
Resistividad superficial:	Ohm/sq	200+50

#### **Almacenaje:**

Ilimitado bajo condiciones normales (20°C, 50%hr)

#### **Disponibilidad:**

En rollos de anchura máxima 800mm.

Cintas cortadas a partir de 20mm..

#### **e) Supresión de Voltaje en Cabeza de Bobina**

Cinta semiconductor a base de filtro de poliéster.

#### **Composición:**

EGSB 0483 se compone de filtro de poliéster impregnado con una mezcla de carburo de silicio y una resina especial.

#### **Propiedades:**

EGSB 0483 es una cinta flexible totalmente curada, cuya resistividad está en función del nivel de tensión al cual está sometida, gracias al compuesto carburo de silicio.

Para obtener las propiedades finales, la cinta debe ser curada, ya que en dicho proceso, se obtiene una unión perfecta entre las distintas capas.

**Aplicación:**

EGSB 0483, se emplea por ejemplo como cinta antiefluvios en las zonas de cabeza de bobinas en máquinas de alto voltaje.

Tabla 5.4 Características del EGSB 0483 [7]

PROPIEDADES	UNIDAD	VALOR	CARACTERÍSTICA TENSIÓN-CORRIENTE (50 HZ)	
			KV/cm	A/cm x 10 <sup>6</sup>
Espesor nominal	Mm	0.28	6	Aprox. 2.0
Tolerancias	Mn	± 0.04	7	Aprox. 3.2
Sustancia total	g/m <sup>2</sup>	360 ± 35	8	Aprox. 8
Resistencia a la tracción	N/cm	> 80	9	Aprox. 8
Elongación	%	> 20	10	Aprox. 15
Resistencia superficial (Tensión de medida: 1000VDC)	Ω/•	>10 <sup>11</sup>		Aprox. 37

**Almacenamiento:**

Ilimitado en condiciones normales

**Disponibilidad:**

En cintas cortadas a 20 mm.

Otros anchos disponibles bajo pedido.

**f) Aislamiento de Protección**

ISOSEAL P 0713

Cinta termoendurecible de tejido poliéster epoxi

**Composición:**

ISOSEAL P 0713, es un material de aislamiento compuesto de tejido de poliéster impregnado con una resina epoxi termoendurecible con la capacidad de permanecer flexible después del curado.

**Propiedades:**

La resina contenida en la cinta ISOSEAL P 0713 se reblandece bajo a acción de temperaturas elevada obteniéndose una superficie homogénea ajustada, suave y hermética frente a los agentes atmosféricos tales como agua, etc.

ISOSEAL P 0713, permanece flexible después del curado lo cual permite que las bobinas sean formadas sin peligro de que el aislamiento se deteriore.

ISOSEAL P 0713, posee muy buenas propiedades frente a al tensión y la elongación por lo cual puede obtenerse un encintado sin arrugas ni pliegues.

**Aplicación:**

ISOSEAL P 0713, se utiliza principalmente como última capa de protección en la parte de cabezas de bobinas de máquinas tanto de bajo como de alto voltaje y allí donde sea necesaria una protección flexible y a prueba de humedad.

**Datos Técnicos:**

Espesor nominal:	mm	0.18 + 0.03
Sustancia total (gramaje)	g/m <sup>2</sup>	235 + 24
Resistencia a la tracción	N/cm	>100
Elongación	%	>15
Condiciones Del curado:		
A 140°C	horas	6
A 160°C	Horas	2
Rigidez dieléctrica	kv/mm	aprox. 25
Resistencia al tracking después del curado: KB 150		
Color		rojo-marrón
Clase termina		F(155°C)

**Almacenamiento:**

Mínimo: 6 meses a 20°C

Mínimo: 12 meses a 5°C

**Disponibilidad:**

Rollo de anchura máxima 1050 mm y cortadas a partir de 10 mm.

ISOSEAL P 0713, se suministra con film de separación

**g) Aplicación de Esmalte**

Esmalte ANTIFLASH 214 SR electro-esmalte rojo, clase térmica H (180°C), que está elaborado a base de resinas silicona modificada y pigmento inorgánico rojo, debe aplicarse sobre toda clase de materiales sometidos a condiciones sumamente desfavorables, elevadas temperaturas, productos y humos agresivos, envejecimiento, humedad, tropicalización, Puede aplicarse en bobinados calientes (80°C) a la salida del horno.

- **Campo de aplicación**

Electro esmalte muy apropiado para aplicar sobre el aparellaje eléctrico que deba responder a la clase térmica "H". Es decir, servicio de funcionamiento en continuo a temperatura de 180°C admitiendo puntas más elevadas.

- **Modo de empleo**

Se aplica normalmente a pincel sobre las partes externas del bobinado o interior de carcasa del motor. Puede igualmente emplearse a pistola, después de diluirlo convenientemente. El secado se efectúa a temperatura ambiente. Si se desea mayor rapidez de secado, pueden pintarse los bobinados calientes (80°C) a la salida del horno. Se recomienda remover bien el producto antes de su aplicación, a fin de homogenizar las cargas minerales que contiene

Tabla 5.5 Características del Esmalte [7]

CARACTERISTICAS FISICAS	
Color	Rojo (RAL 3011)
Densidad a 20 °C (gr/cm <sup>3</sup> )	1.04
Viscosidad Copa Ford N° 4 a 20 °C (seg)	45 ± 10
Materia fija (%)	50 ± 5
Clasificación térmica	H (180 °C)
Película resultante	Brillante, adherente, muy dura y flexible
Estabilidad almacenaje a 20 °C	12 meses

CARACTERISTICAS DIELECTRICAS	
Perforación dieléctrica sobre placa de cobre por grueso de película 0.01 mm	
Estado Natural	930 V.
Después de 8 días al aire (90% humedad)	810V
Después de 8 días en agua destilada	770V
Resistencia térmica continuada	180 °C

- **Ensayos sobre bobinas**

- a) **Mecánicos:**

Construcción de un modelo simulando parte del paquete magnético, con sus utillajes adecuados para garantizar la perfecta construcción dimensional de las bobinas. Ver Fig. 5.2.

Comprobación en el modelo y galgado de la parte recta de todas las bobinas, como se muestra más adelante en la Tabla 5.2

- b) **Eléctricos:**

Las pruebas eléctricas fueron realizadas en la planta del fabricante en España bajo la supervisión de personal técnico de M & P y la empresa generadora.

- b1. **Ensayo del aislamiento entre conductores elementales: 110 V.A.C.**

Esta prueba es importante porque permite verificar si los conductores están aislados para efectuar el proceso de transposición. En la Fig. 5.4 se evidencia las pruebas realizadas a las bobinas.



Fig. 5.4 Prueba de aislamiento entre conductores

**b2. Ensayo del aislamiento entre espiras:** Se aplican ondas de choque de valor pico-pico  $V_n$  (tensión nominal del alternador) entre principio y final de bobina durante 15", comparándose simultáneamente con osciloscopio la forma de onda de la intensidad de respuesta en dos bobinas.

El estándar aplicable es la IEEE 522 que señala que se realiza aplicando un impulso de tensión relativamente alto entre espiras. Este es un ensayo de alta tensión para la aislación entre espiras y puede perforarla requiriendo reparaciones de presentarse. Como ensayo de aceptación se especifica un tiempo de subida de 100 ns y una magnitud máxima de 3.5 la tensión de pico nominal de fase. Este es un ensayo pasa – no pasa y no se tiene información de diagnóstico. En la Fig. 5.5 se aprecia los ensayos realizados.



(a) Medición con osciloscopio



(b) Ensayo de aislamiento

Fig. 5.5 Ensayo de aislamiento entre espiras

**b3. Ensayo de rigidez dieléctrica del aislamiento a masa – Tensión Aplicada:** Esta prueba se efectúa con una duración de 01 minuto de acuerdo a lo señalado en la norma IEEE 473. Dado que esta prueba es de carácter destructiva se realiza sobre un grupo de 25 bobinas para cada juego de 200 bobinas correspondientes a cada estator y escogidas aleatoriamente



Fig. 5.6 Prueba de Tensión Aplicada



Fig. 5.7 Prueba de perforación

La tensión de prueba aplicada es:  $V_p = 1,4 \times (2V_n + 1)$ ; donde  $V_n$  es la tensión nominal de fase.

Para nuestro caso la tensión de prueba fue de 41,4 Kv resultando satisfactoria en todos los casos. En la Fig. 5.6 se muestra la prueba realizada.

**b4. Ensayo de perforación sobre dos bobinas:** Esta prueba se realiza luego que las bobinas hayan pasado por el curado total de sus partes en un promedio de 2 días. La tensión de perforación aplicada será superior a  $4 V_n$  en partes rectas y  $2 V_n$  en cabezas.

La disrupción se produjo superficialmente en 78 Kv y en una segunda prueba a la misma bobina la descarga superficial se produjo a 72 Kv, no lográndose perforar la parte recta de la bobina, cuya evidencia se ilustra en la Fig. 5.7.

**b5. Medición del factor disipación  $Tg \delta$  y sus incrementos a 0,2 0,4 0,6 0,8 y 1  $V_n$**  cumpliendo los valores según UNE-EN 50209 (UNE 20-159-83).

Este ensayo mide la capacitancia y las pérdidas dieléctricas a tensiones variables de tensión nominal de fase y comprueba la homogeneidad del aislamiento (ausencia de oclusiones) que garantiza la vida del aislamiento; y que los fabricantes lo usan como control de calidad de una correcta impregnación de la resina epoxi o poliéster.

### 5.2.2 Estator Rebobinado de Generadores

Los procesos desarrollados durante la ejecución de este entregable constituyen el servicio principal del proyecto.

La información proporcionada por la empresa generadora que suministra la información del fabricante del equipo, es verificada en campo.

Sin embargo, una vez disponible el estator desmontado (con el rotor extraído) se procede a levantar y elaborar información relevante, que es verificada con la existente en los archivos de la empresa, para el proceso de rebobinado.

La información obtenida del devanado del estator verificada en campo es la siguiente:

Tabla 5.6 Características del devanado estático [M & P Ingenieros]

CARACTERISTICAS FISICAS	
Diámetro interior del estator	3 048 mm
Tipo de bobina	Imbricado
Paso de bobina	1 - 11
Conexión	Doble Y
Tipo de ranura	recta
Capas de bobina	dobles
Sección del conductor	5 mm x 2.3 mm
Número de conductores	48 espiras
Número de bobinas por fase	60
Número de bobinas por grupo	Hay de 4 y 3 bob/grupo

Es importante desde el planeamiento establecer el procedimiento y las técnicas que aseguren la calidad y el riesgo de fallas en la ejecución de la reparación de los generadores desde el desmontaje de las bobinas.

**a) Desmontaje de las bobinas**

El proceso de desmontaje de las bobinas se inicia con desencintado y/o retiro del aislamiento de las bobinas el que debe realizarse por grupos y no por bobinas en razón de que esto permite separar cuidadosamente los puentes de bobinas que serán reutilizados en la conexión de los nuevos grupos de bobinas, además de permitir el levantamiento de la información técnica de los elementos que componen el bobinado del estator que se utilizara en el montaje de las nuevas bobinas.

Se procede con el retiro del aislamiento empleando cuchillas con el objetivo de poder desoldar los empalmes y puentes entre grupos de bobinas, procediéndose con el retiro de los amarres de cabeza y argolla que consiste en retirar el aislamiento y los amarres usados, así como los soportes (aisladores); para luego, proceder a su encintado con aislamiento nuevo en el posterior proceso de montaje de las nuevas bobinas.

**b) Desoldado de uniones entre grupos de bobinas**

El desoldado se realiza con equipo oxiacetileno.

- Entre bobinas
- Entre grupos
  - Retiro de los puentes (bastones), previamente codificados.
  - Retiro del aislamiento

**c) Extracción de Bobinas**

- Habilitación de estructura para la extracción

Armada la estructura, se ubican 02 teclees, uno de 1 tonelada y otra de 1 ½ tonelada, entre el rotor y las bobinas dentro del estator, para proceder ha iniciar el retiro de las bobinas.

- Retiro de cuñas

Se inicia con el desempalme de los terminales de bobinas de los generadores

Se extrae las cuñas, empleando un saca cuñas, pero teniendo cuidado en no raspar las ranuras del estator.

Se corta los amarres tanto en el lado de conexión como en el lado opuesto, para esto se emplea cuchillas.

Este desmontaje se realizo teniendo mucho cuidado en no dañar las ranuras.

Luego se retiró las bobinas trasladándose para su almacenamiento a un lugar indicado por la Empresa Electro Andes.

- Levantamiento de Información

Luego se identifico las ranuras donde se encuentran los 6 termistores RTD, la cual esta distribuidos según la Fig. 5.9.

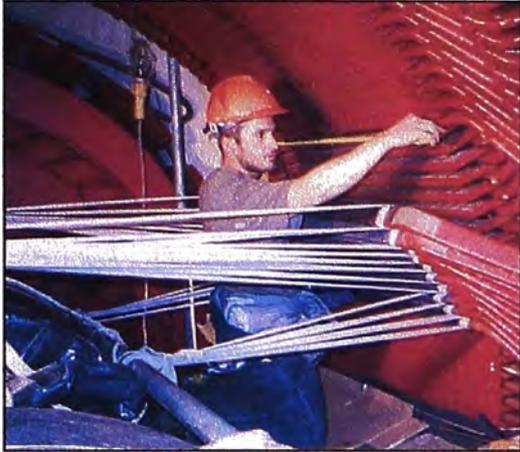


Fig. 5.8 Retiro de bobinas

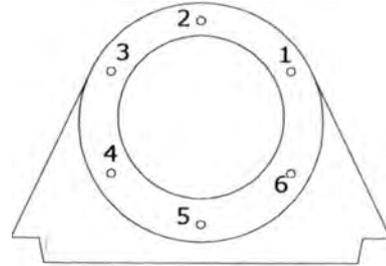


Fig. 5.9 Localización de los Termistores (RTD)

Se saco las medidas de los empalmes: ancho y altura respectiva, se midió las distancias de los amarres de cabeza de bobina procediéndose a codificar los puentes entre grupos del bobinado para que retornen al mismo lugar.

Una vez limpio el núcleo del estator se procede a dibujar el diagrama de conexiones de bobinas del estator. Fig. 5.10

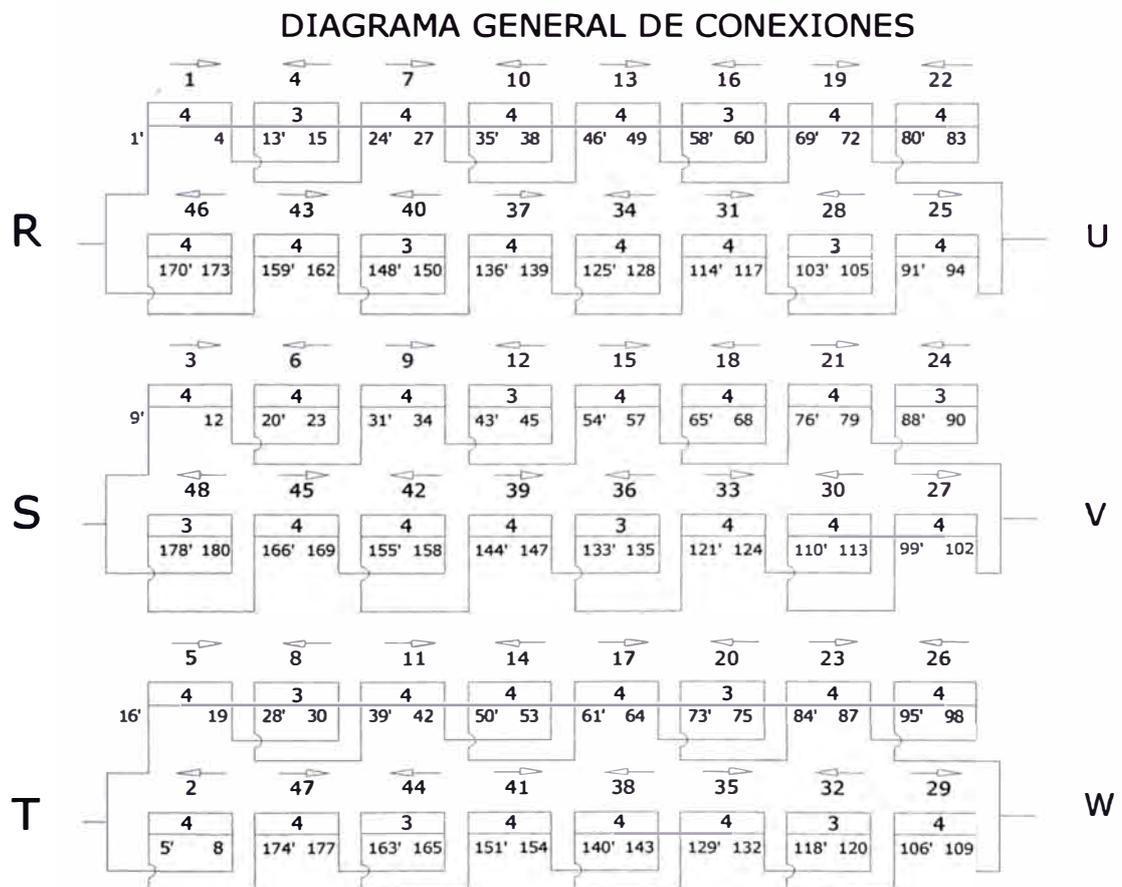


Fig. 5.10 Diagrama general de conexiones

### 5.2.3 Mantenimiento del Núcleo del Estator

El equipo del proyecto realizará un diagnóstico exhaustivo de las condiciones eléctricas, mecánicas y magnéticas a fin de verificar si existe una variación significativa con respecto al alcance del proyecto y proceder a solicitar los cambios requeridos para la aprobación de la empresa ELA.

Este entregable se encuentra dentro de la ruta crítica del proyecto y consiste, de acuerdo al alcance del proyecto, en que el núcleo debe ser entregado por ELA en condiciones técnicas de aislamiento y mecánicas, que solo requieran de un mantenimiento preventivo para proceder con el inicio del montaje de las bobinas.

#### A) Núcleo limpio

- Limpieza general del núcleo se realiza con lija N° 40 de fierro para luego proceder a sacar las partículas de óxido con aire a presión. Después se procedió a soplar aire pero con solvente para que se elimine las últimas partículas de óxido u otro material que hubieren quedado.
- Limpieza de los ductos de ventilación



Fig. 5.11 Limpieza de núcleo del estator

#### B) Núcleo preparado

El núcleo del estator está formado por laminaciones aisladas entre sí para facilitar el flujo magnético en el sentido radial. Las láminas se traslapan para formar un cilindro donde tienen troqueladas las ranuras y los elementos de sujeción. La periferia del núcleo puede estar en corto circuito no así la zona adyacente a las ranuras. Los extremos del núcleo se sujetan mecánicamente por lo que se conoce como dedos de sujeción. Se debe evitar que haya puntos adicionales de conexión entre láminas para evitar la inducción de corrientes parásitas.

Antes de proceder al rebobinado del estator se debe determinar que el núcleo se encuentra libre de corto circuitos entre laminaciones mediante la aplicación de pruebas electromagnéticas al núcleo que describimos a continuación.

- **Prueba de imperfecciones del núcleo**

Equipos:

1. Amperímetro tipo pinza: Marca FLUKE 377 – Made in USA.
2. Multímetro FLUKE 87 V - Made in USA

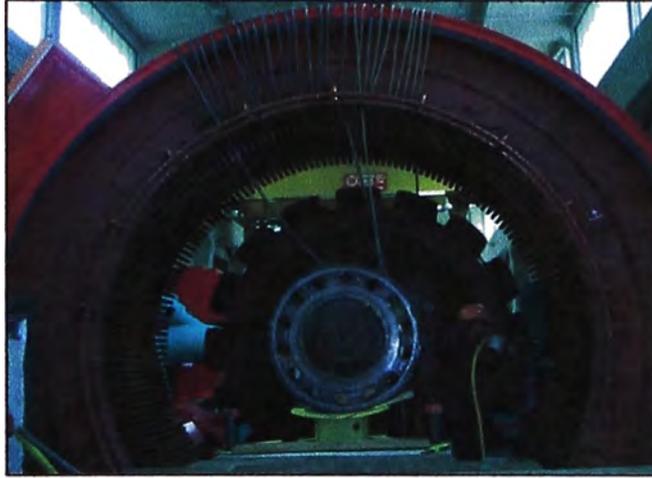


Fig. 5.12 Núcleo del Estator listo para las pruebas

### Del Generador N° 3

Se procedió a dar varias vueltas al núcleo del generador, con cable de 50 mm<sup>2</sup> multifilar tipo TW - Indeco y preparar el circuito tal como muestra la Fig. 5.12, luego se tomó los datos de placa del generador tal como se muestran a continuación en la Fig. 5.13

Datos de placa:

#### DATOS DE PLACA GENERADOR N° 3

Marca: Westinghouse -USA

KVA :	24,000	Exc (A) :	366
V :	13,800	Exc (V) :	250
A :	1,005	Temp-pico :	60 °C
P.F. :	0.9		
FASES :	3		
Hz :	60		
RPM :	450		

Instrumento

Book:	4500 - 50
Serie:	3S-46P240

Fecha prueba: 27/01/2007

Hora:	03:50 p.m.
Temp-Amb:	24.6 °C

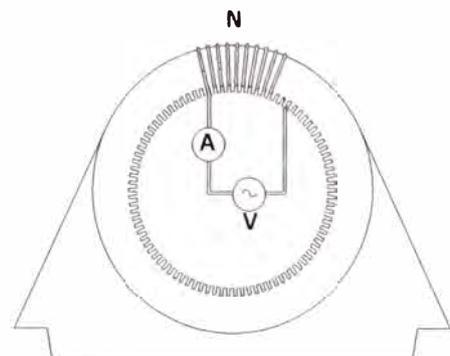


Fig.5.13 Circuito para la prueba del núcleo

El circuito se preparó según la Fig.5.12, dándole inicialmente 15 vueltas al núcleo superior y en la cual los datos tomados al núcleo N° 3 se indican a continuación:

Tabla 5.7 Parámetros medidos en la Prueba – Generador 3  
M & P Ingenieros]

Tiempo hora	Nº vueltas	amperios (A)	Temperatura Estator °C	Observaciones
15:52	15	52	23.70	
16:02	14	65	24.20	
16:25	11	100	25.00	
16:35	9	143	25.40	Debido al aumento de la corriente, provoco una inducción en el rotor adyacente al estator
16:45	9	300	25.40	
17:06	11	199	25.40	

Tensión Aplicada V= 224 volts

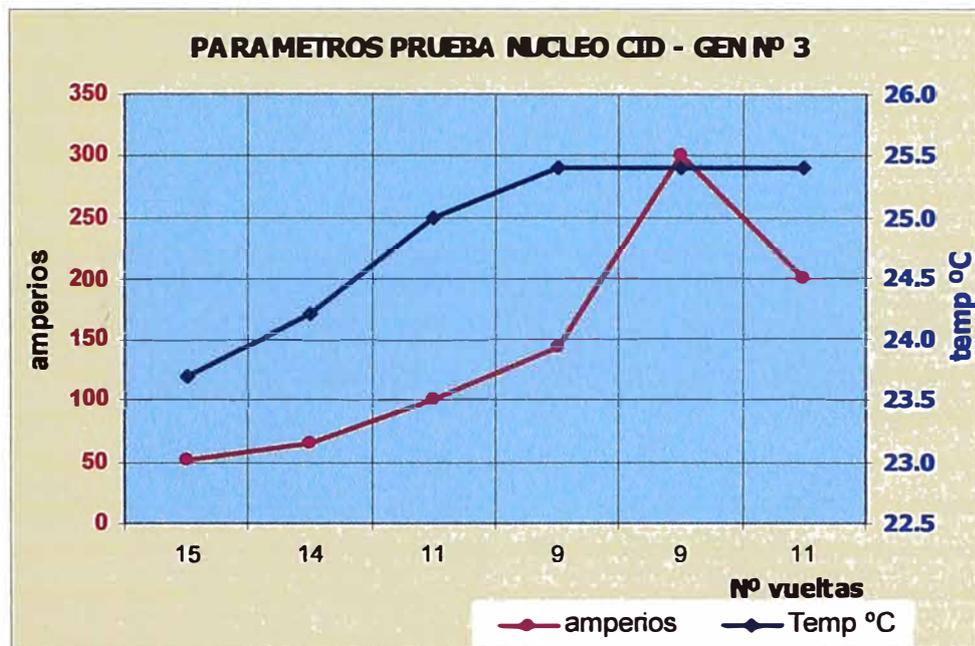


Fig. 5.14 Curva Corriente vs Número de vueltas

#### Conclusiones:

- Se observa en la Fig. 5.14, que a menor número de vueltas que se dio al núcleo, la corriente aumenta, y eso es correcto de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$\text{Se cumple para una misma tensión que: } N_1 \times I_1 = N_2 \times I_2$$

En la cual el número de vueltas es inversamente proporcional la corriente que circula por el enrollado, por lo que se incrementaron las corrientes inducidas en el rotor que se encontraba adyacente al estator.

- Durante la prueba se observó que de 15 a 11 vueltas, se obtuvo resultados de corriente y temperaturas sin ninguna observación; pero cuando se hizo la prueba con 9 vueltas en el estator, se incrementó la corriente provocando una inducción en el rotor ubicado adyacente al estator (porque para mantenimiento usualmente no se desmonta totalmente fuera del estator), lo cual indica que se venció la rigidez dieléctrica del aislante que separaba el rotor con tierra. Valores obtenidos se muestran en la Tabla 5.7.
- En la Tabla 5.7, se podrá notar que cuando el número de vueltas en el estator disminuye a 9 vueltas, la corriente se dispara a 300 amp., calentándose el cable; razón por lo cual se decidió realizar la prueba con 11 vueltas durante un periodo de 2 horas hasta lograr la estabilización de la temperatura en el estator. Luego la temperatura subió desde 23.7 hasta 25.4°C, donde se mantuvo.

### Del Generador N° 2

Se procedió de la misma manera que el anterior grupo.

#### DATOS DE PLACA GENERADOR N° 2

Marca: Westinghouse -USA

KVA :	24,000	Exc (A) :	366
V :	13,800	Exc (V) :	250
A :	1,005	Temp-pico :	60 °C
P.F. :	0.9		
FASES :	3		
Hz :	60		
RPM :	450		

Instrumento

Book:	4500 - 50
Serie:	3S-46P240

Fecha prueba: 02/02/2007

Hora:	02:05 p.m.
Temp-Amb:	20.6 °C

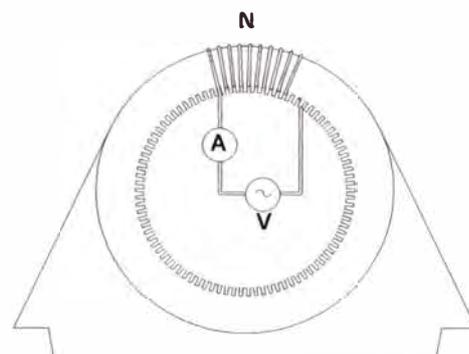


Fig. 5.15 Circuito para el Generador N° 2

Los datos tomados al núcleo N° 2 se indican a en la Tabla 5.8, que se muestra a continuación.

Tabla 5.8: Parámetros medidos en la Prueba – Generador 2

[M & P Ingenieros]

Tiempo Minutos	N vueltas	V voltios	A Amperios	Temperatura del estator
30	11	241	84	22.4 °C

### Conclusiones:

Durante la prueba se midió la temperatura en diferentes partes del núcleo del estator, obteniéndose:

φ La Temperatura media de la circunferencia Superior: 23 °C +/- 2%

- ϕ La Temperatura media de la circunferencia Inferior : 22 °C +/- 2%
- ϕ No existiendo diferencias de Temperaturas superiores al +/- 10 °C
- ϕ Tampoco hubo disrupción en el rotor porque se puso un aislamiento mayor
- ϕ Y al cabo de 30 minutos la corriente se mantuvo en 80A.

### Del Generador N° 1

Las pruebas del núcleo del estator del generador N 1, considerando las experiencias obtenidas durante la reparación de los estatores de los generadores N° 2 y N° 3, se realizó instalando un toroide de 11 vueltas energizado a una tensión de 235 voltios durante un periodo de 2 horas.

Tabla 5.9: Parámetros medidos en la Prueba – Generador 1

[M & P Ingenieros]

Tiempo Minutos	N vueltas	V voltios	A Amperios	Temperatura del estator
30	11	235	135	29.75 °C

- **Prueba de Termovisión**

Luego de estar sometido los núcleos de los estatores de los generadores a una densidad de flujo magnético durante un periodo mínimo de 2 horas, se procedió a explorar los núcleos con una cámara de termovisión para detectar los puntos de calentamiento por imperfecciones en el núcleo.

De las inspecciones realizadas no se observaron calentamientos en los estatores de los generadores N° 2 y N° 3; en cambio en el estator del Generador N° 1 se presentó un punto de calentamiento, el cual se demarcó, procediéndose al desajuste de los pernos de apriete del núcleo en dicha zona y procediéndose a separar las láminas para su limpieza y la aplicación de barniz transparente de curado en frío.

En la Tabla 5.9, se muestra los resultados del punto caliente localizado durante la prueba y en la Tabla 5.10 se muestra la temperatura alcanzada luego de la reparación de la imperfección encontrada.

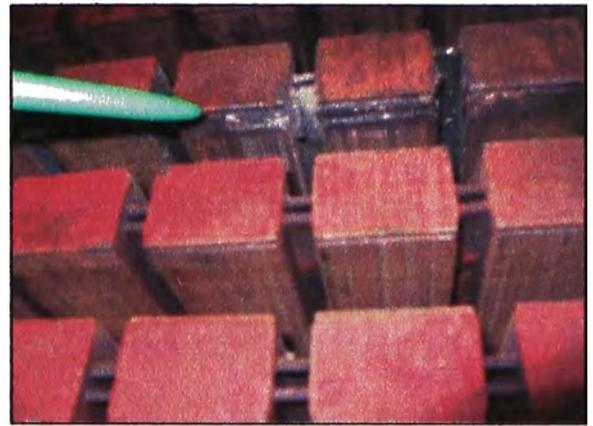
Tabla 5.10 Prueba de termovisión después de la reparación

Tiempo Minutos	N vueltas	V voltios	A Amperios	Temperatura del estator
30	11	235	98	21.2 °C

En la Fig. 5.16 se muestra la secuencia seguida en la detección y la reparación del punto caliente detectado.



(a) Detección del punto caliente



(b) Localización de la imperfección



(c) Reparación de la imperfección



(d) Verificación de la reparación

Fig. 5.16 Prueba de Termovisión del Estator del Generador N° 1

#### 5.2.4 Montaje de Bobinas Estatóricas

##### A. Consideraciones Generales

- Seguidamente se procede a medir el tamaño de la cabeza de cada una de las bobinas TCLC y TCLO; también se midió las galgas de cada bobina y se codificó la serie y el número de bobina. Como ejemplo en la Tabla 5.11 se muestran las bobinas del grupo 9 que ingresaron al Estator N° 2 y Estator N° 3 de un total de 48 grupos y 180 bobinas por unidad.
- La instalación de las bobinas se empiezan por el lado opuesto a las salidas de línea y determinando previamente una ubicación conveniente de la ranura inicial que denominaremos ranura N° 1 y esta ubicación es mantenida.
- Un número suficientes de hombres deben ser asignados para manipular las bobinas, de tal manera que no se doble, no se tuerza o distorsione la bobina en su montaje.
- Tener cuidado que las bobinas no deben ser cargadas por las partes rectas o activas que deberán ser soportados para prevenir un posible daño del aislamiento.

- Es importante hacer un banco para soportar las bobinas traslapadas mientras están fuera de la ranura. Los bancos deben ser lo suficientemente largos para soportar 5 – 6 bobinas.

Tabla 5.11: Codificación y medición de galgas de bobinas ingresadas

BOBINAS QUE INGRESARON AL ESTATOR Nº 2						
FECHA	GRUPO	RANURA	CODIGO	Nº BOBINA	INFERIOR (mm)	SUPERIOR (mm)
09/02/2007	9	31	2	188	21.70	21.80
		32		39	21.80	21.90
		33		36	21.90	21.90
		34		56	21.60	21.70
BOBINAS QUE INGRESARON AL ESTATOR Nº 3						
03/02/2007	9	31	06 - 041	120	21.80	21.80
		32		104	21.70	21.70
		33		139	21.80	21.85
		34		114	21.70	21.70

- Se instala la infraestructura con el objetivo de soportar las bobinas y determinar y señalar la ubicación de los tacos y soportes para construir el “Abanico” como procedimiento de montaje de las bobinas.

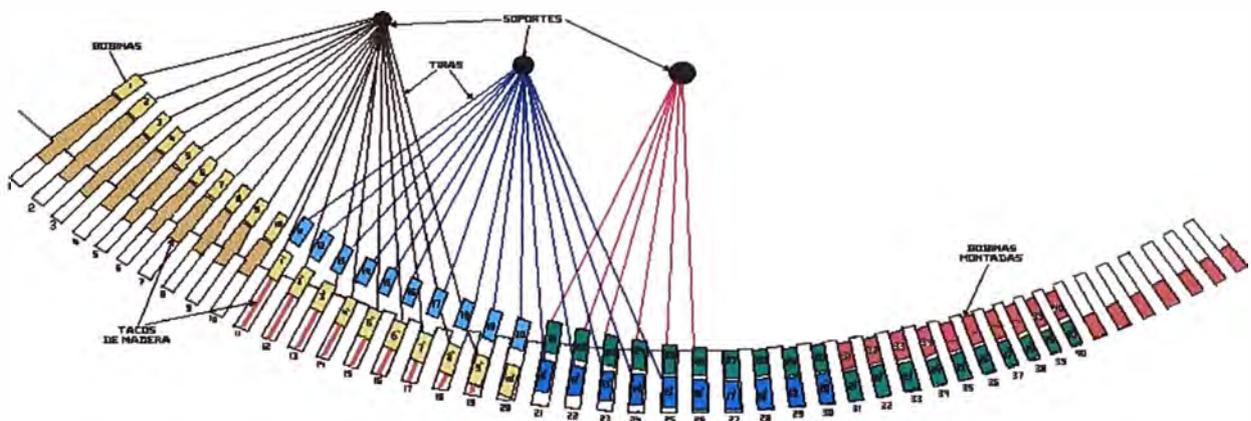


Fig. 5.17 Construcción del “Abanico”

- Tiras delgadas de laminado semiconductor (roturador) son colocados en la parte inferior e interior de los canales. Estos deben tener un ajuste bien dispuesto. Si ellos están sueltos use cinta adhesiva temporal para mantenerlos en su lugar hasta que las bobinas son instaladas.
- Se asigna dos hombres para manipular la bobina, se tome la primera bobina y coloca de tal manera que la parte activa inferior este sobre la ranura correcta; luego,

coloque la bobina en el banco y ajuste la altura de la bobina al centro de la celda en el núcleo.

- Proporcione el espacio libre, bajo el "LAP" soportado, colocando bloques en el canal bajo,  $\frac{1}{4}$ " sobre la parte superior del canal (para insertar las bobinas finales en el arrollamiento).
- Conforme las bobinas se colocan en la sección de traslape, es esencial que la celda del canal de la parte inferior sea colocado contra los bloques en el canal y mantenido en su lugar por una unión temporal.
- Coloque una cuña bajo la charnela de la parte inferior para soportar la bobina. La celda de la parte inferior del canal debe descansar en el relleno imitado en el canal; descansa la celda de la parte superior del canal en el bloque ahusado. Use cintas de unión para mantener la bobina en su lugar. Repita esto para cada bobina en el traslape. Cuando son alcanzados los canales en donde se instalaran los detectores de temperatura estos son colocados entre las celdas de la parte inferior y superior.
- La celda de la parte inferior del canal de la próxima bobina después de la tirada comenzara a ingresar al canal desde que no hay ningún relleno presente. Cada bobina sucesiva ingresara también al canal. Cada paso normalmente ascenderá a  $\frac{1}{8}$ " forzando las bobinas en los canales a una taza más rápida que esta puede causar el retorcimiento de la celda ya en el núcleo, resultando en el rompimiento o agrietamiento del aislamiento cerca del extremo de la celda.
- En algún punto en la parte superior de las celdas del canal las bobinas estarán listas a ingresar al canal. Sin embargo, desde que el espacio de la bobina es más ancho que el espacio del canal en la abertura del canal será necesario torcer la bobina ligeramente para maniobrar la celda de la parte superior en el canal. La cantidad de presión necesaria para torcer la celda de la parte superior en el canal es dependiente del diámetro del agujero del taladro y el espacio libre del canal.
- En ningún momento la presión concentrada será colocada directamente en una esquina o celda de bobina usando instrumentos tales como manubrio de hachas o barras de palanca ya que esto podría agrietar la celda o dañar la pintura de corona quebradiza en la bobina. La presión necesaria debe de ser aplicada a la bobina a través de una barra de retroceso de tal manera para distribuir la presión tan anchamente como sea posible. Los aparatos palancas para pandeo y otros medios adecuados pueden ser usados para reducir ligeramente el ancho de la bobina. Si el ancho de la bobina debe ser reducido mas de  $\frac{3}{8}$ " para enrollar en los canales de la bobina aparatos de palancas especiales son generalmente requeridos. Una vez que la celda se ubica sobre el canal, use mazos de caucho para mover las celdas en los canales.

- Tan pronto como las bobinas han alcanzado su última posición estas pueden ser aseguradas y unidas al lado del anillo de sujeción. Las cuñas temporales pueden ser usadas para sostener las bobinas en vez de atar la cinta a la parte inferior de los anillos. Los rellenos laterales de la parte inferior de la altura de la celda deben ser movido conforme cada bobina es instalada.
- Los rellenos laterales son normalmente movidos solamente a un lado de la bobina. Este lado es determinado por la rotación de la máquina. Normalmente los rellenos son movidos en el lado de sotavento relativo a la rotación, eso es, el lado fuera de la rotación.
- El punto donde los rellenos laterales son movidos deben ser marcados. Más tarde cuando el traslapo es abandonado será necesario mover los rellenos laterales de ancho total sobre la longitud total del relleno.

### **B. Instalación de Bobinas estáticas**

- **Preparación de Materiales:** de acuerdo al relleno de ranura se preparan todos los materiales a la medida especificada, teniendo en cuenta las variaciones existentes en las medidas de las galgas de los lados de bobina que se alojarán en una determinada ranura de acuerdo a las mediciones realizadas de los diferentes grupos.



Fig. 5.18 Preparación de materiales

Los materiales utilizados son:

- ϕ Plancha semiconductor para fondo y parte intermedia de ranura CONTAVAL 2017.
  - ϕ Planchas semiconductoras de diferentes espesores: 0,5 mm, 1,0 mm y 2,0 mm; para cortes de tiras laterales e intermedias, de relleno
  - ϕ Tiras onduladas, cuñas de VITRONITE para fijación de bobinas, etc.
- **Ubicación de soportes**  
Se construye el armazón para armar el abanico de bobinas, tal como se muestra en el esquema de la Fig. 5.17

- **Análisis de relleno de ranuras**

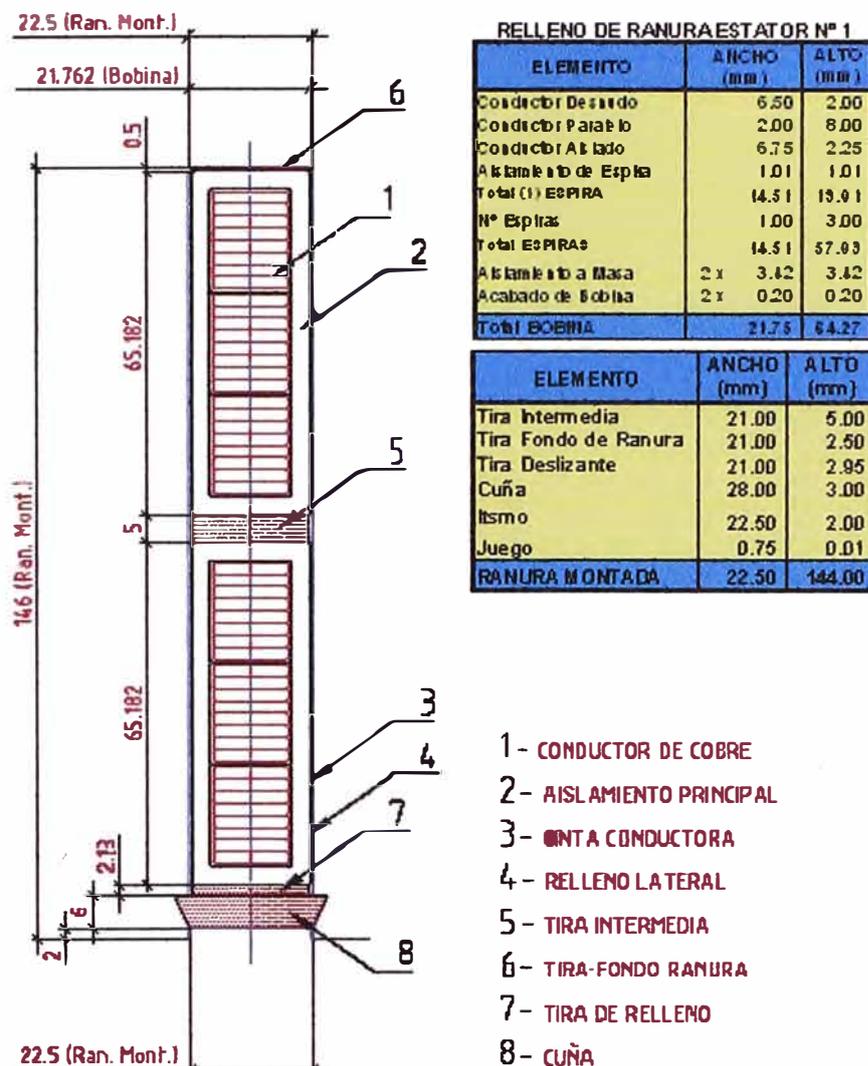


Fig. 5.19 Diseño de Relleno de Ranura

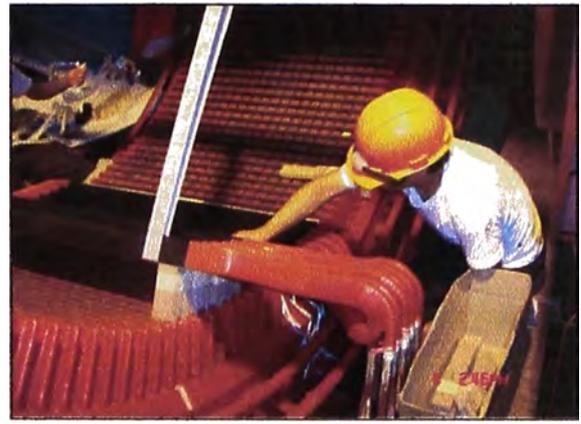
- **Ubicación de tacos**

En las siguientes figuras se muestra parte de los procedimientos de cómo se va construyendo el abanico para el montaje de bobinas. En la Fig. 5.20 (a) se aprecia la colocación de la primera bobina, nótese la colocación de los tacos previamente preparados con alturas progresivas en la medida que se van colocando más bobinas, tal como se muestra en la Fig. 5.20 (b), en la Fig. 5.20 (c) se aprecia la progresión de 15 bobinas en posición, para finalmente llegar a la última bobina que cierra el abanico; para luego proceder con empezar a retirar los tacos para que las bobinas se encajen en su lugar como se muestra en la Fig. 5.20 (d).

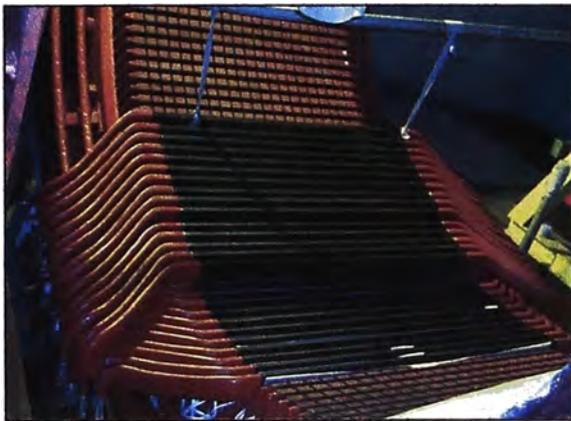
- Preparación de plantilla para obtener TCLC (Tamaño de Cabeza Lado Conexión), TCLO (Tamaño de Cabeza Lado Opuesto)



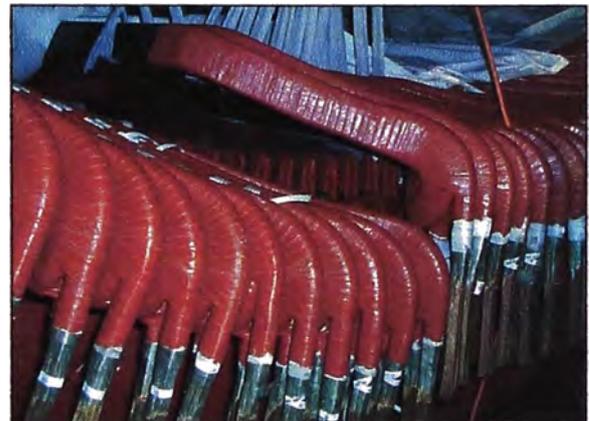
(a) Iniciando el abanico



(b) Colocación de tacos



(c) Armando el abanico



(d) Finalizando el abanico

Fig. 5.20 Secuencia de construcción del Abanico de bobinas

- **Cuñas instaladas, prueba de dureza**

Equipo para analizar la condición de ajuste de cuñas de estatores, este equipo está diseñado para analizar cualquier tipo de estatores y cuñas incluyendo RIPPLE SPRINGS, cuenta con un sensor calibrado que detecta solturas a través de vibraciones, almacena datos, genera reporte gráficos y almacena históricos para observar tendencias luego de varios mantenimientos.



Fig. 5.21 Cuñado de bobinas

Con equipos como el WTD se elimina por completo evaluaciones tradicionales como (Método del Martillo) las cuales por basarse en sonido y ser interpretado por el especialista puede a llegar ser muy subjetivo.

### C. Enseriado entre bobinas

Aquí se escoge la técnica de soldado y las pruebas a realizar

- Definición del modelo de empalme
- Pruebas de aislamiento y transposición

El trabajo consiste en realizar el doblado y el corte preciso de los terminales de las bobinas mediante conectores de cobre tipo canal o envolviendo los lados de cada terminal de bobina con alambre de cobre expeditos para ser soldados. Durante este proceso se realiza la transposición de las bobinas con el objeto de que las secciones de las bobinas sean geométricamente uniformes en el estator y eliminar la posible generación de corrientes circulantes que puedan provocar calentamientos en el bobinado.



Fig. 5.22 Transposición y enseriado entre bobinas

- Soldado de uniones

El soldado de las uniones se realiza aplicando soldadura de fusión con oxígeno acetileno, empleando conectores de cobre que debe aprovechar cuando menos dos áreas de contacto para evitar la generación de puntos calientes. El área de soldadura debe cubrir como mínimo un 90% de la zona de contacto.

La uniformidad de las uniones soldadas deben ser verificadas mediante la prueba de ultrasonido, efectuadas por personal calificado utilizando equipo detector de fallas de ultrasonido marca Panametrics modelo EPOCH IIB o similar. El área de contacto mínima en las uniones soldadas debe ser del 90%.

La determinación de la eficiencia de la soldadura entre uniones soldadas se efectuara con la prueba al 25% del total de las soldaduras efectuadas. Si se encuentra que un 10% del total de las muestras no cumplen con el criterio establecido, se debe de efectuar la inspección del total de las soldaduras.

- Encintado del traslape

- Relleno con resina
- Encintado del bucle

#### **D. Preparación para el enseriado y soldado entre grupos**

- Definición del modelo de empalme
- Pruebas para establecer la calidad de conectores y proceso de soldado
- Preparación de conectores para unir grupos
- Soldado y limpieza
- Encintado del traslape
- Relleno con resina
- Encintado del bucle



Fig. 5.23 Enseriado y soldado entre grupos

#### **E. Amarre de la barra de conexión entre grupos**

- Prueba del aislamiento
- Inyección de resina a los amarres
- Secado



Fig. 5.24 Amarre de la barra de conexión entre grupos

#### **F. Tratamiento Térmico**

- Curado del aislamiento

Una vez concluido el montaje de los bobinados y terminado todos los encintados, se pasa al siguiente proceso, que es el llamado proceso de aislamiento Térmico, por lo cual se tiene que armar una estructura de fierro, que albergaba al estator, para luego cubrirlo con lonas y toldos de plástico, para así formar un sistema aislado con el medio ambiente que lo rodea.

Luego se instala varias resistencias para darle calor a este sistema aislado y así elevar de temperatura los bobinado del estator, para llegar a más de 100°C, de temperatura promedio y mantenerlo en ese rango de temperatura por un lapso no menor de 43 horas, de tal manera que las capas de los materiales dieléctricos que se encuentran en las bobinas importadas de España y los materiales dieléctricos colocados por nuestros Técnicos, antes del montaje, se adhieran completamente y adquieran todas sus propiedades de aislamiento. A este proceso también se le conoce como el "Curado". Este curado se realiza, subiendo gradualmente el calor hasta sobrepasar la temperatura de 100°C, y mantenerlo dentro de un rango de  $110\text{ °C} \pm 8\%$  durante un tiempo de 43 horas como mínimo.

Durante el secado, la velocidad de aumento de temperatura del bobinado no debe exceder  $5\text{ °C}$  ( $9\text{ °F}$ ) por hora y la temperatura final no debe exceder  $110\text{ °C} \pm 8\%$  o ( $220\text{ °F}$ ). Un aumento súbito de la temperatura o una temperatura final demasiado alta pueden ser causa de formación de vapor en las cavidades de los bobinados y esto puede, a su vez, destruir los bobinados.

Al final del proceso se procede a bajar la temperatura gradualmente, hasta mantenerlo en un rango de  $35\text{ °C} \pm 5\%$ .



Fig. 5.25 Tratamiento térmico-encerramiento del estator

## 5.2.5 Pruebas Eléctricas

### i) Pruebas de Tensión Aplicada – Grupos del Estator

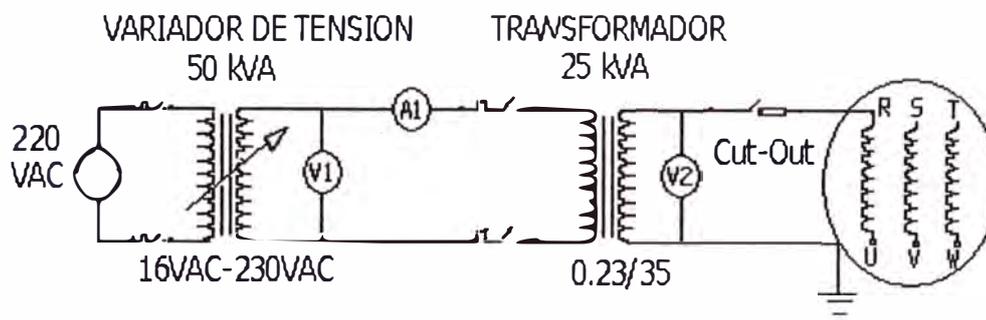


Fig. 5.26 Circuito para la tensión aplicada

Se realizó la prueba de tensión aplicada a masa de los 48 grupos de bobinas del estator de cada generador, sometiéndose los grupos de bobina a un nivel tensión de hasta aproximadamente 30 KV, el mismo que se fue aplicando en forma incremental desde las 10 KV hasta 30 KV en 8 intervalos por un tiempo de 01 minuto.

Tabla 5.12 Prueba de Tensión Aplicada al grupo N° 46 del Estator N° 3

FECHA	GRUPO	V1	A1	V2	A2	TIEMPO
		(Voltios)	(Amperios)	(Voltios)	(Amperios)	(Minutos)
13/02/2007	46	60.5	6.5	8680.4	0.05	En esta prueba existió una disrupción por la cabeza bobina 170
13/02/2007	46	67	7.5	9613.0	0.05	
13/02/2007	46	74	8.4	10617.4	0.06	
13/02/2007	46	87	9.6	12482.6	0.07	
13/02/2007	46	94	9.9	13486.9	0.07	
13/02/2007	46	120	12.6	17217.4	0.09	
13/02/2007	46	131	14.5	18795.6	0.10	
13/02/2007	46	0	0	0.0	0.00	
13/02/2007	46	0	0	0.0	0.00	
14/02/2007	46	93.7	10.2	13443.9	0.07	
14/02/2007	46	103	11.5	14778.2	0.08	
14/02/2007	46	114	12.5	16356.5	0.09	
14/02/2007	46	125	14	17934.8	0.10	
14/02/2007	46	135	15.5	19369.5	0.11	
14/02/2007	46	148	17	21234.7	0.12	
14/02/2007	46	160	18.2	22956.5	0.13	
14/02/2007	46	170	19.1	24391.3	0.13	
14/02/2007	46	175.7	19.4	25209.1	0.14	1'

De las pruebas realizadas al grupo N° 46 del estator N° 3 se presento una disrupción por la cabeza de bobina de la ranura 170, no presentándose anomalías en los otros grupos de bobinas de los estatores N° 2 y N° 1. En la Tabla 5.12 se muestra los resultados obtenidos del grupo de bobinas 46.

Los Equipos utilizados fueron:

**VARIAC:**

Entrada: 220 VAC

Salida: 16 – 230 VAC

Potencia: 50 KVA

Fases/Frecuencia: 3 / 60 Hz

**TRANSFORMADOR DE POTENCIA:**

Relación de Transformación: 0.23 – 0.33/33kV

Potencia: 25 KVA

Fases/Frecuencia: 3 / 60 Hz

ii) **Pruebas de resistencia**

• **Medición de una resistencia**

Fecha: 07 de marzo del 2,007 Hora: 17:07 horas

Equipo: MEGOHMETRO

Marca: MEGGER

Modelo: MIT 1020 – EU/060806/1124

Tabla 5.13 Medición de la resistencia de aislamiento

BOBINA NUEVA		BOBINA ANTIGUA	
Printout N°	77	Printout N°	78
Memory location	22	Memory location	23
17:07 07:03:07		18:07 07:03:07	
Configuration		Configuration	
Iset	50 R	Iset	50 R
Rising edge	1000 ms	Rising edge	1000 ms
Holding time	3000 ms	Holding time	3000 ms
Falling edge	1000 ms	Falling edge	1000 ms
Result		Result	
Ushunt	14.95 mV	Ushunt	14.96 mV
Pol EUT	Corr.	Pol EUT	Corr.
Ueut	55.38 mV	Ueut	64.55 mV
I	50 R	I	50 R
<b>Resistencia</b>	<b>1.112 mΩ</b>	<b>Resistencia</b>	<b>1.296 mΩ</b>

• **Medición de resistencia del generador y rotor N° 3**

La medición de la resistencia de cobre del generador y del rotor se realizó con el siguiente equipo:

EXAMINATOR TESTER PRODUCT: 99 – d212 – 006 - ENG

Marca: BAKER D12R

Modelo: D12R T0906

Temperatura del bobinado: 31.0 °C

Serie: 1036

Medición de Resistencias del cobre del Generador N° 3

Fecha: 21/03/2007

Hora: 15:30 horas

Tabla 5.14 Medición de Resistencia del cobre del estator N° 3

FASE	GAIN	Current. (A)	RESISTENCIA mΩ	TEMPERATURA AMB.(°C)
<b>R</b>	1 0	2	16.8	27.1
<b>S</b>	1 0	2	16.8	27.1
<b>T</b>	1 0	2	16.8	27.1

Fecha: 21/03/2007

Hora: 17:00 horas

Tabla 5.15 Medición de resistencia del cobre del rotor N° 3

ANILLO 1	GAIN	current	Resistencia	Temperatura
ANILLO 2		(A)	(Ohmios)	(°C)
<b>A1 - A2</b>	10	2	0.4242	22.4

- **Medición de resistencias del generador y rotor N° 2**

Fecha: 08/03/2007

Hora: 20:30 horas

Tabla 5.16 Medición de resistencia del cobre del Estator N° 2

FASE	GAIN	Current. (A)	RESISTENCIA mΩ	TEMPERATURA AMB.(°C)
<b>R</b>	10	2	16.8	24
<b>S</b>	10	2	16.8	24
<b>T</b>	10	2	16.8	24

Fecha: 21/03/2007

Hora: 17:47 horas

Tabla 5.17 Medición de resistencia del cobre del rotor N° 2

ANILLO 1	GAIN	Current	Resistencia	Temperatura
ANILLO 2		(A)	(Ohmios)	(°C)
<b>A1 - A2</b>	10	2	0.4385	21.3

- **Medición de resistencias del generador y rotor N° 1**

Fecha: 15/07/2008

Hora: 15:30 horas

Tabla 5.18 Medición de resistencia del cobre del Estator N° 1

FASE	GAIN	Current. (A)	RESISTENCIA mΩ	TEMPERATURA AMB.(°C)
<b>R</b>	10	2	16.8	24.4
<b>S</b>	10	2	16.8	24.4

<b>T</b>	10	2	16.8	24.4
----------	----	---	------	------

Fecha: 15/07/2008

Hora: 17:47 horas

Tabla 5.19 Medición de resistencia del cobre del rotor N° 1

<b>ANILLO 1</b>	GAIN	Current	Resistencia	Temperatura
<b>ANILLO 2</b>		(A)	(Ohmios)	(°C)
<b>A1 - A2</b>	10	2	0.4385	24.3

## 5.2.6 Mantenimiento del Rotor

- **Prueba de Resistencia de aislamiento**

Se realizó la prueba de resistencia de aislamiento por los técnicos de M & P antes de proceder al mantenimiento, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 5.20 Medición de Resistencia de Aislamiento de Rotores  
Antes del Mantenimiento

<b>PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO - ROTORES</b>				
Fecha: 19 /03/2007		Hora: 15:20		
Equipo: Megger BM 222				
Temp-Amb: 22,5 °C		Temp-bobina: 26,5 °C		
TIEMPO (minutos)	VOLTAJE (VDC - volts)	ROTOR 1 (Gohm)	ROTOR 2 (Gohm)	ROTOR 3 (Gohm)
1'	500	0.91	0.33	1.10
1'	1,000	0.39	0.32	0.45

NOTA: la prueba del Rotor N° 1 se realizó el 13 de Julio 2008

- **Prueba de Resistencia del bobinado de los rotores**

Tabla 5.21 Medición de Resistencia del bobinado de los rotores

<b>PRUEBA DE RESISTENCIA DEL BOBINADO - ROTORES</b>				
Fecha: 21/03/2007		Hora: 17:47		
Equipo: EXIMINATOR TESTER				
Temp-Amb: 21,3 °C		Temp-bobina: 25,4 °C		
CONCEPTO	ROTOR 1 (Gohm)	ROTOR 2 (Gohm)	ROTOR 3 (Gohm)	RANGO
<b>Gain</b>	1.00	1.00	1.00	0.05 – 2.5 Ω
<b>Current (amper)</b>	2.00	2.00	2.00	0.05 – 2.5 Ω
<b>RESISTENCIA (ohm)</b>	0.4379	0.4385	0.4382	0.05 – 2.5 Ω

NOTA: Prueba Rotor N° 1 se realizó el 13 Julio 2008

- **Prueba de Índice de Polarización del aislamiento de los Rotores**

El mantenimiento de los rotores consistió en:

- Se verifico polo por polo el conexionado de los mismos, encontrándose en buen estado de los tres rotores
- Se verifico los chiveteros de cada polo de cada rotor, encontrándose en buen estado
- Se verifico los anillos de cada rotor, encontrándose que uno de los anillos del rotor N° 2, se encuentra desgastado
- Luego se procedió al lijado de todas las partes metálicas, y a continuación se sopleteo con aire a presión para eliminar el polvo y particular de residuos.
- Asimismo se lavo con solvente todo el rotor, para seguidamente sopletearlo con solvente y luego darle el acabado final
- Se procedió al pintado con pintura ANTIFLASH 214 R, de los tres rotores, dejándolos en buenas condiciones.

Después del mantenimiento de los rotores, se hizo de nuevo la prueba por nuestros técnicos, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5.22 Prueba de aislamiento después del mantenimiento de rotores

<b>PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO - ROTORES</b>				
Fecha: 21 /03/2007		Hora: 18:00		
Equipo: Megger BM 222		Temp-Amb: 21,3 °C		
		Temp-bobina: 25,4 °C		
<b>TIEMPO (minutos)</b>	<b>VOLTAJE (VDC - volts)</b>	<b>ROTOR 1 (Gohm)</b>	<b>ROTOR 2 (Gohm)</b>	<b>ROTOR 3 (Gohm)</b>
1´	254	21.30	8.47	27.20
10´	254	41.53	11.00	39.50
<b>IP</b>		<b>1.95</b>	<b>1.30</b>	<b>1.45</b>

NOTA: la prueba del Rotor N° 1 se realizó el 15 de Julio 2008

### 5.2.7 Pruebas Finales del Generador

Una vez culminado los entregables del estator rebobinado, el mantenimiento del rotor y montado el generador y acoplado a las turbinas se procedió a realizar las pruebas finales de los generadores.

#### A) Prueba de Resistencia de Aislamiento de los Estatores

La medida de Resistencia de aislamiento ha sido recomendada y usada por más de media centuria para evaluar la condición del aislamiento eléctrico. Mientras que la medida de la resistencia de aislamiento individual puede ser de un valor cuestionable en cambio el registro periódico de los valores de la resistencia acumulado de varios meses o años, si es de incuestionable valor.

Esta recomendación fue publicada por el AIEE en 1,950 como una guía para presentar varias facetas asociadas con la medida y entendimiento de la Resistencia de aislamiento. Esta guía fue revisada en 1,961 y 1,974, durante los setentas, varios

cambios fueron hechos para los tipos de aislamiento usados en máquinas rotativas eléctricas.

Las características de la resistencia de aislamiento de estos más nuevos sistemas de aislamientos, son diferentes de los viejos sistemas, y por lo tanto requirieron una sustancial revisión para Uniformizar las medidas de la resistencia de aislamiento.

Otros cambios incluyen la adición de promover la teoría de prueba y el retiro respecto a la sugerencia del mantenimiento del procedimiento del secado para viejos bobinados, recomendaciones para procedimientos de mantenimiento están más allá del alcance de este documento.

Con esta publicación como una recomendación práctica, la IEEE está presentando y recomienda la medida de la resistencia de aislamiento como un factor importante en monitorear el aislamiento eléctrico en máquinas rotativas.

- **IEEE-std 43 -1974 (1991) [8]**

La IEEE recomienda la práctica de la prueba de resistencia de aislamiento de máquinas rotativas siguiendo el IEEE-std 43 -1974 (1991)

El propósito de estas recomendaciones prácticas es para:

- a) Definir la prueba de la resistencia de aislamiento y el índice de polarización
- b) Revisar los factores que afectan el cambio de las características de la resistencia de aislamiento
- c) Recomienda uniformizar las condiciones de prueba
- d) Recomienda uniformizar los métodos para la medida de la resistencia de aislamiento con precauciones para evitar resultados erróneos.
- e) Proporcionar una base para interpretar los resultados de la resistencia de aislamiento, para evaluar el adecuado bobinado para el servicio o para una prueba de sobrevoltaje. En particular este estándar describe los problemas típicos de aislamiento detectados por la prueba de resistencia de aislamiento.

La prueba conocida comúnmente como la prueba del Megger, es una prueba para medir la resistencia dieléctrica

La prueba en DC es la prueba más común usada por la industria en la evaluación de la prueba del aislamiento, IEEE Std. 43 – 2000

La resistencia de aislamiento del bobinado de una máquina rotativa es una función del tipo y condición del material de aislamiento usado también como su técnica de aplicación. En general la resistencia de aislamiento varía proporcionalmente con el espesor e inversamente con el área de superficie de conducción.

Los componentes en la medición con la corriente directa:

El sistema de aislamiento de un bobinado puede ser representado por un circuito equivalente formado por varias corrientes en la prueba de la resistencia de aislamiento tal como se muestra en la figura siguiente (Fig. 5.27)

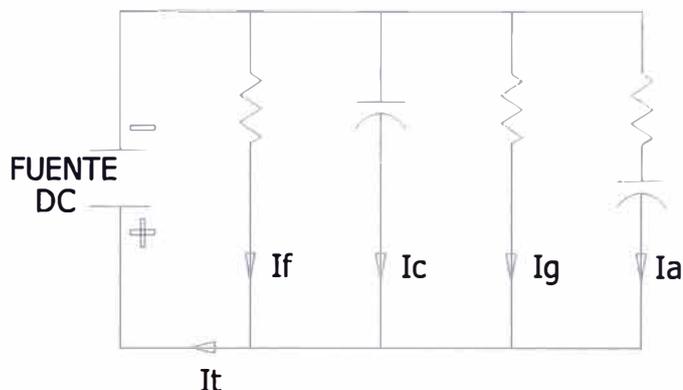


Fig. 5.21 Circuito equivalente del aislamiento

Dónde:  $I_f$  = corriente de fuga sobre la superficie  
 $I_c$  = corriente de la geometría sobre capacitancia  
 $I_g$  = corriente de conductancia  
 $I_a$  = corriente de absorción  
 $I_t$  = corriente total

$I_a$ : la corriente de absorción decae con el tiempo, además esta tiene 2 componentes. La primera componente es debido a la polarización de los materiales impregnados porque las moléculas orgánicas, tal como epóxy, poliéster y asfalto, tienden a cambiar la orientación en la presencia de un campo eléctrico directo, ya que estas moléculas tienen que hacer un gran esfuerzo contra las fuerzas atractivas de otras moléculas, y ello toma varios minutos después de la aplicación del campo, para que la moléculas vuelvan a orientarse. Y de este modo, para el suministro de corriente de energía de polarización para ser reducida casi a cero.

Una segunda componente de la corriente de absorción es debido al gradual desplazamiento de electrones e iones a través de más materiales orgánicos. Estos electrones e iones desplazan hasta que ellos vuelven a retenerse en la superficie de la mica generalmente encontrada en sistemas de aislamiento de máquinas rotativas. Generalmente para limpieza y secado del aislamiento de máquinas rotativas, la resistencia de aislamiento entre 30 segundos. Y unos pocos minutos es determinado primeramente por la corriente de absorción.

**Ig:** La corriente de conducción en adherir bien el poliéster y mica epóxi, el sistema de aislamiento es esencialmente cero a menos que el aislamiento se ha vuelto saturado con la humedad. Sistemas de aislamientos antiguos tal como la mica asfáltica o mica de goma pueden tener un natural y más alto corriente de conducción debido a la conductividad de las cintas que apoyan la mica.

**If:** La corriente de fuga de superficie es constante con el tiempo. Un alto corriente de fuga de superficie, menor resistencia de aislamiento, es usualmente causado por la humedad o algún otro tipo de contaminación presentado en las máquinas.

**Ic:** La corriente de capacitancia geométrica usualmente no afecta las medidas porque desaparece antes del tiempo en que la primera lectura es tomada a 1 minuto.

A continuación se muestran las características de la medición en DC (Fig. 5.28)

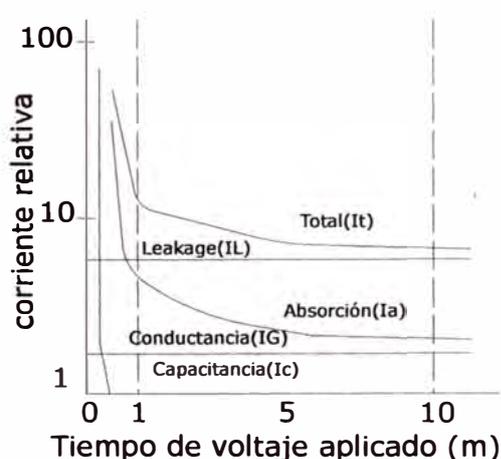


Fig. 5.28 Tipos de corrientes para aislamiento de mica asfáltica

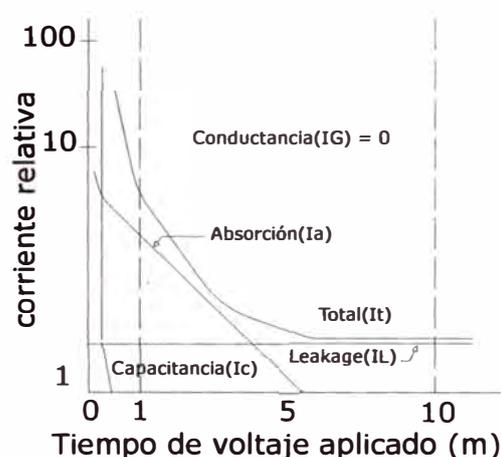


Fig. 5.29 Tipos de corrientes para aislamiento de mica epoxy

Este ultima Fig. 5.29 corresponde a nuestro caso, porque se ha usado materiales aislantes de última generación con una relativa baja corriente de fuga y nula corriente de conductancia.

- **Lectura de resistencia de aislamiento**

Las medidas de la resistencia de aislamiento constituyen una prueba de voltaje directo y deben ser restrictivas para un valor apropiado de voltaje, para la proporción del voltaje del bobinado y la condición de aislamiento básico

Si la prueba de voltaje es demasiado alta, el voltaje de prueba aplicado puede sobre esforzar el aislamiento y resultar una falla de aislamiento.

Las pruebas de resistencia de aislamiento son usualmente realizadas para voltajes en DC de 500 a 10,000VDC, para nuestro caso se realizó con 5 Kv en DC

Las Normas para los voltajes de prueba en DC para ser aplicados durante la prueba de resistencia de aislamiento. (IEEE Std. 43 – 2000, pag. 7) son presentadas en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23 Ratio de voltaje línea-línea para máquinas AC para tres fases [13]]

Winding rated Voltaje(V)	Insulation resistance test Direct Voltaje (V)
< 1000	500
1000 – 2500	500 – 1000
2501 – 5000	1000 – 2500
5001 – 12000	2500 – 5000
> 12000	5000 - 10000

Voltaje de línea a tierra para máquinas monofásicas y ratio para voltajes DC para máquinas DC o campos de bobinados.

- **Índice de polarización**

La medida de resistencia de aislamiento, generalmente aumenta rápidamente cuando el voltaje es primero aplicado, acercándose gradualmente a un relativo valor constante cuando el tiempo transcurre. La lectura de un bobinado seco en buena condición puede continuar el incremento por horas con una continua aplicación constante de prueba de voltaje. Para viejos tipos de aislamiento un razonable valor continuo es usualmente alcanzado en 10 a 15 minutos. Moderno clases de cable película -revestido. Tan bien como epoxi - mica o poliéster - mica aislaron devanados de estator, Puede acercarse a un valor constante de la resistencia de aislamiento en 4 minutos o menos.

Si el bobinado esta húmedo o sucio, un menor valor de estabilización se alcanza en 1 o 2 minutos después de que el voltaje de prueba es aplicado.

El índice de polarización es normalmente definido como la proporción del valor resistencia en 10 minutos ( $IR_{10min}$ ) y el valor de la resistencia en 1 minuto ( $IR_{1min}$ ). El índice de polarización es indicativo de la inclinación de la característica de la curva y puede ser usada para evaluar la condición del aislamiento según cláusulas 11 y 12 de la IEEE Recommended practice for testing insulation. Los valores tomados en nuestro caso son los siguientes:

- **Mínimos valores del Índice de Polarización**

Los mínimos valores Recomendados por la IEEE son: Clases de Aislamiento por IEC 60085 – 01: 1 984

Tabla 5.24 Recomendaciones de valores mínimos del índice de Polarización para todos los componentes de máquinas

Thermal class rating	Minimum P.I.
Class A	1.5
Class B	2.0
Class F	2.0
Class H	2.0

**Observación:** Si la resistencia de Aislamiento en 1 minuto está por encima de 5 Gigaohmios, el P.I. calculado puede ser no significativo, en tal caso el P. I. puede ser ignorado como una medida de la condición del bobinado.

Tabla 5.25 Recomendación mínima de valores de Resistencia de Aislamiento en 40°C (todos los valores en MΩ) [7]

Minimum insulation Resistance	Test Specimen
$IR_{1m} = kV + 1$	For most windings made before about 1970, all field windings, and others not described below
$IR_{1m} = 100$	For most DC armature and AC winding built after about 1970 (form-wound coils)
$IR_{1m} = 5$	For most machines with random-wound stator coils and form-wound coils rated below 1 kV

$IR_{1m}$  es la recomendación mínima de la resistencia de aislamiento en Megohms, a 40°C del bobinado de la máquina completa.

KV es el ratio de voltaje de la máquina de terminal a terminal en r.m.s.

- **Resistencia de aislamiento del estator N° 3**

Tomada por los Técnicos de M & P Ingenieros.

Fecha: 21 de Marzo del 2,007

Hora: 14:40 a 15:30

Equipo: Insulation Tester HD 5060X

Marca: Megabress

SERIE: OC 8109 J

Temp. Amb.= 27°C

Temp. Bobinado: 32 – 30°C

Tabla 5.26 Medición de la resistencia de aislamiento del estator N° 3

TIEMPO	FASE R		FASE S		FASE T	
	V (kV)	Resis. Aisl (Gohm)	V (kV)	Resis. Aisl (Gohm)	V (kV)	Resis. Aisl (Gohm)
00:15	5.03	1.63	5.02	2.44	5.03	1.65
00:30	5.01	1.99	5.03	1.84	5.03	2.06
00:45	5.02	2.82	5.03	2.51	5.03	2.92
01:00	5.02	3.53	5.02	3.07	5.02	3.65
D.A.I.	=	1.78		1.68		1.79
01:15	5.02	4.13	5.02	3.57	5.03	4.25
01:30	5.02	4.65	5.02	4.04	5.02	4.82
01:45	5.02	5.09	5.02	4.38	5.03	5.32
02:00	4.90	5.37	5.02	4.70	5.03	5.85
02:15	5.12	6.72	5.02	4.99	5.03	6.19
02:30	5.03	6.80	5.04	5.28	5.03	6.55
02:45	5.03	6.99	5.02	5.55	5.03	6.89
03:00	5.03	7.12	5.02	5.84	5.03	7.51
03:15	5.02	7.42	5.02	7.13	5.03	7.46
03:30	5.02	7.58	5.02	7.29	5.02	7.64
03:45	5.02	7.79	5.02	7.34	5.03	7.51
04:00	5.02	7.99	5.02	7.39	5.03	8.60
04:15	5.03	8.05	5.02	7.59	5.02	8.52
04:30	5.02	8.34	5.02	7.61	5.02	8.38
04:45	5.02	8.43	5.02	7.64	5.02	8.39
05:00	5.02	8.40	5.02	7.86	5.02	8.59
05:15	5.02	8.64	5.02	7.81	5.02	8.48
05:30	5.01	8.73	5.02	7.93	5.03	8.78
05:45	5.02	8.93	5.02	8.00	5.02	8.86
06:00	5.03	8.80	5.02	8.01	5.02	9.26
06:15	5.02	8.98	5.02	8.06	5.02	9.35
06:30	5.02	8.88	5.02	8.06	5.02	9.35
06:45	5.02	9.21	5.06	8.35	5.02	9.58
07:00	5.02	9.34	4.88	7.86	5.03	9.64
07:15	5.02	9.34	4.85	8.13	5.02	9.64
07:30	5.02	9.43	4.97	8.25	5.02	9.72
07:45	5.02	9.47	5.13	8.88	5.02	9.66
08:00	5.02	9.59	5.06	8.81	5.02	9.91
08:15	5.02	9.57	5.04	8.85	5.02	9.93
08:30	5.02	9.89	5.04	8.86	5.02	10.10
08:45	5.02	9.75	5.03	8.91	5.02	10.10
09:00	5.02	9.63	5.03	8.95	5.02	10.00
09:15	5.02	9.78	5.03	9.13	5.02	10.10
09:30	5.02	9.85	5.03	9.12	5.02	10.20
09:45	5.02	9.78	5.03	9.22	5.02	10.20
10:00	5.02	9.88	5.03	9.40	5.02	10.40
IP	=	2.80		3.04		2.93

### Resistencia de aislamiento del Estator N° 3

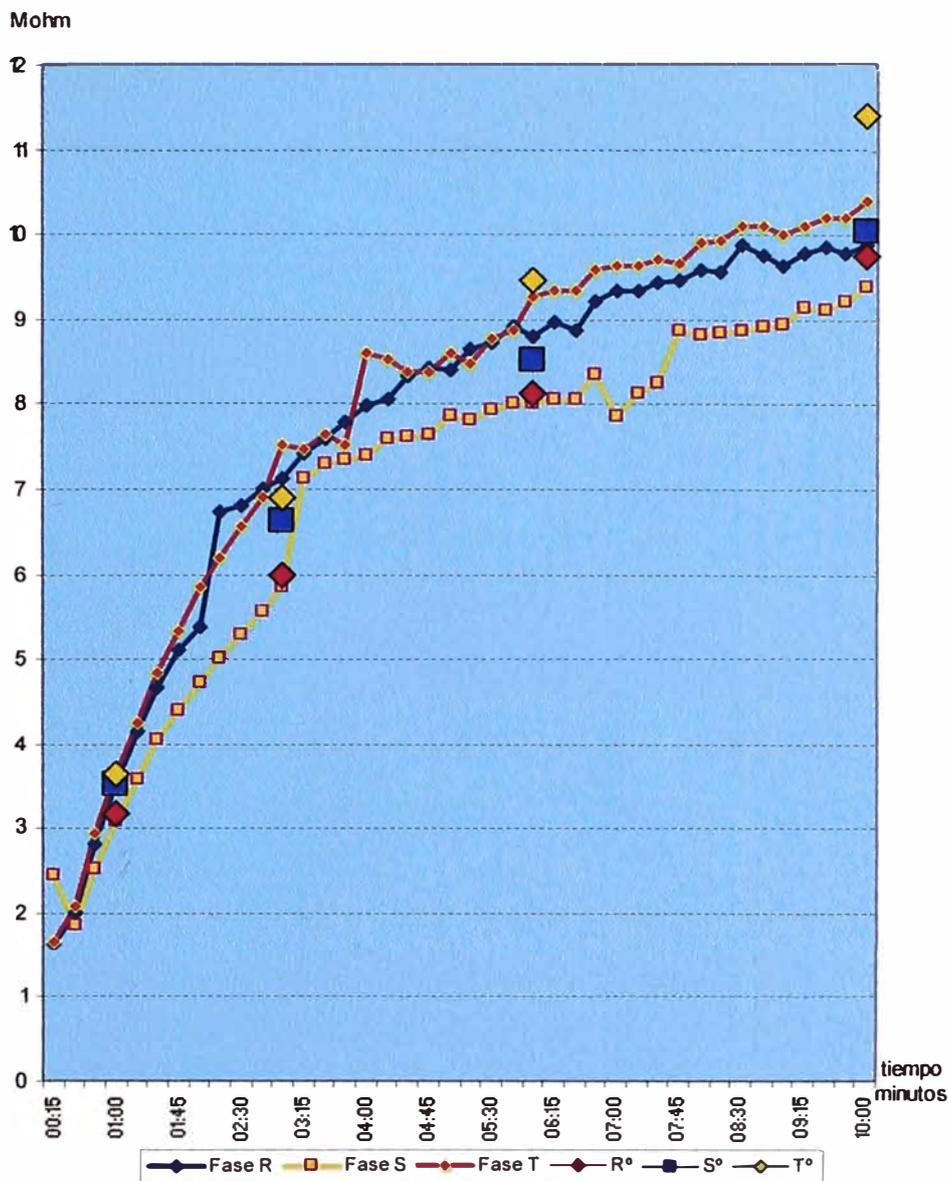


Fig. 5.30 Resistencia de aislamiento vs Tiempo

#### Observaciones:

Se puede concluir que los valores obtenidos por nuestros técnicos en la prueba de resistencia de aislamiento del estator N° 3, están por encima de los valores mostrados en las Tablas 5.24 y 5.25 y que figuran en la IEEE Recommended practice for testing insulation. ( Std – 43 – 2000)

Y por lo tanto cumplen con todos los requisitos mínimos, cláusulas y notas de dichas tablas, por lo cual el bobinado está en perfectas condiciones.

- **Resistencia de aislamiento del estator N° 3**

Tomadas por los Técnicos de Electro Andes

Fecha: 21/03/2007

Hora: 14:48 a 15:50 horas

Equipo: MEGHOMETRO

Marca: MEGGER

Modelo: MIT 1020

Serie: MIT 1020 – EU/060806/1124

Temp. Amb.: 27°C

Temp. Bobinado: 32 °C

Tabla 5.27 Resistencia de aislamiento del estator N° 3

<b>TIEMPO (minutos)</b>	<b>FASE T (GOhm)</b>	<b>FASE S (GOhm)</b>	<b>FASE R (GOhm)</b>
0.5		2.02	1.89
1	3.64	3.53	3.18
2	5.54		4.8
3	6.9	6.62	6
6	9.46	8.53	8.13
10	11.4	10.06	9.76
<b>IP</b>	<b>3.22</b>	<b>2.83</b>	<b>3.07</b>
Tcc	999s	999s	999s
nF(nanofaradios)	209	208	208
V(voltios en DC)	5.112	5.110	5.109

**Observaciones:**

Se puede concluir que los valores obtenidos por Los Técnicos de ELECTROANDES S. A. en la prueba de resistencia de aislamiento del estator N° 3, están también muy por encima de los valores mostrados en las Tablas 5.24 y 5.25 de la IEEE Recommended practice for testing insulation. ( Std – 43 – 2000)

Y por lo tanto cumplen con todos los requisitos mínimos, cláusulas y notas de dichas tablas, por lo cual el bobinado está en perfectas condiciones.

- **Resistencia de aislamiento del estator N° 2**

Resistencia de aislamiento tomado por los técnicos de M & P Ingenieros

Fecha: 21 de marzo del 2,007

Hora: 14:40 a 15:30

Equipo: Insulation Tester HD 5060X Serie: OC 8109 J

Marca: Megabress Temp. Amb.: 24.8°C

Temp. Bobinado: 36.8°C

Tabla 5.28 Resistencia de aislamiento del estator N° 2

TIEMPO	FASE R		FASE S		FASE T	
	V	Resis. Aisl	V	Resis. Aisl	V	Resis. Aisl
Minutos	(kV)	(Gohm)	(kV)	(Gohm)	(kV)	(Gohm)
00:15	5.03	1.69	5.03	1.58	5.01	1.80
00:30	5.03	2.14	5.03	1.98	5.02	2.33
00:45	5.04	2.97	5.03	2.79	5.02	3.39
01:00	4.92	3.60	5.03	3.48	5.02	4.40
D.A.I.	=	1.70		1.77		1.90
01:15	5.04	4.31	5.03	4.18	5.02	5.31
01:30	5.04	4.84	5.02	4.38	5.02	6.87
01:45	5.04	5.51	5.03	5.13	5.02	7.56
02:00	5.06	6.05	5.03	5.72	5.02	7.66
02:15	5.02	6.64	5.03	6.19	5.02	8.53
02:30	5.03	6.75	5.03	6.24	5.02	8.71
02:45	5.02	6.83	5.03	6.27	5.02	8.99
03:00	5.03	6.77	5.02	6.33	5.02	9.30
03:15	5.03	6.83	5.03	6.65	5.02	9.69
03:30	5.03	6.90	5.01	7.87	5.02	9.62
03:45	5.03	6.78	5.03	8.22	5.02	9.89
04:00	5.03	6.93	5.02	8.22	5.02	10.20
04:15	5.03	7.75	5.03	7.45	5.01	10.40
04:30	5.03	7.88	5.02	8.10	5.02	10.60
04:45	5.03	7.56	5.03	8.60	5.03	10.60
05:00	5.02	7.87	5.02	8.67	4.94	10.60
05:15	5.02	8.72	5.03	9.14	4.86	10.40
05:30	5.02	8.41	5.02	8.48	4.93	11.06
05:45	5.02	9.22	5.03	8.05	5.10	12.10
0600	5.03	8.83	5.03	8.96	5.09	12.10
06:15	5.04	8.93	5.02	8.71	5.05	12.10
06:30	5.03	9.30	5.02	9.36	5.04	12.20
06:45	5.03	9.51	5.02	9.15	5.03	12.00
07:00	5.03	9.39	5.02	9.40	5.03	12.40
07:15	5.03	9.11	5.03	9.84	5.03	12.30
07:30	5.03	8.96	5.02	10.20	5.03	12.60
07:45	5.03	9.51	5.02	9.60	5.03	12.96
08:00	5.03	9.95	5.02	9.96	5.02	12.70
08:15	5.03	10.20	5.04	9.95	5.03	13.00
08:30	5.03	10.50	5.02	10.40	5.03	13.30
08:45	5.03	10.30	5.02	10.40	5.03	12.90
09:00	5.03	10.70	5.03	10.40	5.03	13.16
09:15	5.03	10.30	5.02	10.70	5.02	13.20
09:30	5.02	10.10	5.02	10.60	5.02	13.50
09:45	5.03	10.80	5.02	10.70	5.02	13.60
10:00	5.02	10.70	5.02	10.80	5.03	13.50
IP		2.93		3.93		4.93

Luego tenemos el gráfico de resistencia de aislamiento para el estator N° 2

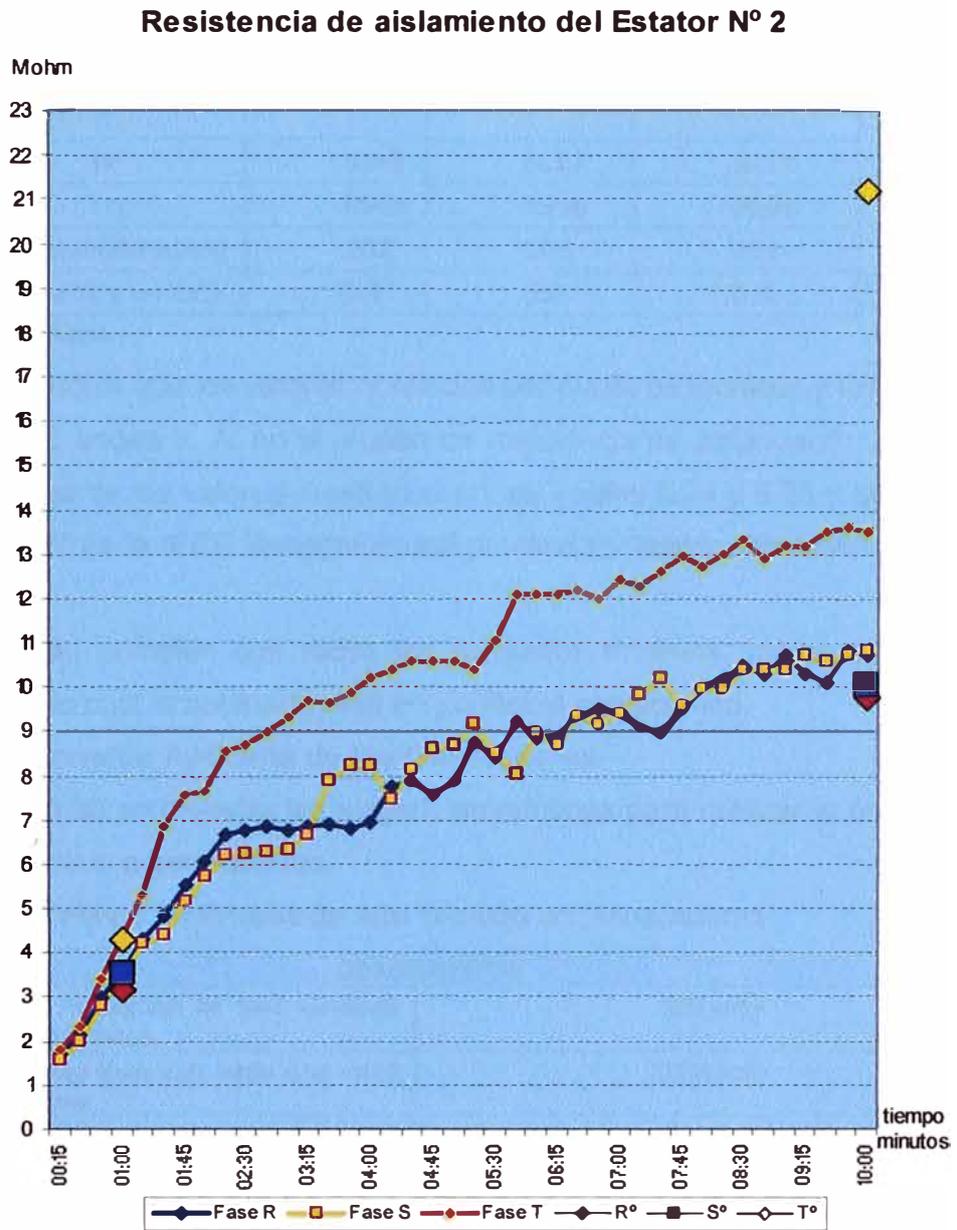


Fig. 5.31 Resistencia de aislamiento vs Tiempo

- Resistencia de aislamiento del estator N° 2**

Tomados por los Técnicos de Electro andes

Fecha: 25/03/2007

Hora: 15:30 horas

Equipo: MEGHOMETRO

Marca: MEGGER

Modelo: MIT 1020

Serie: MIT 1020 – EU/060806/1124

Temp. Amb.: 24.8°C

Temp. Bobinado: 36.2 °C

Tabla 5.29 Resistencia de aislamiento del estator N° 2

TIEMPO (minutos)	FASE T (GOhm)	FASE S (GOhm)	FASE R (GOhm)
0.5	2.24	2.26	2.11
1	4.3	3.53	3.18
10	21.2	10.06	9.76
<b>IP</b>	<b>5.09</b>	<b>5.17</b>	<b>5.22</b>
Tcc	999s	999s	999s
nF(nanofaradios)	202	203	201
V(voltios en DC)	5.0	5.0	5.0

**Observaciones:**

Se puede concluir que los valores obtenidos por nuestros técnicos y los Técnicos de la Empresa Electro andes S. A. en la prueba de resistencia de aislamiento del estator N° 2, están por encima de los valores mostrados en las Tablas 5.24 y 5.25 y que figuran en las páginas 16 y 17 de la IEEE Recommended practice for testing insulation. ( Std – 43 – 2000)

Y por lo tanto cumplen con todos los requisitos mínimos, cláusulas y notas de dichas tablas, por lo cual el bobinado está en perfectas condiciones.

**B) Prueba de Tensión Aplicada de los Generadores**

En la Tabla 5.30 se muestra las exigencias mínimas para realizar la prueba de Alta Tensión en AC relativo a generadores.

Tabla 5.30 Prueba de Alta Tensión en Generadores

GENERATORS		
a) With stator (armature) or field windings rated 35 volts or less.	500 volts	
b) With output less than 250 watts and rated 35 volts or less	1000 volts	
c) With rated excitation voltage 500 volts DC or less	1000 volts + 2 times the rated voltage of the generator	10 times the rated excitation voltage but not less than 1500
d) With rated excitation voltage above 500 volts DC		4000 volts + 2 times the rated excitation voltage

La prueba de alta tensión debe ser efectuado en los devanados y en algunos accesorio de las máquinas eléctricas a un a tensión específica. Para evitar excesivos esfuerzos de aislamiento en los devanados, repetir la prueba de alta tensión no es recomendable.

Para hacerle esta prueba a las máquinas deben estar limpias y secas.

Tener en cuenta que inspección y pruebas de resistencia de aislamiento con resultados aceptables, deben ser ejecutadas antes de la prueba de la Alta Tensión.

Pruebas de resistencia de aislamiento deben ser repetidas en la complementación de la prueba de Alta Tensión. Estas pruebas en máquinas eléctricas se pueden hacer en DC o AC.

- **Resultados de la pruebas de Tensión Aplicada a los generadores**

El circuito instalado para la realización de las pruebas de Tensión Aplicada se muestra en la Fig. 5.32.

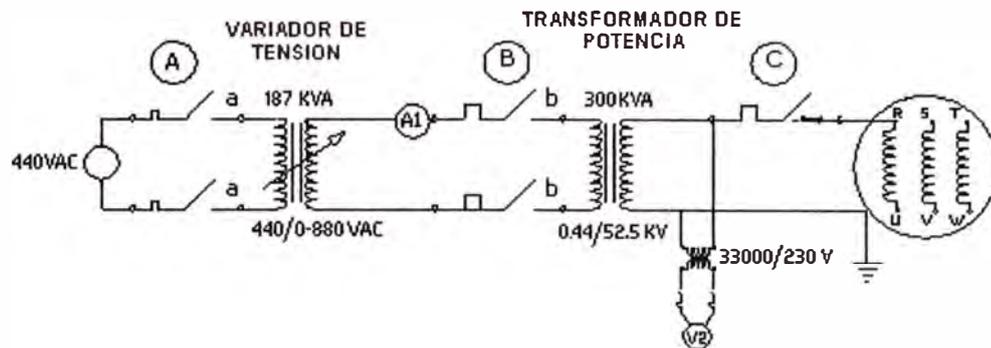


Fig. 5.32 circuito para Pruebas de Tensión Aplicada

Equipos utilizados:

- Variador de Tensión de una potencia de 187 KVA – Voltage de 440 – 30/880 VAC
- Transformador de Potencia de 300KVA de potencia – Voltage 0,466/52.5 KV

Tabla 5.31 Resultados de prueba de Tensión Aplicada de Generadores

ESTATOR N° 3				ESTATOR N° 2			ESTATOR N° 1		
Hora: 07:30 pm				03:20 pm			03:30 pm		
Dia: 23/03/2007				Dia: 25/03/2007			Dia: 23/03/2007		
Temp-Amb: 22,0 °C				27.7 °C			24.6 °C		
Temp-prom-bobinas: 31.8 °C				33.2 °C			32.3 °C		
FASE	V2 (VAC) VOLTS	A1 AMPER	V (VAC) VOLTS	V2 (VAC) VOLTS	A1 AMPER	V (VAC) VOLTS	V2 (VAC) VOLTS	A1 AMPER	V (VAC) VOLTS
R	25.00	32.00	3,586.75	32.00	38.00	4,591.30	30.00	35.70	4,304.34
	153.00	198.00	21,951.00	140.00	174.00	0,086.92	145.00	179.40	20,804.31
S	27.60	32.03	3,959.77	32.20	37.60	4,619.99	31.00	34.80	4,304.34
	141.40	180.00	20,286.65	139.20	173.60	19,972.14	145.00	180.40	20,861.70
T	29.80	35.00	4,275.40	33.00	38.40	4,734.77	32.60	37.01	4,461.43
	144.00	184.30	20,659.68	140.00	174.00	20,086.92	145.00	181.10	20,992.89

### C) Prueba de Vacío y de Corto Circuito de los Generadores

Para obtener las características de **circuito abierto o prueba de vacío**, la máquina se impulsa a su velocidad sincrónica nominal sin carga. Lecturas de voltajes de línea a línea se toman para varios valores de la corriente del campo.

Para la **prueba de corto-circuito**, igualmente la máquina se impulsa aproximadamente a la velocidad sincrónica nominal y mediciones de la corriente de corto-circuito de armadura se hacen por varios valores de la corriente de campo, usualmente hasta y algo arriba de la corriente nominal de armadura.

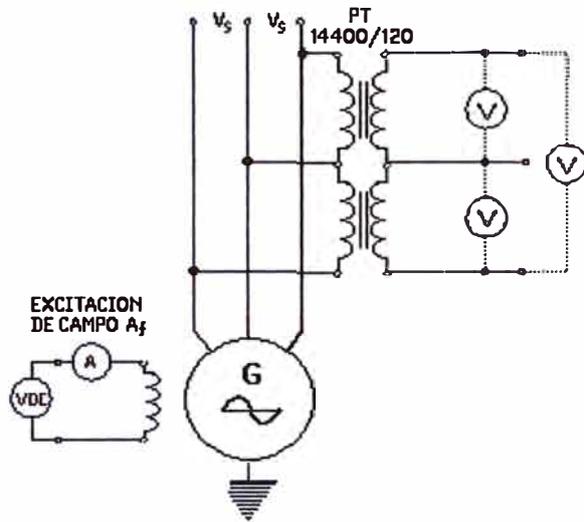


Fig. 5.33 Diagrama prueba de Vacío

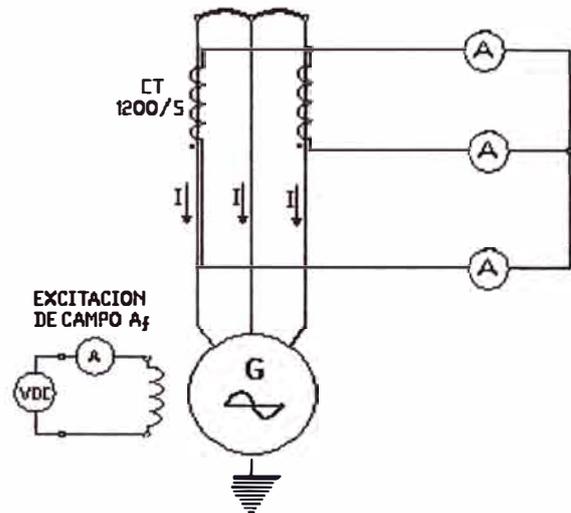


Fig. 5.34 Diagrama prueba de Cortocircuito

### • Resultado Gráfico de las Pruebas

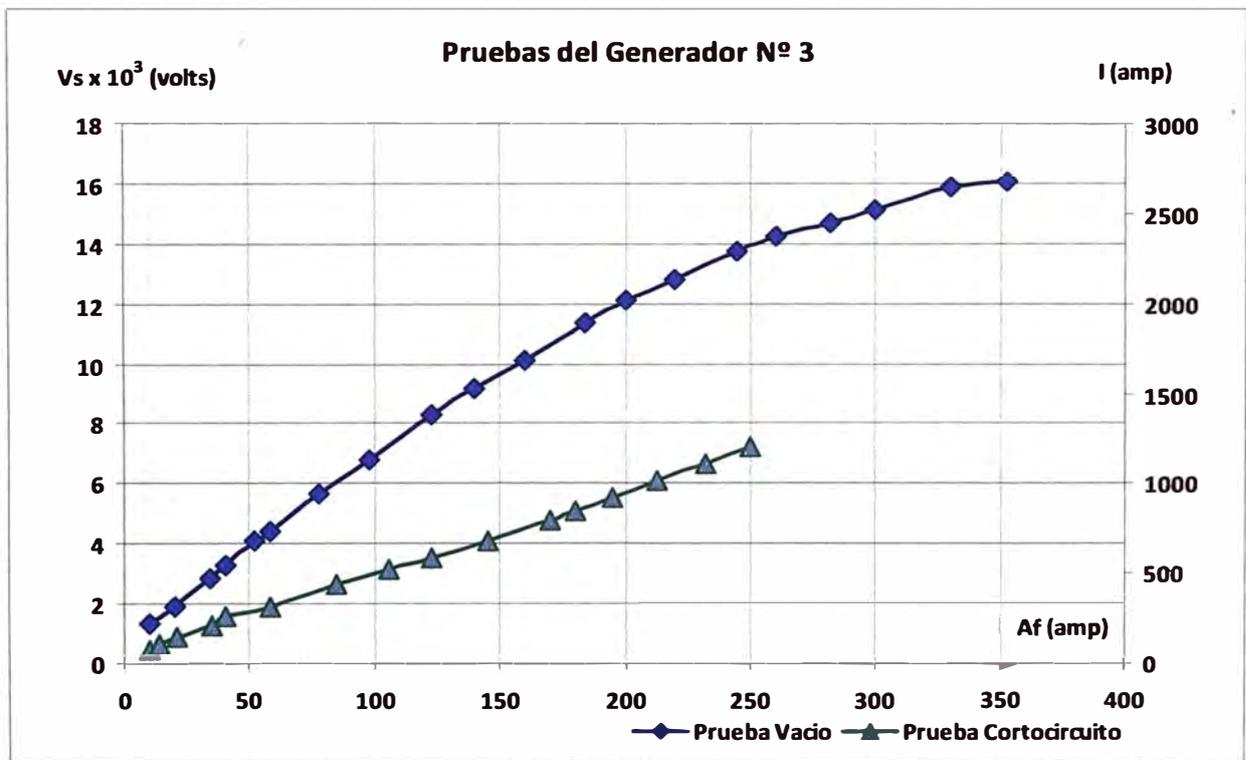


Fig. 5.35 Gráfico de las pruebas de Vacío y cortocircuito del Generador N° 3

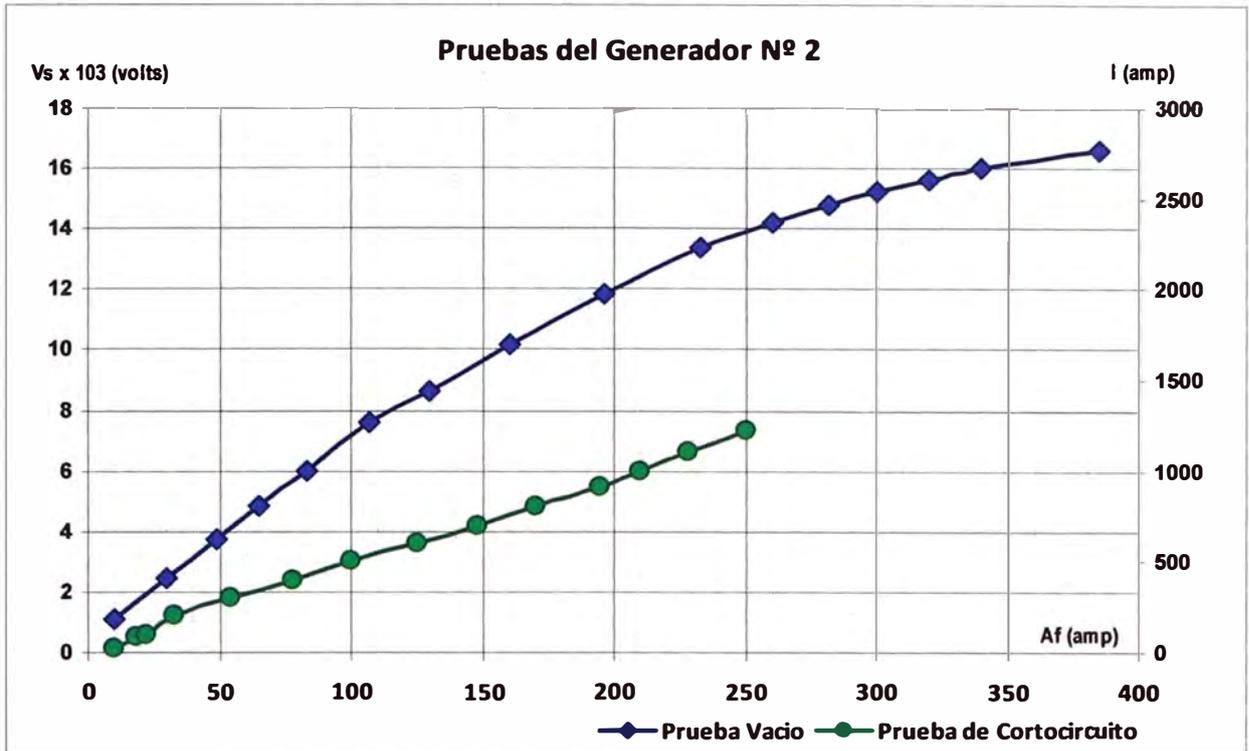


Fig. 5.36 Gráfico de las Pruebas de Vacío y Cortocircuito del Generador N° 2

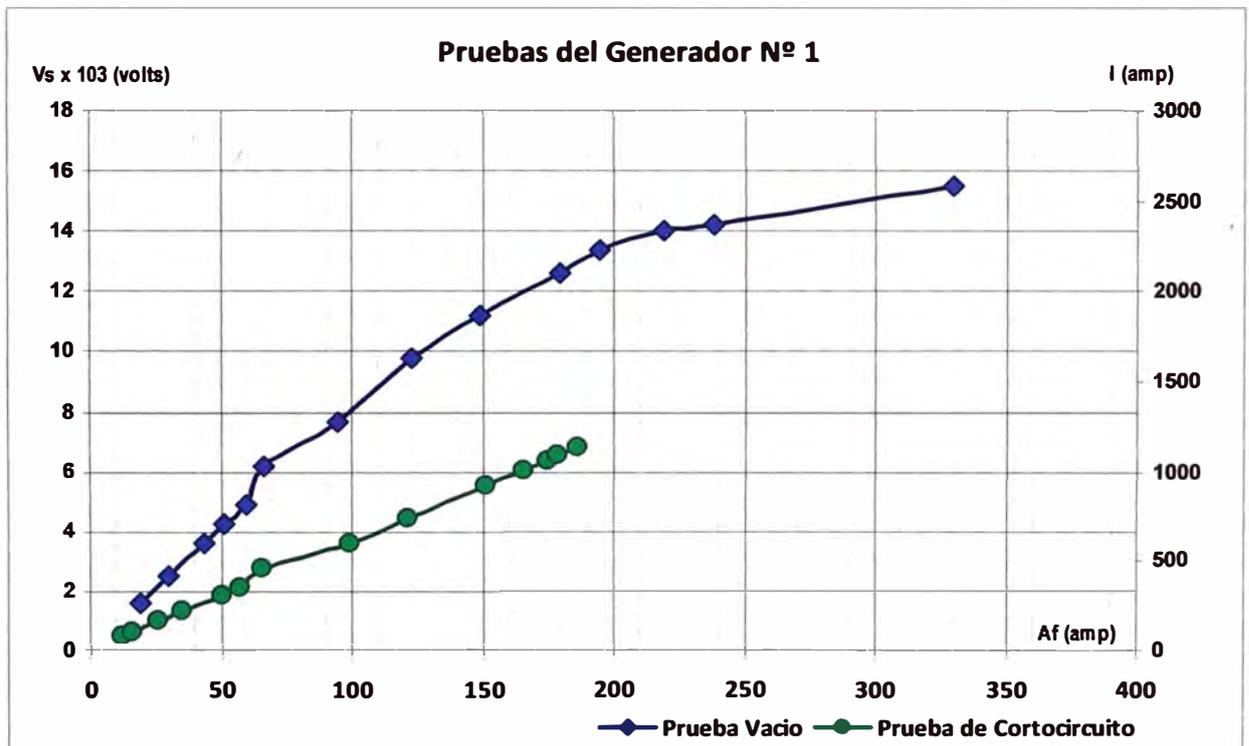


Fig. 5.37 Gráfico de las Pruebas de Vacío y Cortocircuito del Generador N° 1

## **CAPÍTULO VI**

### **GESTIÓN DE RIESGOS DEL PROYECTO**

El riesgo definido como un evento y condición incierta que si se produce tiene un efecto positivo o negativo en los objetivos del proyecto en sus condiciones de tiempo, costo, alcance y calidad. Tratándose de un proyecto muy especializado como es la reparación del bobinado de generadores síncronos de potencia es de vital importancia para la empresa planificar la gestión de los riesgos que deben ser identificados en cada uno de los procesos y actividades del proyecto analizarlos y proponer las respuestas para minimizar su efecto. El seguimiento y control de los procesos y actividades identificados permitirá al responsable de la dirección del proyecto de la empresa de reparación actuar oportunamente.

#### **6.1 Plan de Gestión de Riesgos**

Se identifica en cada fase los riesgos potenciales en las actividades de cada entregable, que serán evaluados cualitativamente a fin de determinar su impacto en el proyecto y plantear las respuestas de aquellos cuya criticidad, a entender de la experiencia de la empresa ejecutora del proyecto, supere el tiempo fijado.

Para el análisis cuantitativo de los riesgos la empresa utilizara como herramienta y técnica el “juicio de expertos”.

Las acciones de respuestas a los riesgos serán planteadas y cuantificadas para el cálculo de la “Reserva de Contingencia” que será puesta a consideración de la empresa generadora a fin de que tome conocimiento y exprese su decisión sobre su programación oportunamente.

Previamente es importante realizar un análisis FODA de la empresa con el objetivo de que tome conocimiento de cómo su organización responderá a los riesgos potenciales que enfrentará durante el desarrollo del proyecto.

El análisis FODA de la empresa responsable de ejecutar el proyecto es el siguiente:

#### **6.2 Identificación de Riesgos: Registro**

La identificación de los riesgos requiere de la aplicación ordenada de técnicas donde deben participar los especialistas involucrados que intervienen en el proyecto, a fin de aprovechar al máximo las experiencias aprendidas de los involucrados, empresa

generadora, empresa de reparación y consultoras. Los riesgos identificables en las diferentes fases del proyecto son los siguientes:

### 6.2.1 Elaboración del Alcance de la Propuesta Técnica y Económica:

Existe la probabilidad que la empresa responsable de la reparación no determine con claridad y precisión el alcance de sus servicios en la propuesta técnica y el contrato por cambios no programadas o eventos no previstos que se presenten durante el desarrollo del proyecto que puede afectar significativamente el cronograma, costo y calidad de los entregables con el consecuentemente perjuicio económico para ambas entidades.

Tabla 6.1 Análisis FODA de M & P Ingenieros

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal técnico con experiencia en la reparación de máquinas eléctricas de potencia.</li> <li>• Cuenta con contactos con empresas especialistas extranjeras en la fabricación de bobinas de máquinas eléctricas de potencia.</li> <li>• Con reconocido prestigio por empresas del sector energético y minero, en reparaciones de máquinas eléctricas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contar con una organización empresarial que se encuentra en proceso de formación y consolidación.</li> <li>• No contar con suficientes cuadros técnicos y profesionales para afrontar trabajos simultáneos, que permitan atender simultáneamente a clientes menores.</li> <li>• No contar con un patrimonio que permita a la empresa lograr acceder a instrumentos financieros competitivos con relación a la competencia.</li> </ul>
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posesionarse en el mercado como la primera empresa nacional que realiza trabajos de rebobinados de generadores de gran potencia en el país.</li> <li>• El éxito del trabajo es una carta de presentación que permite el ingreso como proveedor de garantía de importantes empresas de generación en el medio local.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incumplimiento de entrega del juego de bobinas para cada estator en los plazos previstos por parte de la empresa proveedora ubicada en España.</li> <li>• El riesgo financiero que representa garantizar el trabajo y sus repercusiones como proveedor calificado a nivel nacional.</li> <li>• Ser penalizado por problemas de la calidad del trabajo durante el periodo de garantía, que pondría a la empresa al borde de la quiebra.</li> <li>• Salir del mercado de proveedores de servicios de rebobinado ante un posible fracaso del trabajo asumido.</li> </ul>

### 6.2.2 Construcción de las bobinas:

Una mala planificación con el fabricante de las bobinas estáticas de las condiciones de fabricación y entrega pueden afectar significativamente el cronograma, costo y calidad de las bobinas y repercutir en la performance de la empresa generadora.

Las verificación y el control de la calidad del entregable "bobinas" con la entrega del protocolo de pruebas del fabricante deben haber sido encontrado conforme por la empresa de reparación y ser manifiesta a la empresa generadora.

Las condiciones de embalaje y transporte de las bobinas son también una condición de riesgo para el proyecto; un inadecuado embalaje puede deteriorar las condiciones físicas y de aislamiento de las bobinas; la elección del transporte y el plazo de su entrega deben contar con las holguras suficientes para no afectar el cronograma del proyecto.

### 6.2.3 Desmontaje del Estator

En esta fase se presentan una serie de riesgos inherentes a las propias actividades, que sugieren una mayor diligencia y cuidado en la ejecución de los procesos; así tenemos:

**Núcleo en cortocircuito:** La única manera de determinar la presencia de este tipo de fallas que implican la pérdida del aislamiento y el deterioro del núcleo por el chisporroteo por cortocircuito entre láminas solo se aprecia al sacar completamente las bobinas estáticas y verificar la magnitud del daño mediante la prueba del ELCID.

Esta prueba determina cortos circuitos entre laminaciones del núcleo del estator mediante un toroide que produce un flujo magnético del 4 % aproximadamente del nominal. La prueba de ELCID ha demostrado buena sensibilidad para detectar laminaciones en corto en el núcleo del estator de turbogeneradores. En los generadores hidroeléctricos no responde tan adecuadamente por la construcción en secciones del núcleo magnético. El criterio de aceptación para considerar un núcleo magnético en buenas condiciones es el siguiente:

Corriente máxima:  $I = 0 < 100 \text{ mA}$

**Mantenimiento del Rotor:** este servicio requiere someter a prueba el núcleo magnético, el aislamiento del bobinado y los anillos rozantes; los resultados de las pruebas a que se someten estos componentes importantes del generador determinaran la necesidad y el grado de trabajo a realizar para su reforzamiento y/o reparación.

El riesgo de este importante componente del generador eléctrico está asociado al tipo de trabajo que requiere, el mismo que si bien es una actividad paralela al trabajo principal, el plazo de su reparación podría afectar el cronograma de las pruebas finales del generador.

En la Fase de montaje los riesgos identificados son los siguientes:  
**Deterioro de las bobinas al momento de su montaje:** la actividad de construcción del

abanico para el montaje de las bobinas tiene por objetivo de que durante esta actividad las bobinas no sufran esfuerzos que sobrepasen la tolerancia de flexibilidad del fabricante.

La metodología a emplearse en la metodología debe evaluar tiempo y costo versus riesgo.

El riesgo está identificado, un mal armado del abanico puede derivar en el deterioro de un número de bobinas importante que forzaría a la empresa de reparación a tener que volver a desmontar y a reemplazar las bobinas deterioradas, con el consecuente afectación del cronograma y costos del proyecto.

**Empaque incorrecto de las bobinas:** al estar indebidamente ajustadas las bobinas se generaran problemas de descargas en la sección activa y presenta un patrón de deterioro de acuerdo con su posición relativa en la ranura (superior o inferior) y con el gradiente eléctrico de operación al que están sometidos al estar conectados. De presentarse este caso los fabricantes exigen el cambio del devanado completo debido a que durante la operación sufre el envejecimiento acelerado de su aislamiento, de lo contrario no ofrecen ninguna garantía de su operación.

**Bobinas holgadas:** por error en las dimensiones del sistema de aislantes, puede ocasionar erosión del aislamiento por fricción mecánica y descarga durante la operación del generador.

**Deficiente aislamiento de interconexión de los bastones (puentes):** un deficiente aislamiento por una defeción en las técnicas del aislamiento del material aislante seleccionado, durante la operación se corre el alto riesgo de exista cortocircuitos entre fases y que la propagación de la flama en caso de incendio deteriore los arrollamientos del generador

**Soldadura defectuosa:** los bobinados del estator serán soldados entre sí por casquillos de cobre con una soldadura de alto contenido de plata. Dicha soldadura es calentada por medio de inducción y cuando alcanza su punto de fusión penetra entre los intersticios que existe entre los elementos a soldar; si la penetración y la adherencia no son las correctas, entonces es posible que los valores requeridos para las propiedades eléctricas no se alcancen y se generen los denominados “puntos calientes”, que son indeseables para la operación confiable del generador. Entonces las innumerables soldaduras que se tienen que realizar representan definitivamente un riesgo de que puedan existir soldaduras defectuosas, cuya ocurrencia requerirá de reprogramar estos trabajos con la consecuente afectación del cronograma y costo del proyecto.

### **6.3 Tabla de Evaluación de riesgos y respuestas**

Los riesgos identificados se ordenan para su evaluación cualitativa y cuantitativamente con el objetivo de determinar el grado de impacto y criticidad que representan al desarrollo del proyecto, en función del cual el equipo del proyecto deberá plantear y enunciar las acciones que se deben considerar para minimizar su probabilidad de ocurrencia, como se indica en la Tabla 6.3 de riesgos del proyecto

**Metodología de evaluación del riesgo:** la metodología empleada en la evaluación y priorización de los riesgos identificados es la técnica de “juicio de expertos” que consiste en asignar cualitativamente un valor entre 0 -100 para medir el grado de impacto de la ocurrencia del riesgo y determinar cualitativamente la probabilidad de su ocurrencia (valor entre 0 -1). El producto del impacto por la probabilidad se denomina la criticidad del riesgo, que en la medida que su valor sea más alto indicara lo crítico y lo prioritario para determinar una respuesta que minimice la probabilidad y/o el impacto de su ocurrencia.

Luego de asignar los valores de impacto y probabilidad se procede a plantear y enunciar las respuestas al riesgo (estas podrían ser más de una alternativa) y en el supuesto de ejecutarse volver a asignar nuevos valores de impacto y probabilidad con el objetivo de recalcular la nueva criticidad de los mismos en función del cuál el equipo del proyecto tomara la decisión de programarlo o considerarlo como **Reserva de Contingencia**.

Tabla 6.2 Tabla de Riesgos relacionados al trabajo [4]

<b>FUENTES DE RIESGO: PELIGRO Y ASPECTO AMBIENTAL</b>
<b>PELIGROS FÍSICOS:</b> Ruido, vibraciones, temperaturas extremas, radiación, etc
<b>PELIGROS QUÍMICOS:</b> Productos que pueden ingresar al organismo humano por vía respiratoria, dérmica o mediante la ingestión accidental como: polvo, gases, disolventes, etc
<b>PELIGROS BIOLÓGICOS:</b>
<b>PELIGROS ERGONÓMICOS Y PSICOSOCIALES:</b> Sobreesfuerzo físico, levantamiento y transporte manual de peso, Posturas de trabajo, trabajos nocturnos, ventilación deficiente, iluminación inadecuada, etc.
<b>PELIGROS MECÁNICOS O DE ACCIDENTE:</b> desorden y arreglo físico inadecuado, herramientas inadecuadas o defectuosas, objetos o materiales en altura, estructuras inadecuadas o defectuosas, trabajo en altura, etc.
<b>ASPECTOS AMBIENTALES:</b> Derrames, generación de residuos sólidos, líquidos o gaseosos

**Tabla 6.3 Tabla de Evaluación de Riesgo**

Nombre del Proyecto: Reparación de 03 Generadores Eléctricos de Potencia  
 Preparado por: Edwin Regente Ocmin  
 Fecha:

Riesgo Identificado	Enunciado del Impacto	Grado del Impacto 0 - 100	Probabilidad de ocurrencia 0 - 1.00	Criticidad	Acción de Mitigación	Nuevo Grado de Impacto	Nueva probabilidad de ocurrencia	Nueva criticidad
		A	B	A x B		C	D	C x D
<b>Fabricación de Bobinas</b>								
Demora en la entrega de las bobinas	Afecta el cronograma del trabajo	80	0.10	8.00	Enviar a personal de la empresa para encargarse personalmente de la entrega del juego de bobinas y del embarque respectivo	10	0.1	1.00
<b>Estator desmontado</b>								
Núcleo en cortocircuito	Afecta el cronograma de trabajo y el costo del proyecto	90	0.50	45.00	Preparar presupuesto de contingencia de reparación de núcleo.	90	0.50	45.00
<b>Mantenimiento del Rotor</b>								
Aislamiento deteriorado	Afecta el cronograma y costo del proyecto	90	0.50	45.00	Preparar presupuesto de reparación de aislamiento	90	0.50	45.00
Problemas de hermeticidad de los polos	Afecta el cronograma y costo del proyecto	80	0.40	32.00	Preparar presupuesto de reparación del núcleo	80	0.40	32.00
<b>Montaje de bobinas</b>								
Deterioro del aislamiento de un grupo de bobinas	Afecta el cronograma de trabajo y el costo del proyecto: Se estima deterioro de un máximo de 25 bobinas y plazo adicional de 5 días	90	0.25	22.50	Adquisición de un juego de 25 bobinas por estator y preparar presupuesto de actividad de contingencia de reemplazo de bobinas deterioradas durante	25	0.25	6.25
<b>Enseriado y soldado de bobinas</b>								
Soldadura defectuosa	Afecta la resistividad del empalme que producirá calentamientos que afecten prematuramente el aislamiento de las bobina	60	0.50	30.00	Realizar soldaduras pilotos con materiales similares y realizar pruebas de calidad	60	0.20	12.00
<b>Pruebas Eléctricas</b>								
Pruebas de Tensión Aplicada	Las pruebas pueden salir exitosas; pero pueden afectar las características del aislamiento en el mediano y largo plazo.	70	0.70	49.00	Moderar los niveles de prueba e identificar aquellas bobinas que presenten observaciones durante las mismas	70	0.40	28.00
<b>Montaje del Generador - Turbina</b>								
Montantaje del Generador y Turbina realizado por la empresa generadora	Un inadecuado montaje puede causar efectos colaterales en el sistema eléctrico y mecánico del generador y rotor	90	0.05	4.50	Asignar al personal con mayor experiencia, previamente capacitado en los protocolos que deben seguirse y descansado para realizar esta labor	90	0.01	0.90

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- 1.- En el proceso de rebobinado y mantenimiento, se ha efectuado una serie de pruebas para evaluar los aislamientos de los materiales empleados en la rehabilitación de los generadores, así como en el proceso de montaje y pruebas de aceptación descritas en las normas pertinentes por lo que los resultados garantizan el actual funcionamiento de los Generadores reparados.
- 2.- El uso de aislamientos importados y adecuados influye en la no ocurrencia de descargas parciales, este fenómeno debe evitarse en todo tipo de aislamientos de alta tensión. Las descargas parciales deben eliminarse o reducirse al mínimo con la aplicación de materiales y procesos de manufactura que garanticen bajos niveles de descargas parciales.
- 3.- El aseguramiento de la calidad de servicio de la empresa de reparación y mantenimiento es la programación organizada de actividades que se ha realizado para procurar la mejora continua de los procesos durante el desarrollo del proyecto.
- 4.- El equipo de supervisión realizó auditorías a los procesos programadas en forma aleatoria con el objetivo de identificar las actividades ineficientes y aquellas que no agreguen valor al proyecto lo cual fue a entera satisfacción del cliente.
- 5.- Las herramientas y técnicas disponibles que se usaron en el mantenimiento de los Generadores son: diagrama causa efecto, diagramas de control, diagramas de flujo, histogramas, diagramas de Pareto, inspección y otros que nos condujeron a la culminación del trabajo.
- 6.- El resultado de haber realizado el control de calidad fue obtener entregables que cumplan con las normas, requisitos y expectativas y que fueron formalmente aceptados por el cliente.
- 7.- Debido al desarrollo de la Ciencia y la Tecnología y por ende la aparición de aislamientos de nueva generación permitiéndonos lograr la resistencia de los esfuerzos eléctricos, térmicos y químicos en menores espacios, factor que posibilitó y luego de un Análisis ulterior en el relleno de ranura, SE AUMENTO el área del cobre de 196 mm<sup>2</sup> a

218.12 mm<sup>2</sup> en más del 10 %, Lo que en la práctica se ha logrado producir de 20MW a 21.5 MW.

8.- Este aumento en el área de conducción de la corriente eléctrica ha permitido generar las potencias con menores pérdidas por efecto Joule haciéndola más eficiente en su operación.

9.- La prueba que se consideró más importante en la recepción de bobinas en Fábrica fue la prueba DESTRUCTIVA que de acuerdo a los términos de contrato debería ser superior a 4 Veces el Valor Nominal o sea mayor a 55.2 kV., del lote de las 180 bobinas se escogió 2 bobinas al azar y luego de esta se procedió a efectuar el curado respectivo, cumplidas las condiciones exigentes se procedió a la prueba lográndose soportar hasta 77 kV. , sin notar perforación directa en la parte activa de la bobina DIELECTRICO - MASA (la descarga fue superficialmente desde el conductor hasta la pletina de aluminio). Luego la misma bobina se procedió a efectuar el sometimiento de tensión por segunda vez el mismo que soporto a 70 kV. Comprobándose de esta manera que el aislamiento no fue perforado si no que la descarga fue superficial.

## **RECOMENDACIONES**

1.- Las salidas durante la ejecución de este proceso, son recomendaciones de mejoras de la calidad y propuestas de cambios para aumentar la efectividad y eficiencia de políticas, procesos y procedimientos que enriquecerán los procedimientos de la organización que ejecuta el servicio.

2.- Se recomienda realizar siempre el Control de Calidad del proyecto supervisando la verificación de los resultados del alcance, tiempo y costo de cada uno de los entregables del proyecto, que se resume en el cumplimiento de los estándares de calidad y requisitos del producto final del proyecto exigido por el cliente.

3.- El equipo de calidad debe informarse de los rendimientos del trabajo realizado de cada uno de los entregables y de las acciones correctivas, así como de los cambios solicitados.

4.- El equipo de dirección del proyecto deberá tener conocimiento de las diferentes herramientas o técnicas para identificar las imperfecciones y procesos ineficientes que puedan afectar la calidad de los entregables, de tal manera de plantear las acciones correctivas y plantear los cambios requeridos para ajustar los procesos para cumplir con las normas y requisitos de calidad.

5.- La fabricación de bobinas de alta tensión para generadores de gran potencia actualmente se hacen bajo dos sistemas, el primero es RESIN RICH de resinas epoxicas y el otro en VACIO, ambas tienen sus ventajas y desventajas, Las Bobinas que se

fabricaron para el presente proyecto fueron por el primer sistema RESIN RICH y una de las desventajas es que el montaje electromecánico deberá hacerse con personal altamente capacitado, para cumplir este objetivo M&P decidió enviar cuatro Técnicos a la fábrica de General System Power en Europa los mismos que fueron entrenados para seguir los procesos mencionados en el presente trabajo, de esta manera recomendamos que el montaje electromecánico deberá realizarse con personal capacitado para lograr el propósito final.

**ESTRUCTURA DE COSTOS DEL REBOBINADO DE UN ESTATOR Y MANTENIMIENTO DEL ROTOR DE UN GENERADOR DE 24 MVA DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA DE YAUPI**

	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO US\$/UNID	SUBTOTAL US\$	TOTAL US\$
<b>COSTOS DIRECTOS</b>					
<b>GENERAL ELECTRIC DE ESPAÑA</b>					
<b>1.0 FABRICACION DE BOBINAS</b>					<b>391,000.00</b>
COSTOS EX FABRICA	BOB	200.00	1,550.00	310,000.00	
FLETE+ ADUANA + AGENCIAMIEN'	Global	1.00		80,000.00	
TRANSPORTE A YAUPI	Global	1.00	1,000.00	1,000.00	
<b>TOTAL COSTOS FABRICACION</b>					<b>391,000.00</b>
<b>M &amp; P INGENIEROS</b>					
<b>2.0 REBOBINADO DE ESTATOR</b>					<b>229,256.00</b>
2.1 MOVILIZACION Y DESMOVILIZAC	Global	1.00	7,500.00	7,500.00	
2.2 MANO DE OBRA					
06 ESPECIALISTAS	H-H	3,888.00	12.00	46,656.00	
18 ELECTRICISTAS	H-H	11,664.00	10.00	116,640.00	
02 SUPERVISOR	H-H	1,296.00	20.00	25,920.00	
2.3 INFRAESTRUCTURA	Global	1.00	5,500.00	5,500.00	
2.4 MATERIALES AISLANTES					
CALMICAGLASS 0409	RLL	120.00	28.00	3,360.00	
CINTA DE VIDRIO	RLL	120.00	25.00	3,000.00	
CONTAFEL H 0865	RLL	120.00	24.00	2,880.00	
EGSB 0483	RLL	100.00	23.00	2,300.00	
OTROS MATERIALES	Global	15,500.00	1.00	15,500.00	
<b>3.0 MANTENIMIENTO DEL ROTOR</b>					<b>21,177.00</b>
3.1 MANO DE OBRA					
03 ESPECIALISTAS	H-H	324.00	12.00	3,888.00	
09 ELECTRICISTAS	H-H	1,053.00	13.00	13,689.00	
01 SUPERVISOR	H-H	180.00	20.00	3,600.00	
3.2 MATERIALES AISLANTES	Global				
<b>4.0 PRUEBAS ELECTRICAS</b>					<b>19,920.00</b>
4.1 ESTATOR Y ROTOR					
03 ESPECIALISTAS	H-H	360.00	12.00	4,320.00	
09 ELECTRICISTAS	H-H	1,080.00	10.00	10,800.00	
02 SUPERVISOR	H-H	240.00	20.00	4,800.00	
<b>TOTAL COSTO DE REBOBINADO Y MANTENIMIENTO</b>					<b>270,353.00</b>
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>					<b>661,353.00</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					
GASTOS ADMINISTRATIVOS	10%	de (2+3+4)			<b>27,035.30</b>
<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>27,035.30</b>
<b>TOTAL COSTOS (sin utilidad e IGv)</b>				<b>US\$</b>	<b>688,388.30</b>

NOTA: Los Gastos Administrativos no incluye la adquisición de las bobinas

Fuente: M & P Ingenieros

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Arrollamientos – Ing° Norberto A. Lemozy – 2010
- [2] Teoría de las Maquinas de Corriente Alterna LANSDORF
- [3] Rehabilitación de Generadores Sincronos de Polos Lisos – PEMEX
- [4] Estándar NPT-IEC 60228
- [5] DGE del MINEM, " Norma DGE Ensayos de campo para el diagnóstico de equipos eléctricos de potencia, Perú, 2006"
- [6] Guía de Fundamentos de la Dirección de Proyectos – 3ra Edición PMI
- [7] UL, Underwriters Laboratories, "Scope for Transfer Switch Equipment - UL 1008".  
<http://ulstandardsinfontet.ul.com/outscope/outscope.asp?fn=1008a.htm>
- [8] IEEE, "Estándar IEEE Std 43.1974 - 2000", USA, 2000
- [9] Maquinas Eléctricas IVANOV
- [10] UL, Underwriters Laboratories, "Stationary Engine Generator Assemblies - UL 2200". 1998, Underwriters Laboratories Inc.