



UNIVERSIDAD DON BOSCO

Tema

SOFTWARE DE DISEÑO DE MÁQUINAS SÍCRONAS Y ASÍCRONAS

Trabajo De Graduación

Preparado para

FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

Para optar al título de

INGENIERO ELECTRICISTA

Presentado por:

**Miguel Angel Cruz Márquez
Manuel de Jesús Santos Palma
Mario Rodolfo Iraheta Arana**

Ciudadela Don Bosco, 13 Diciembre de 2002

UNIVERSIDAD DON BOSCO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE ELECTRICIDAD

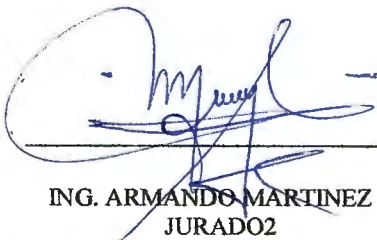
RECTOR

ING. MIGUEL HUGUET

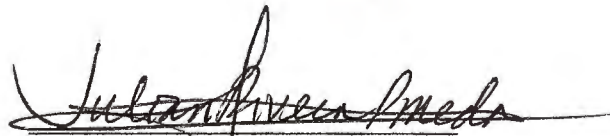
DECANO:

ING. CARLOS BRAN

ING. JAIME ANAYA
JURADO 1



ING. ARMANDO MARTINEZ
JURADO2



ING. JULIAN RIVERA
ASESOR

AGRADECIMIENTOS

MANUEL DE JESÚS SANTOS PALMA

Agradezco ante todo a dios a mi madre Elena Gloria Palma y a mis Hermanos : Julio Cesar , José Fredy, Maria Abdair, Maria Elba, Ana Maria, Dolores Ana Celia y Susana Gloria por haberme impulsado a culminar mi carrera.

MARIO RODOLFO IRAHETA ARANA

Agradezco infinitamente a la Santísima Trinidad que me ha permitido, iluminado e impulsado a concluir con mis estudios con bien, doy gracias también a mi queridísima Virgen Maria quien rogó por mi y me cuidó en los innumerables viajes nocturnos. Quiero agradecer a Gustavo Iraheta, padre por apoyarme incondicionalmente a mi madre Mirna Arana de Iraheta con quien siempre confie a mis hermanos Gustavo y Teté Iraheta y a mi abuelita mamamami, y muchas otras personas que me brindaron su apoyo físico y moral durante mis estudios. Te agradezco también a ti Naty -Huezo- porque siempre me apoyaste y nunca me defraudaste, este triunfo también es tuyo...gracias, gracias por tus oraciones!

MIGUEL ANGEL CRUZ MARQUEZ

Agradezco ante todo a Dios, a mis padres : Daniel Cruz y Aracely Marquez, mis hermanos : Hugo Cruz y Elmer Cruz, por todo el apoyo incondicional que me brindaron para finalizar mis estudios. Gracias por todo sus sacrificios y bendiciones....

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I

| | |
|--|----------|
| 1.0 GENERALIDADES | 1 |
| 1.1 PARAMETROS NOMINALES. | 2 |
| 1.1.1 Potencia nominal. | 2 |
| 1.1.2 Servicio. | 2 |
| 1.1.3 Momento de inercia. | 2 |
| 1.1.4 Constante de tiempo térmica equivalente. | 3 |
| 1.2 CONDICIONES NORMALES DE SERVICIO. | 3 |
| 1.3 REFRIGERACION. | 4 |
| 1.3.1 Modos de refrigeración de las máquinas rotativas. | 4 |
| 1.4 CONDICIONES DE OPERACION. | 4 |
| 1.4.1 Altitud. | 5 |
| 1.4.2 Temperatura ambiente y del fluido de refrigeración. | 5 |
| 1.5 SOBREELEVACION DE TEMPERATURA. | 5 |
| 1.5.1 Determinación de la sobreelevación de temperatura. | 5 |
| 1.5.2 Límites de temperaturas y sobre elevaciones de temperatura. | 6 |
| 1.5.3 Corrección por temperatura | 6 |
| 1.5.4 Corrección por altura | 7 |
| 1.6 CARCAZA DE LAS MAQUINAS ROTATIVAS. | 8 |

| | |
|---|-----------|
| 1.7 NORMALIZACION DE LAS DIMENSIONES Y DE LAS POTENCIAS. | 10 |
| 1.8 EL MOTOR ASINCRONICO | 11 |
| 1.8.1 GENERALIDADES. | 11 |
| 1.8.1.1 Definición. | 11 |
| 1.8.2 CARACTERISTICAS NOMINALES. | 15 |
| 1.8.2.1 Potencia nominal. | 15 |
| 1.8.2.2 Tensión y frecuencia nominales. | 15 |
| 1.8.2.3 Par de arranque. | 17 |
| 1.8.2.4 Corriente de arranque. | 17 |
| 1.8.2.5 Par mínimo de aceleración. | 18 |
| 1.8.2.6 Par máximo. | 18 |
| | |
| 1.8.3 EXCESO MOMENTANEO DE PAR DE MOTORES. | 18 |
| 1.8.4 PAR MINIMO DE ACELERACION. | 18 |
| 1.8.5 TOLERANCIAS. | 18 |
| 1.8.6 DETERMINACION DE LA SOBREELEVACION DE TEMPERATURA. | 19 |
| 1.8.7 CARACTERISTICAS Y REQUERIMIENTOS DE ARRANQUE. | 19 |
| 1.8.8 INSTALACION Y MANTENIMIENTO. | 22 |
| 1.8.9 TIPOS DE CONSTRUCCION Y MONTAJE. | 23 |
| 2.0 MAQUINA SINCRONA DE POLOS SALIENTES. | 24 |
| 2.1 DEFINICION. | 24 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2 CARACTERISTICAS NOMINALES. | 24 |
| 2.2.1 Potencia nominal. | 24 |
| 2.2.2 Tensión y frecuencia nominales. | 24 |
| 2.3 FORMA DE ONDA DE LA TENSION. | 26 |
| 2.3.1 Condiciones eléctricas. | 26 |
| 2.4 CARACTERISTICAS DEL AISLAMIENTO. | 27 |
| 2.4.1 Ensayos dieléctricos. | 27 |
| 2.5 VALORES PARA ENSAYOS DIELECTRICOS. | 27 |
| 2.6 OTRAS CARACTERISTICAS. | 28 |
| 2.6.1 Sobreintensidad ocasional de los alternadores. | 28 |
| 2.6.2 Desequilibrio de corriente de las máquinas síncronas. | 28 |
| 2.7 CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO. | 29 |
| 2.8 SOBREVELOCIDAD. | 29 |
| 2.9 PERDIDAS. | 30 |
| 2.9.1 Pérdidas constantes. | 30 |
| 2.9.2 Pérdidas en carga. | 30 |
| 2.9.3 Pérdidas adicionales debidas a la carga. | 31 |
| 2.9.4 Pérdidas en los circuitos de excitación. | 31 |
| 2.9.5 Pérdidas de excitación. | 31 |
| 2.9.6 Pérdidas en las escobillas. | 31 |
| 2.10 SISTEMAS DE EXCITACION. | 32 |
| 2.10.1 Excitatriz rotante. | 32 |
| 2.10.1.1 Excitatriz de corriente continua. | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 2.10.2 Excitatriz de corriente alterna. | 32 |
| 2.10.2.1 Excitatriz de corriente alterna con rectificadores estáticos. | 32 |
| 2.10.2.2 Excitatriz de corriente alterna con rectificadores giratorios (sin escobillas, "brushless"). | 33 |
| 2.10.3 Excitatriz estática. | 33 |
| 2.10.3.1 Excitatriz estática a fuente de tensión. | 33 |
| 2.10.3.2 Excitatriz estática compuesta. | 33 |
| 2.11 TOLERANCIAS DE LAS CARACTERISTICAS NOMINALES. | 34 |
| CAPITULO II | |
| EL MOTOR ASINCRONICO. | 35 |
| 2.1 CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO. | 35 |
| 2.2 DATOS BASICOS Y ESTIMACIONES. | 35 |
| 2.3 NUMERO DE RANURAS ESTATORICAS. | 37 |
| 2.4 DETERMINACION DEL ENTREHIERRO. | 39 |
| 2.5 DETERMINACION DEL ARROLLAMIENTO ESTATORICO. | 41 |
| 2.6 DETERMINACION DE LA RANURA ESTATORICA. | 43 |
| 2.7 DETERMINACION DE LAS INDUCCIONES EN EL ESTATOR. | 44 |
| 2.8 DEFINICION TIPO DE ROTOR Y NUMERO DE RANURAS. | 44 |
| 2.9 LOS CAMPOS ARMONICOS. | 46 |
| 2.10 DIMENSIONAMIENTO DEL ROTOR Y RANURA. | 48 |
| 2.11 DIMENSIONAMIENTO DEL EJE. | 50 |



| | |
|--|-----------|
| 2.12 CALCULO DEL ROTOR. | 52 |
| 2.13 REACTANCIA DE DISPERSIÓN. | 55 |
| 2.14 PARAMETROS DEL ESTATOR. | 56 |
| 2.15 PARAMETROS DEL ROTOR. | 59 |
| 2.16 DETERMINACION DE CORRIENTE DE VACIO Y PERDIDAS. | 64 |
| 2.17 DETERMINACION DE LOS DIAGRAMAS DEL MOTOR. | 66 |
| 2.18 DETERMINACION DEL PAR Y VELOCIDAD NOMINALES | 70 |
| CAPITULO III | |
| MAQUINA SINCRONÍA. | 72 |
| 3.0 CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO Y METODO DE CALCULO | 72 |
| 3.1 DETERMINACION DE DATOS BASICOS Y PRIMERAS ESTIMACIONES. | 72 |
| 3.2 FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA. | 79 |
| 3.3 DETERMINACION DEL ARROLLAMIENTO | 85 |
| 3.4 DETERMINACION DE LA RANURA | 87 |
| 3.5 DETERMINACION DE LAS INDUCCIONES EN EL ESTATOR | 89 |
| 3.6 PARAMETROS DEL ESTATOR. | 90 |
| 3.6.1 Reactancia del inducido. | 90 |
| 3.6.2 Flujo disperso de ranura. | 91 |
| 3.6.3 Flujo disperso de cabezas de bobinas. | 94 |
| 3.6.4 Flujo disperso de entrehierro. | 98 |

| | |
|---|------------|
| 3.7 DIMENSIONAMIENTO DEL INDUCTOR. | 99 |
| 3.8 CARACTERISTICAS MAGNETICAS. | 102 |
| 3.9 FUERZA MAGNETOMOTRIZ DE REACCION. | 103 |
| 3.10 DETERMINACION DEL DEVANADO DEL POLO INDUCTOR. | 104 |
| 3.11 DETERMINACION DE LAS PERDIDAS. | 109 |
| 4.0 ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SOFTWARE EN JAVA. | 112 |
| METODOS DEL PROGRAMA | 113 |
| DIAGRAMA DE FLUJO | 116 |
| PROGRAMA PRINCIPAL CLASE SINC | 120 |
| PROGRAMA PRINCIPAL CLASE SINCISOFT-1 | 127 |
| APPLET ZAPATA POLAR | 156 |
| APPLET RANURA | 158 |
| APPLET POLOS | 160 |
| PAGINA WEB | 162 |
| GUIA DE USO | 167 |
| CONCLUSIONES | 169 |
| RECOMENDACIONES | 170 |
| BIBLIOGRAFÍA | 171 |
| ANEXOS | 172 |
| EJEMPLO NUMERICO | 177 |
| GLOSARIO | 181 |

INTRODUCCIÓN

Este documento se presenta como el trabajo de graduación denominado: “SOFTWARE DE DISEÑO DE MAQUINAS SINCRONAS Y ASINCRONAS”. El cual está dividido en dos bloques. El primero sobre el diseño eléctrico de dichas máquinas y los pasos requeridos para la solución del problema, que se desarrolla a lo largo de tres capítulos, ellos son:

- 1) Teoría del procedimiento del diseño de maquinas síncronas y asíncronas: En este capítulo se expondrá los conceptos básicos sobre el diseño de máquinas y su funcionamiento.
- 2) Diseño de maquina asíncrona: Aquí se desarrollan los pasos requeridos para el diseño eléctrico de dichas máquinas; ecuaciones y gráficas utilizadas en dicho procedimiento.
- 3) Diseño de maquina síncrona: Al igual que el capítulo anterior, en éste se presenta la secuencia requerida para la solución del diseño propuesto.

El segundo bloque, el cual será presentado como la evaluación final, contiene el análisis y diseño del software, integración de algoritmos y codificación. Esta segunda etapa se desarrolla en un capítulo:

- 1) Análisis y diseño del software en Java: Se desarrolla toda la lógica de programación aplicada a cada paso propuesto en los capítulos de diseño. Determinación de variables de entrada y salida, rutinas, comandos, etc.

Programa codificado: Comprende la estructura del programa, sus archivos fuentes codificados para su compilación.

Para finalizar la segunda parte presentamos los anexos, en donde encontramos: Herramientas de Java utilizadas en la elaboración del programa y ayuda para instalación y uso del programa

El diseñador o usuario del programa deberá poseer nociones básicas sobre el diseño de estas maquinas para poder establecer los requerimientos y características de la maquina que necesita.

El programa tiene definido los valores de entrada mínimos necesarios que se requieren para iniciar el calculo, los cuales, se presentan en la pantalla principal, desarrollada en una hoja web; donde el usuario selecciona de entre los valores mostrados, cuales son los que le interesan haciendo clic sobre ellos.

Luego de procesados estos datos, son mostrados los resultados en una tabla de salida, donde puede encontrar variables eléctricas y dimensiones de la maquina. Estos datos de salida pueden proporcionar una idea bastante acertada de la maquina que se esta diseñando.

Como herramienta de diseño este programa únicamente proporciona lineamientos sobre la maquina que se esta proyectando. Con base a los diferentes de criterios de diseño tomados de los autores que intervienen, entre ellos J.H. Kulhmann, J. Sachi, Rivaldi y las limitaciones en cuanto a graficas y rangos de operación. Por tanto, no pretendemos proporcionar un diseño definitivo de la maquina, en el cual intervienen aspectos relacionados con otras ramas de la ingeniería; los cuales están fuera de nuestro alcance , llámese a ellos, aspectos térmicos, ingeniería de materiales, etc.

CAPITULO I

**TEORÍA DEL PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE
MAQUINAS ASÍNCRONAS Y SÍNCRONAS**

1.0 GENERALIDADES.

Las máquinas eléctricas rotantes tienen la particularidad de convertir energía eléctrica en mecánica o viceversa, eventualmente también pueden transformar energía eléctrica de un tipo en otro aprovechando el movimiento.

Frente a los problemas de utilización se representa la máquina desde el punto de vista circuital, y frecuentemente se utiliza un modelo puramente eléctrico, donde la carga mecánica corresponde a un resistor en el que se disipa energía, o una fuerza electromotriz (o contraelectromotriz).

Para proyectar una máquina se deben tener muy en cuenta sus características físicas, es entonces necesario hacer cierta clasificación de las máquinas rotantes para identificar condiciones de similitud que permitan extender los criterios de diseño entre máquinas semejantes.

Una primera clasificación que puede hacerse es por su función:

- Generador, máquina que produce energía eléctrica por transformación de la energía mecánica.
- Motor, máquina que produce energía mecánica por transformación de la energía eléctrica.

Si se clasifican por la fuente de energía que las alimenta o que representan se tiene:

- Máquinas de corriente continua
- Máquinas de corriente alterna

y algunas de estas últimas por las características de su velocidad se clasifican en:

- Máquinas asíncronas
- Máquinas síncronas

Nos ocuparemos de dos máquinas rotantes en las que se reúnen todos los conceptos principales de cualquier otra, y en el siguiente orden:

- Iniciaremos con el motor asíncrono.
- Continuaremos con el alternador como ejemplo de máquina síncrona.

1.1 PARAMETROS NOMINALES.

Se presentan como el conjunto de valores numéricos de las magnitudes eléctricas y mecánicas asociadas con su duración y secuencia asignadas a la máquina por el constructor e indicadas en la placa de características.

1.1.1 Potencia nominal.

Valor numérico de la potencia indicada en las características nominales.

Este valor establece las bases de diseño, de construcción y de garantías.

Generalmente cuando no se especifica otra cosa se supone que la máquina es de servicio continuo, es decir, funciona con carga constante hasta alcanzar el equilibrio térmico.

Para las máquinas rotantes se establecen dos condiciones extremas de funcionamiento, en vacío y a plena carga.

Funcionamiento en vacío es la condición de funcionamiento de una máquina con carga nula (el resto de condiciones de operación son las nominales).

Funcionamiento a plena carga es cuando se tiene el mayor valor de carga indicada para una máquina funcionando a la potencia nominal.

1.1. 2 Servicio.

La indicación del valor (fracción de la potencia nominal en por ciento) de las cargas a las cuales la máquina está sometida indicando la duración y la secuencia en el tiempo.

1.1. 3 Momento de inercia.

El momento de inercia (dinámico) de un cuerpo alrededor de un eje es la suma (integral) de los productos de sus masas elementales por el cuadrado de sus distancias radiales al eje.

Esta es una característica de importancia fundamental para el estudio de los transitorios mecánicos a los que estará sometida la máquina.

1.1. 4 Constante de tiempo térmica equivalente.

La constante de tiempo térmica equivalente es la constante de tiempo que, en reemplazo de otras individuales, determina aproximadamente la evolución de la temperatura en un arrollamiento a consecuencia de una variación de corriente en escalón.

Este parámetro es distinto según como se enfríe la máquina, manteniéndose la ventilación correspondiente a las condiciones normales de funcionamiento será igual tanto en calentamiento como en enfriamiento.

Esta constante describe aproximadamente, la evolución de la temperatura en función de la carga. Generalmente se le determina a partir de la curva de enfriamiento.

1.2 CONDICIONES NORMALES DE SERVICIO.

- Altitud de instalación
- Temperatura del ambiente en que la máquina funciona.

El calor generado por las pérdidas que se producen en la máquina es cedido al ambiente.

Para cada estado térmico de la máquina el calor disipado depende de la temperatura ambiente y de la densidad del aire refrigerante, y ambas varían con la altura siendo entonces muy importante el estudio de las condiciones que no son las normales.

Por otra parte a cada estado térmico de la máquina corresponden distintas temperaturas para cada uno de sus puntos internos, los elementos más sensibles a la temperatura son los aislamientos que por lo tanto fijan la máxima temperatura admisible (en estado transitorio y permanente).

1.3 REFRIGERACION.

Refrigeración es la operación por la cual el calor proveniente de las pérdidas producidas en la máquina es cedido a un medio refrigerante incrementando su temperatura.

En una máquina con refrigeración a circuito abierto el fluido refrigerante se renueva en forma permanente, entra fluido a temperatura menor y se devuelve al ambiente a una temperatura mayor.

Se denomina fluido de refrigeración a un líquido o gas por medio del cual se extrae el calor.

En las máquinas con refrigeración a circuito cerrado, donde este fluido no se envía al exterior, es necesario un intercambiador de calor y la presencia de un segundo fluido a menor temperatura que recibe el calor del primer fluido.

Equilibrio térmico es la condición alcanzada convencionalmente (de acuerdo con las normas) cuando las temperaturas de las distintas partes de la máquina sometida a un ensayo de calentamiento no varían más de 2 grados centígrados durante una hora.

1.3.1 Modos de refrigeración de las máquinas rotativas.

Según el circuito en que se encuentra el fluido de refrigeración se denomina:

- Fluido primario, líquido o gas que estando a menor temperatura que una parte de la máquina y en contacto con ella, retira el calor producido.
- Fluido secundario, líquido o gas que estando a menor temperatura que el fluido primario, retira el calor cedido por este último por medio de un intercambiador de calor.
- Fluido final, entendiéndose como tal aquel al cual se transfiere finalmente el calor (en máquinas abiertas o autoventiladas, el fluido final es también el fluido primario).

1.4 CONDICIONES DE OPERACION.

Si la especificación particular no indica otra cosa, las máquinas deberán ser diseñadas para las siguientes condiciones.

1.4.1 Altitud.

La altitud a la cual se instalarán las máquinas, normalmente no supera los 1000 m sobre el nivel del mar.

1.4.2 Temperatura ambiente y del fluido de refrigeración.

La temperatura del aire en el lugar de funcionamiento de la máquina (fluido primario o secundario según sea el tipo de refrigeración) está sujeta a las variaciones estacionales, las normas fijan que no debe exceder 40 °C.

1.5 SOBREELEVACION DE TEMPERATURA.

Las máquinas eléctricas, prescindiendo de otros fenómenos, pueden suministrar una carga (energía eléctrica o mecánica) de modo tal que, en función de la temperatura ambiente, no superen la temperatura de la clase correspondiente a los materiales aislantes utilizados en su construcción.

1.5.1 Determinación de la sobreelevación de temperatura.

Los métodos de medida admitidos por las normas para determinar la sobreelevación de temperatura tanto de los arrollamientos como de otras partes de las máquinas son:

- a) Método de variación de resistencia con el cual se determina el valor medio de temperatura de los arrollamientos.
- b) Método por indicadores internos de temperatura (IIT) (por ejemplo: termómetros a resistencia, pares termoeléctricos etc.) que se introducen en la máquina durante su construcción, en lugares que son inaccesibles cuando la máquina está terminada.
- c) Método por termómetro que incluye los elementos arriba indicados pero puestos en puntos accesibles.
- d) Método por superposición que consiste en medir la resistencia de los devanados conforme al método, pero sin interrumpir la corriente de alterna de la carga, superponiendo una pequeña corriente continua de medida.

1.5.2 Límites de temperaturas y sobre elevaciones de temperatura.

Para máquinas refrigeradas indirectamente por aire, funcionando a la potencia nominal y a la altura y temperatura máxima del aire especificadas (1000 m sobre el nivel del mar y 40 °C), las normas fijan los límites admisibles de sobreelevación de temperatura por encima de la temperatura ambiente del lugar de funcionamiento.

- a) Cada 1000 V (o fracción) por encima de 11000 V y hasta 17000 V incluido: 1.5 °C en el caso de realizarse las medidas con termómetro, 1 °C cuando las medidas se realizan con indicadores internos de temperatura.
- b) Cada 1000 V (o fracción) por encima de 17000 V, una reducción suplementaria de 0.5 °C tanto para las mediciones realizadas con termómetro como con indicadores internos de temperatura.

Los límites de temperatura especificados por las normas para arrollamientos estáticos con tensión nominal que excede los 11000 V, de máquinas refrigeradas indirectamente con hidrógeno deberán reducirse en las siguientes cantidades:

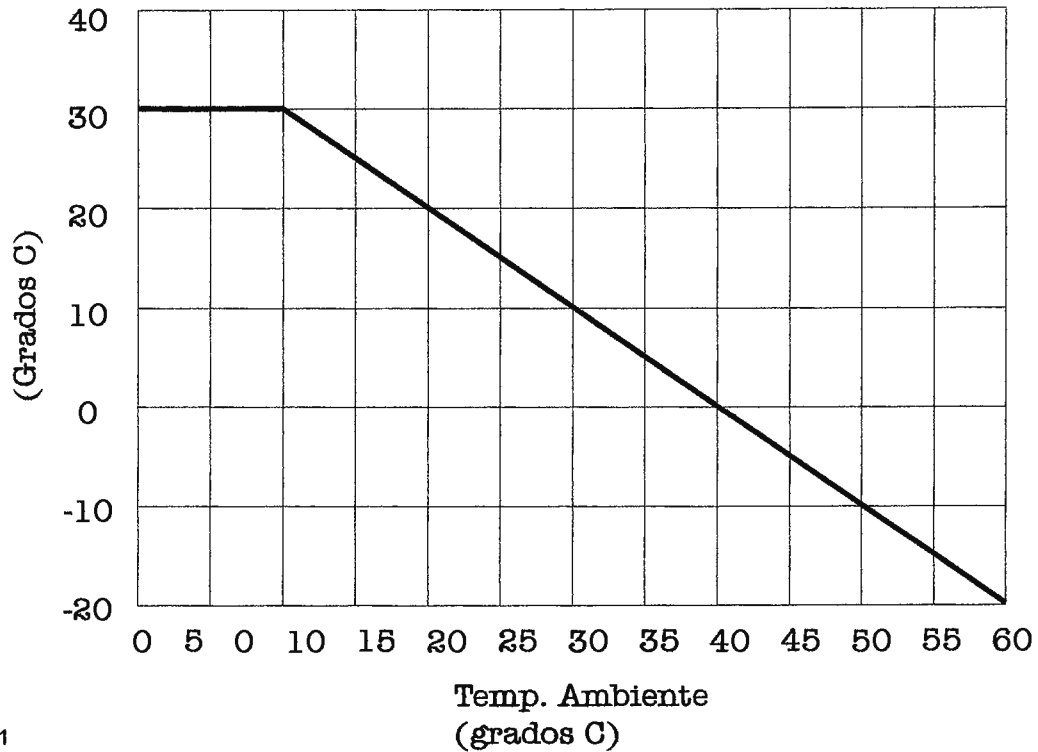
- 1°C cada 1000 V (o fracción) por encima de 11000 V hasta 17000 V inclusive.
- Además 0.5 °C por cada 1000 V (o fracción) por encima de 17000 V.

Si se varían las condiciones de funcionamiento especificadas, es decir, la altitud y/o la temperatura ambiente máxima (1000 m sobre el nivel del mar y 40 °C) se deben corregir los límites de sobreelevación de temperatura de las máquinas refrigeradas indirectamente con aire.

1.5.3 Corrección por temperatura

Si la temperatura máxima especificada o resultante del fluido de refrigeración está comprendida entre 0 °C y 40 °C, los límites son los indicados por las normas; sin embargo mediante acuerdo entre fabricante y comprador se pueden incrementar, pero la diferencia entre la temperatura máxima del ambiente y 40 °C no debe superar 30 °C como indica la Figura 1.1

Figura 1.1
CORRECCION EN FUNCION DE LA TEMPERATURA
AMBIENTE MAXIMA



1

Esto equivale como resulta lógico, a mantener los límites de temperatura máxima de las distintas partes independiente de la temperatura ambiente.

1.5.4 Corrección por altura

Para máquinas destinadas a funcionar por encima de los 1000 m sobre el nivel del mar se puede tener en cuenta la reducción de temperatura ambiente que generalmente se presenta a causa de la altura, pero también debe tenerse presente la variación de la densidad del aire.

Si la máquina está destinada a funcionar a una altitud comprendida entre 1000 m y 4000 m, y la temperatura máxima del fluido de refrigeración no ha

¹ Calculo y diseño de máquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Ríaldí

siendo especificada, la norma la fija en los valores incluidos en la tabla 1.1 para las distintas clases de aislamiento.

Estos valores surgen admitiendo que la reducción necesaria de la temperatura ambiente es 1% de los límites de sobreelevación fijados por las normas para máquinas refrigeradas con aire, por cada 100 m de altitud por encima de 1000 m, tomando como base la temperatura máxima de 40 °C.

TABLA 1.1 - Temperaturas ambientes máximas presumibles.

| ALTURA | TEMPERATURA (°C) | | | | |
|--------|--------------------|----|----|----|----|
| | CLASE DE AISLACION | | | | |
| | A | E | B | F | H |
| 1000 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 2000 | 34 | 33 | 32 | 30 | 28 |
| 3000 | 28 | 26 | 24 | 19 | 15 |
| 4000 | 22 | 19 | 16 | 9 | 3 |

Se considera que la reducción de capacidad de refrigeración por disminución de la densidad del aire, se compensa con la reducción de temperatura ambiente indicada.

De todos modos las temperaturas totales admisibles no deben superar la temperatura máxima que las normas indican, que se obtienen sumando a los 40 °C correspondientes al ambiente la sobreelevación fijada por las normas.

1.6 CARCAZA DE LAS MAQUINAS ROTATIVAS.

La carcasa tiene por función proteger la parte activa de la máquina contra la penetración de cuerpos sólidos (de distintos tamaños) y/o de líquidos.

Esta estructura metálica además sirve como elemento estructural y para guiar el fluido refrigerante.

Los símbolos utilizados para indicar el grado de protección están constituidos por las letras **IP** seguidos por dos cifras características.

La primera cifra designa el grado de protección previsto para la envoltura, tanto en lo que concierne a las personas (manos, dedos) como a las partes de la máquina interiores a la misma.

Las normas indican los objetos que, para cada grado de protección representado por la primera cifra característica, no pueden penetrar en el interior de la máquina.

Esta primera cifra va desde 0 máquina no protegida hasta 5 máquina protegida contra la penetración de polvo.

En máquinas con ventiladores externos, las palas y rayos de estos deben estar protegidos contra contactos por medio de dispositivos que deben satisfacer ensayos prescritos por las normas.

La segunda cifra característica indica el grado de protección provisto por la envoltura contra los efectos debidos a la penetración de agua.

Esta segunda cifra va desde 0 máquina no protegida hasta 8 máquina protegida contra la inmersión prolongada. Para este último caso, esto significa normalmente que la máquina es rigurosamente estanca, pero para ciertos tipos de máquinas (bombas sumergibles) puede significar que el agua puede penetrar con la única limitación de no producir efectos perjudiciales.

Para cada grado de protección representado por esta segunda cifra característica las normas indican los detalles de los tipos de protección provistos para las envolturas.

Una máquina está protegida contra la intemperie cuando, gracias a las características de diseño, la penetración de la lluvia, de la nieve y de las partículas en suspensión en el aire, en las condiciones especificadas, está reducida a un valor compatible con el funcionamiento correcto de la máquina.

Este grado de protección está caracterizado por la letra **W**, ubicada entre **IP** y las cifras características.

Una envoltura que satisface un grado de protección dado implica que la misma satisface también los grados de protección inferiores establecidos por las normas. Los ensayos para verificar esta condición no se realizan, salvo en caso de duda.

Si la envoltura tiene agujeros de drenaje, se deben aplicar las siguientes prescripciones:

- Los agujeros de drenaje destinados normalmente a estar abiertos deberán permanecer abiertos durante los ensayos,
- Análogamente aquellos que están destinados a estar cerrados deberán permanecer cerrados durante los ensayos.

Cuando interesa sólo un grado de protección la cifra omitida (que caracterizaría el grado de protección que no interesa) debe reemplazarse por la letra **X**.

Ejemplos:

IPX5: el agua arrojada con una boquilla en cualquier dirección sobre la máquina no debe producir efectos perjudiciales, no interesando en este caso la protección contra penetración de objetos.

IP2X: protegido contra el contacto de dedos u objetos similares que no superen 80 mm de longitud con partes bajo tensión o de piezas en movimiento en el interior de la envoltura, y la penetración de cuerpos sólidos de diámetro superior a 12 mm, no interesando la protección contra líquidos.

Cuando es necesario dar información complementaria respecto del estado de funcionamiento de la máquina en relación con el grado de protección, esto se indica por medio de una letra adicional.

A continuación de las dos cifras características puede colocarse una letra que indica que la protección contra los efectos perjudiciales debidos a la penetración de agua debe verificarse o ensayarse con la máquina detenida (letra **S**) o con la máquina en marcha (letra **M**).

En estos casos, el grado de protección en cada estado de la máquina debe ser indicado, por ejemplo **IP55S/IP20M**.

La ausencia de las letras **S** y **M** significa que el grado de protección asegurado es válido para todas las condiciones normales de utilización.

1.7 NORMALIZACION DE LAS DIMENSIONES Y DE LAS POTENCIAS.

Los trabajos de normalización de las dimensiones comenzaron en la década del cincuenta con el objeto de asegurar la intercambiabilidad de motores fabricados por los constructores de diversos países, haciendo sólo referencia a las dimensiones sin tener en cuenta la potencia.

Esta normalización implica no sólo mayor libertad de acción para el usuario, sino también más seguridad de funcionamiento (confiabilidad) como resultado de la mayor disponibilidad de máquinas de repuesto, si se produjera una avería.

1.8 EL MOTOR ASINCRONICO

1.8.1 GENERALIDADES

1.8.1.1 Definición

El motor asíncrono es una máquina de corriente alterna, sin colector, de la que solamente una parte, el rotor o el estator, está conectada a la red y la otra parte trabaja por inducción siendo la frecuencia de las fuerzas electromotrices inducidas proporcional al resbalamiento.

La elección de un motor de cualquier tipo para una determinada instalación requiere el conocimiento de dos conjuntos de características, las del motor y las de la instalación, algunas necesarias porque están impuestas, y no pueden ser elegidas arbitrariamente, otras en cambio pueden ser seleccionadas entre un conjunto de posibles.

Como orientación para la elección de un motor con relación a las características de la instalación y del motor, se deberán considerar los siguientes aspectos:

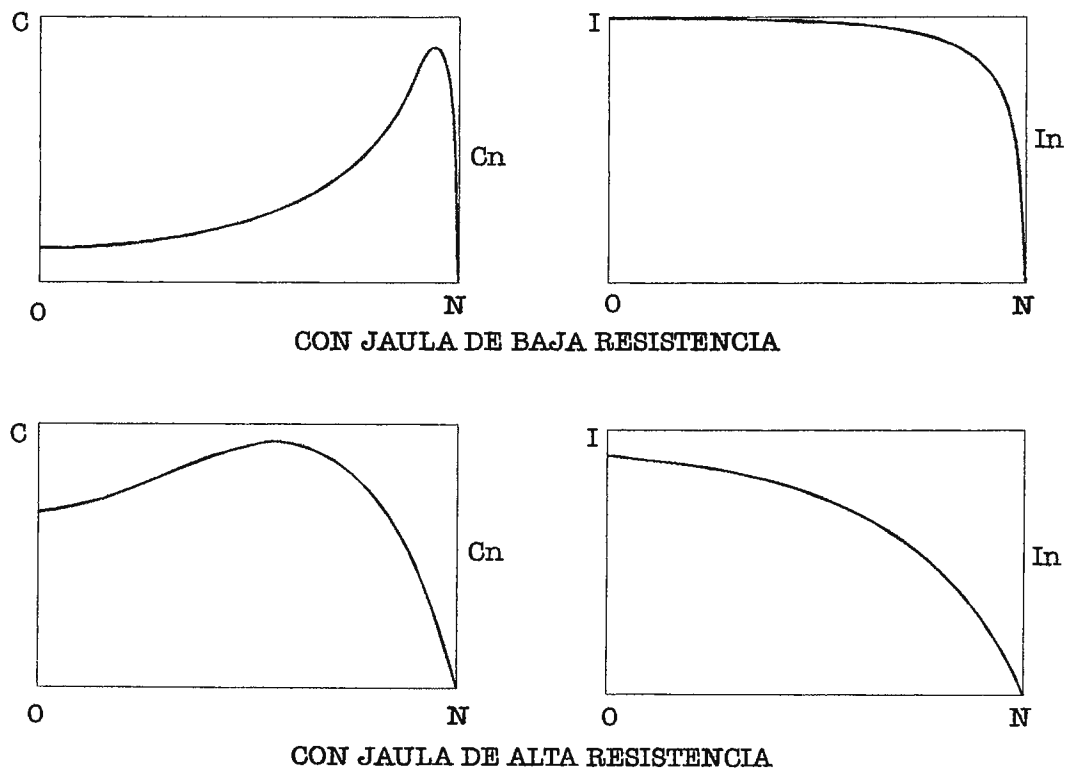
- 1) Condiciones del ambiente y características de ventilación y protección
- 2) Condiciones de acoplamiento y características de transmisión y de la forma constructiva
- 3) Condiciones de alimentación, de arranque, y conexión del arrollamiento
- 4) Condiciones de servicio y características electromecánicas diversas, siendo de fundamental importancia las siguientes:
 - Polaridad (definida por la frecuencia y la velocidad) pudiendo clasificarse en motores de polaridad simple y motores de polaridad múltiple (velocidad única o varias velocidades).
 - tipo de rotor (definido por las condiciones requeridas durante el arranque) que puede ser en cortocircuito (motores de jaula simple, profunda o de doble jaula) o de rotor bobinado.

5) Condiciones de orden económico (costo), características de rendimiento (gastos de funcionamiento), seguridad (de la cual dependen los daños económicos como consecuencia de la salida de servicio de la instalación) y durabilidad (de la cual depende la frecuencia con que se repiten los gastos de mantenimiento).

Estas condiciones se deben relacionarse con otras correspondientes a la instalación y deben ser referidas no solamente al motor sino al conjunto constituido por el motor, los aparatos de maniobra, protección, control y la máquina accionada.

Los motores pueden ser de jaula simple, profunda, doble, o de rotor bobinado, los primeros en general se prefieren por razones de simplicidad, solidez y costo.

Los motores de jaula simple se pueden clasificar en motores de jaula de baja resistencia y motores de jaula de alta resistencia.



La Figura 2.1 muestra los diagramas característicos de par y de corriente en función de la velocidad con tensión nominal, para motores asíncronos (Cn, In son el par y corriente correspondientes a la carga nominal).

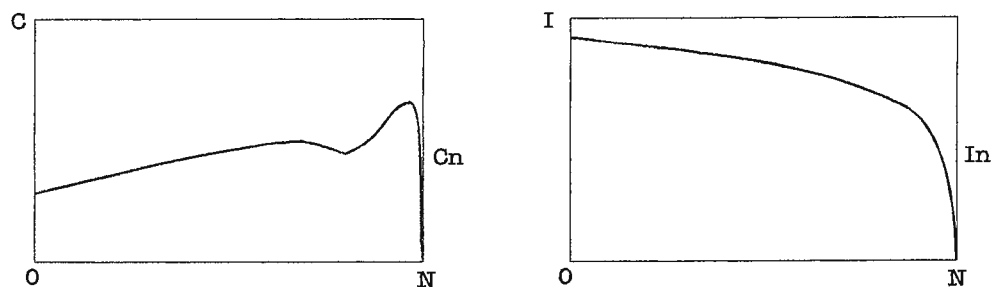
Los motores con jaula de baja resistencia tienen respecto a los motores con jaula de alta resistencia corrientes de arranque más elevadas y

resbalamientos más bajos (en condiciones de marcha) y presentan una característica de par en función de la velocidad con el valor máximo cercano a la velocidad síncrona, mientras que en los motores con jaula de alta resistencia el par máximo se encuentra cercano al arranque.

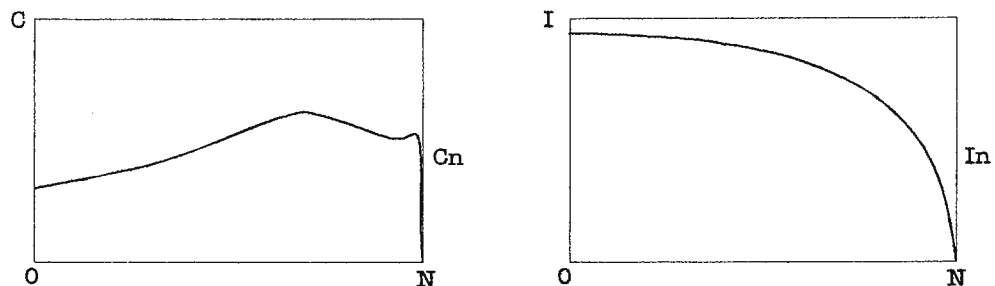
Los primeros (de baja resistencia) se comportan bien para funcionamiento en servicio continuo con un número de arranques y frenados limitado y con arranques de breve duración, mientras que los segundos (de alta resistencia) son adecuados para funcionar en servicio intermitente con un número de arranques y frenados elevado o con arranques de larga duración.

En los motores de doble jaula se pueden obtener conjuntamente ambas ventajas, la jaula externa (de alta resistencia y baja reactancia) actúa preponderantemente durante el arranque, y la jaula interna (de baja resistencia y alta reactancia) a la velocidad nominal.

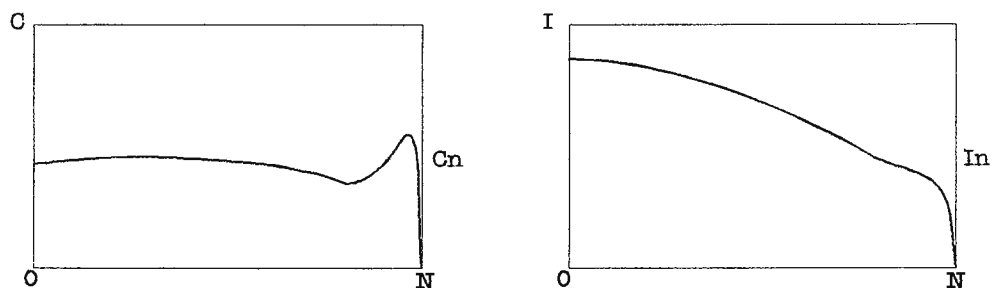
Además las características de par en función de la velocidad de estos últimos motores presentan un comportamiento distinto en función de las relaciones entre las resistencias y las reactancias de las respectivas jaulas.



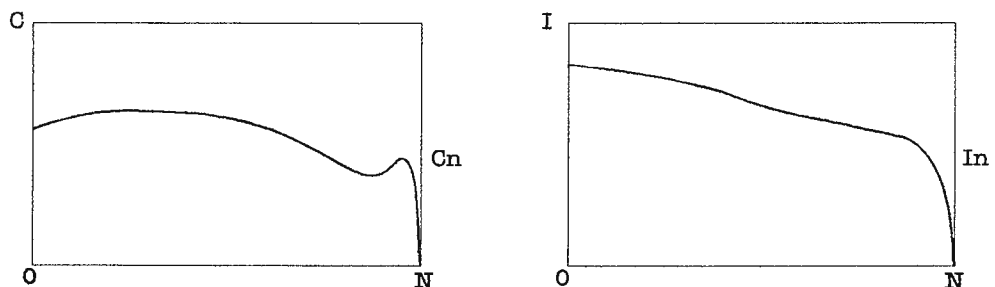
Con jaula externa de baja resistencia y jaula interna de baja resistencia



Con jaula externa de baja resistencia y jaula interna de alta resistencia



Con jaula externa de alta resistencia y jaula interna de baja resistencia



Con jaula externa de alta resistencia y jaula interna de alta resistencia

La Figura 2.2² muestra los diagramas característicos de par y corriente en función de la velocidad con tensión nominal, para motores que presentan

² Calculo y diseño de maquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

distintas relaciones de resistencia y reactancia, esta posibilidad permite adaptar de modo satisfactorio la curva par en función de la velocidad del motor a la correspondiente característica de par requerida por la máquina acoplada.

1.8.2 CARACTERISTICAS NOMINALES.

1.8.2.1 Potencia nominal

Es la potencia mecánica disponible en el eje y debe ser expresada en W (o kW).

Las potencias indicadas por los fabricantes en los catálogos, normalmente salvo indicación contraria, están dadas para el tipo de servicio continuo.

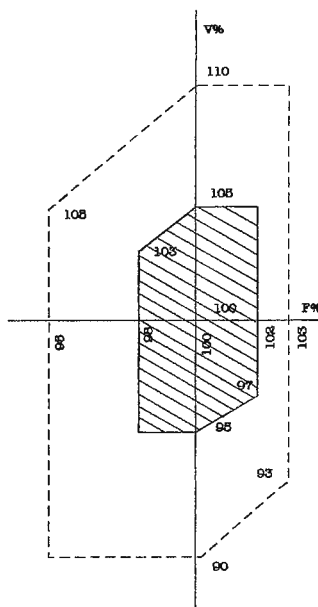
1.8.2.2 Tensión y frecuencia nominales

Son respectivamente la tensión y frecuencia nominales en los bornes de línea de la máquina.

Si la tensión de alimentación del motor se aparta del valor nominal, para una carga constante, el par de arranque y el par máximo del motor varían aproximadamente con el cuadrado de la tensión, afectando en consecuencia la velocidad, el rendimiento y el factor de potencia.

Las variaciones de tensión afectan la sobreelevación de temperatura de los arrollamientos del motor, observándose que para una tensión menor a la nominal la sobreelevación de temperatura aumenta tanto para máquinas pequeñas como grandes (1,1 a 26 kW); si la tensión es mayor que la nominal la sobreelevación de temperatura decrece ligeramente para máquinas grandes (26 kW), pero en cambio aumenta notablemente para máquinas pequeñas (1,1 kW).

Las normas establecen para los motores de corriente alterna que deben poder suministrar su par nominal, para tensiones y frecuencias que se aparten de la tensión y de la frecuencia normales en los valores que se indican en la Figura 2.3



Los motores de corriente alterna deben ser adecuados para funcionar con una tensión de alimentación que tenga un cierto grado de deformación .

Los demás motores de corriente alterna trifásicos (incluidos los motores sincrónicos) como así también los motores de corriente alterna monofásicos deben ser adecuados para funcionar conectados a una red que tenga un FAT no superior a 0.02 a menos que el constructor indique lo contrario.

El factor armónico telefónico se calcula del siguiente modo:

$$FAT = \sqrt{\sum \frac{U_n^2}{n}}$$

donde:

Un: valor en por unidad de las armónicas de tensión.

n: orden de las armónicas (no divisibles por 3 en el caso de motores trifásicos). Normalmente se consideran las armónicas hasta la de orden 13.

Se supone además que las tensiones de alimentación forman un sistema prácticamente simétrico.

Un sistema de tensiones polifásico se lo puede considerar prácticamente simétrico cuando la componente inversa de tensión no supera el 1% de la componente directa de tensión durante un largo período, o bien 1.5% durante un corto período que no exceda algunos minutos, y si la componente homopolar del sistema de tensiones no excede 1% de la componente directa.

1.8.2.3 Par de arranque

Es el par mínimo medido que desarrolla el motor alimentado con la tensión y la frecuencia nominal cuando su rotor se mantiene bloqueado (en distintas posiciones para tener en cuenta la influencia de la posición relativa de las ranuras del estator y del rotor).

1.8.2.4 Corriente de arranque

Es el valor eficaz de la corriente absorbida por el motor, medida en régimen estacionario, cuando se lo alimenta con la tensión y la frecuencia nominales estando su rotor bloqueado.

1.8.2.5 Par mínimo de aceleración

Es el menor par que desarrolla el motor cuando está alimentado con la tensión y la frecuencia nominales, desde el arranque hasta alcanzar el par máximo.

1.8.2.6 Par máximo

Es el mayor par que desarrolla el motor estando a su temperatura de funcionamiento, con la tensión y la frecuencia nominales, sin que se experimente una brusca caída de velocidad.

Esta definición de par máximo se aplica también a la característica usual de par medio que excluye los efectos transitorios.

Las definiciones de par mínimo y máximo no son aplicables a aquellos motores asíncronos donde el par disminuye continuamente a medida que aumenta la velocidad.

1.8.3 EXCESO MOMENTANEO DE PAR DE MOTORES.

Es aplicable a los motores de inducción polifásicos excluyendo aquellos para aplicaciones particulares que exigen un par elevado (como por ejemplo

aparatos elevadores) y que son objeto de acuerdo entre constructor y comprador.

Para cualquier servicio y ejecución, los motores deben ser capaces de soportar durante 15 s, sin detenerse ni experimentar cambios bruscos de velocidad (bajo un aumento gradual del par) un exceso de par del 60% de su valor nominal, es decir deben tener una adecuada capacidad de sobrecarga.

Para motores con rotor jaula diseñados para que la corriente de arranque sea inferior a 4,5 veces la corriente nominal, el exceso de par debe ser al menos el 50% del valor nominal.

1.8.4 PAR MINIMO DE ACELERACION.

El par mínimo de aceleración a tensión plena de motores de jaula deberá ser por lo menos ser igual a los siguientes valores:

Motores trifásicos de una sola velocidad

- a) De potencia inferior a 100 kW: 0.5 el par nominal y 0.5 el par de arranque.
- b) De potencia igual o superior a 100 kW 0.3 el par nominal y 0.5 el par de arranque.

Motores monofásicos y motores trifásicos de varias velocidades 0.3 el par nominal.

1.8.5 TOLERANCIAS.

En la Tabla 2.1 se indican las tolerancias fijadas por las normas que corresponden para cada una de las magnitudes de las características nominales que son objeto de garantías por parte del fabricante y que se comprueban durante la recepción de la máquina.

TABLA 2.1 - Tolerancias de distintas magnitudes

| MAGNITUD | TOLERANCIA |
|---|---|
| Factor de potencia para máquinas de Inducción | - 1/6 de $(1-\cos\phi)$ con un mínimo de 0.02 y un máximo de 0.07 |
| Resbalamiento de motores de inducción | |

| | |
|---|--|
| (a plena carga y a la temperatura de funcionamiento: máquinas de potencia \geq a 1 kW (kVA) máquinas de potencia $<$ a 1 kW (kVA) | $\pm 20\%$ del resbalamiento garantizado $\pm 30\%$ del resbalamiento garantizado |
| Par de arranque de motores a inducción | - 15% + 25% del valor de par garantizado (+ 25% puede ser superado mediante acuerdo) |
| Par mínimo de aceleración de motores a inducción | - 15% del valor de par garantizado |
| Par máximo de motores a inducción | - 10% del valor de par garantizado excepto que después de aplicada esta tolerancia el par resulte \geq a 1.6 ó 1.5 veces el par nominal (según corresponda) como exceso de par momentáneo |

1.8.6 DETERMINACION DE LA SOBREELEVACION DE TEMPERATURA.

Son aplicables los métodos de medición ya descritos en el párrafo de máquinas rotantes.

Si se utiliza el método de medición de temperatura por variación de resistencia las normas indican, en función de la potencia de la máquina, el lapso dentro del cual se debe realizar la medición sin necesidad de extrapolar el valor medido al instante de interrupción de la alimentación del motor.

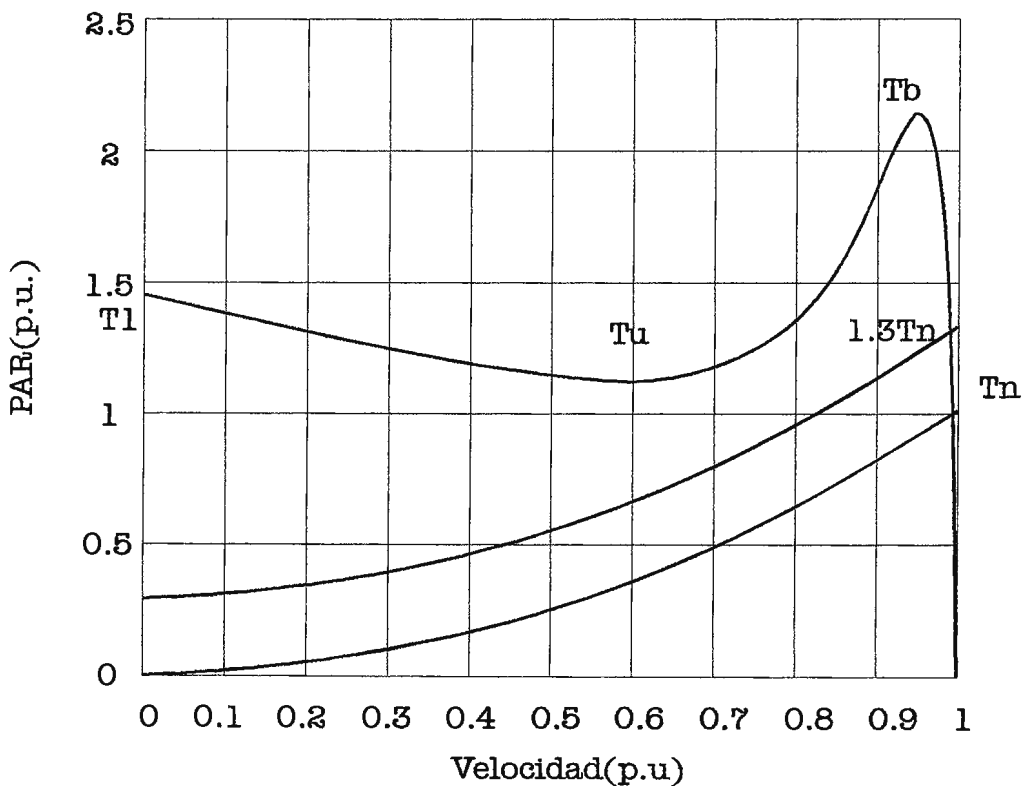
1.8.7 CARACTERISTICAS Y REQUERIMIENTOS DE ARRANQUE

La publicación IEC 34-12 establece la característica de arranque de motores trifásicos normales con rotor jaula, denominados diseño N (par normal), de simple polaridad (con una única velocidad), con tensión nominal menor o igual a 660 V y con una potencia nominal desde 0.4 a 630 kW.

Esta publicación también establece los correspondientes datos para motores de par elevado, diseño H, con potencia nominal hasta 160 kW, se consideran además los diseños NY y HY que cumpliendo las mismas condiciones que los anteriores, son aptos para arranque en estrella-triángulo.

Se considera que el par antagónico durante la aceleración no excede un par que es proporcional al cuadrado de la velocidad y que para la velocidad nominal es igual al par nominal del motor.

CARACTERISTICA DE ARRANQUE DE UN MOTOR DISEÑO "N"



La Figura 2.4³ muestra la característica de arranque de un motor (diseño tipo N) donde el par desarrollado en el instante inicial del arranque se indica con T_l , el par mínimo de aceleración con T_u y el par máximo con T_b , cada uno expresado en por unidad del valor del par nominal T_N , y deben estar de acuerdo con los valores fijados en la norma.

³ Cálculo y diseño de máquinas eléctricas. Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

Se observa en esta figura como varía el par durante el proceso de arranque, comienza con el valor correspondiente a rotor bloqueado (Tl), pasa por el valor mínimo que se puede presentar durante el arranque (Tu) y finalmente alcanza el máximo (Tb), después de lo cual se establece la condición de equilibrio entre el par desarrollado y el resistente que corresponde a su velocidad nominal. En algunos casos particulares pueden coincidir los valores de Tl y Tb.

Para representar de algún modo el par resistente de la máquina accionada se puede construir una característica parabólica (de la velocidad), que pasa por el origen (par y velocidad nulos) y por el punto de funcionamiento nominal de la máquina.

El par durante todo el proceso de arranque debe ser al menos 1.3 veces el par nominal según se indica en la figura 2.4

El factor 1.3 ha sido elegido teniéndose en cuenta también la caída de tensión (de hasta un 10%) que se produce en bornes del motor durante el período de aceleración.

La norma establece valores mínimos de par de arranque, y del par mínimo y máximo durante la aceleración, todos estos datos para distintos rangos de potencia se refieren al par nominal y para motores de 2, 4, 6 y 8 polos, la siguiente tabla muestra a modo de ejemplo valores típicos.

TABLA 2.2 - Pares característicos de motores tipo "N"

| Rango de potencia (Kw) | NUMERO DE POLOS | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|------|-----|
| | 2 | | | 4 | | | 6 | | | 8 | | |
| | T1 | Tu | Tb | T1 | Tu | Tb | T1 | Tu | Tb | T1 | Tu | Tb |
| mayor 0.4 ≤ 0.63 | 1.9 | 1.3 | 2.0 | 2.0 | 1.4 | 2.0 | 1.7 | 1.2 | 1.7 | 1.5 | 1.1 | 1.6 |
| mayor 10 ≤ 16 | 1.4 | 1.0 | 2.0 | 1.5 | 1.1 | 2.0 | 1.4 | 1.0 | 1.8 | 1.2 | 0.9 | 1.7 |
| mayor 400 ≤ 630 | 0.65 | 0.5 | 1.6 | 0.65 | 0.5 | 1.6 | 0.65 | 0.5 | 1.6 | 0.65 | 0.55 | 1.6 |

1.8.8 INSTALACION Y MANTENIMIENTO

En los motores se utilizan cojinetes de rozamiento o de rodamiento, en los más pequeños (potencia fraccionaria) generalmente se utilizan cojinetes autolubricados, en máquinas muy grandes o por razones especiales se utilizan cojinetes con lubricación asistida.

Para las series industriales se utilizan frecuentemente rodamientos adecuados a los distintos tipos de sollicitaciones que imponen las cargas (axiales, radiales).

Las fallas más comunes de los motores eléctricos se producen en los rodamientos, debido a distintas causas como por ejemplo un inadecuado alineamiento del motor con la máquina impulsada, acoplamientos no balanceados, vibraciones o fundaciones débiles.

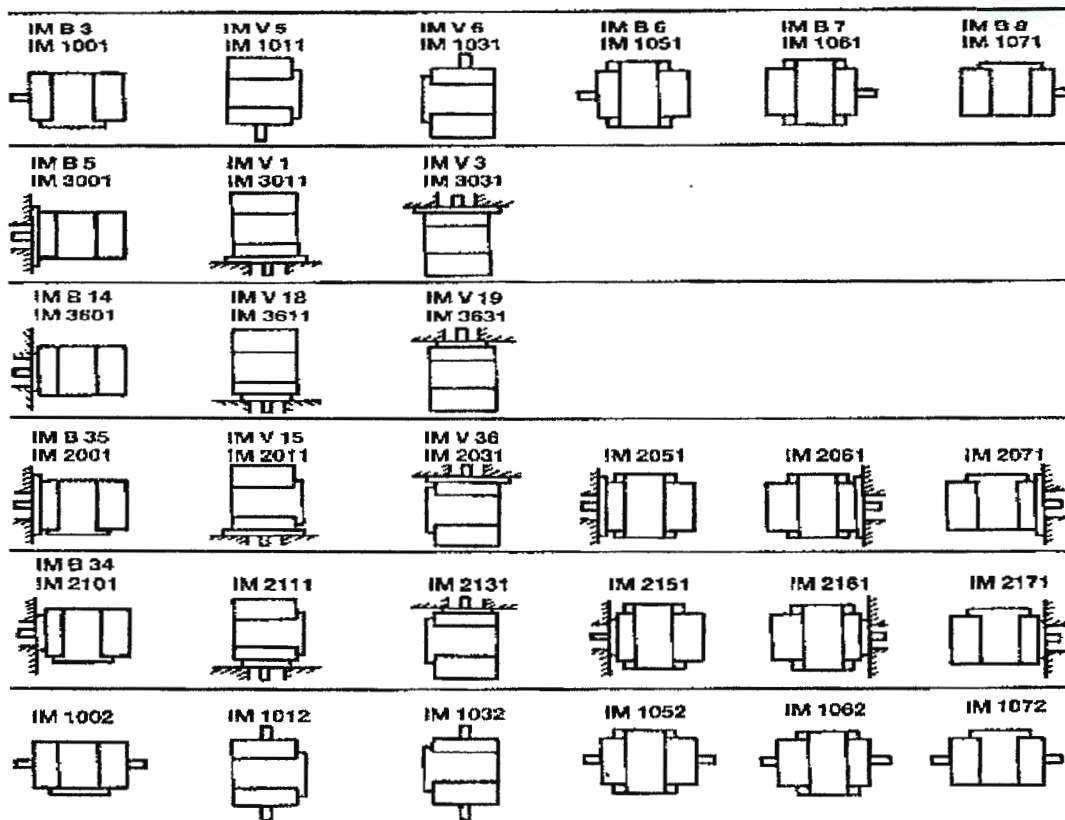
Situaciones de este tipo producen fuerzas oscilatorias que se propagan a través del eje haciendo que la pista externa del rodamiento comience a girar en su asiento provocando la falla del mismo.

Una tensión excesiva de las correas puede dañar los rodamientos y eventualmente provocar la fatiga del eje, como así también no respetar las instrucciones de lubricación y mantenimiento produce un desgaste excesivo de los rodamientos (sobreelevación de temperatura por mala lubricación) que en máquinas de entrehierro muy pequeño pueden ocasionar el roce del rotor con el estator.

Las técnicas actuales de medición permiten medir las vibraciones de una máquina, previniendo el desgaste prematuro de los rodamientos, con lo cual se tiene una mejor utilización de los mismos alargando también los períodos de mantenimiento.

1.8.9 TIPOS DE CONSTRUCCION Y MONTAJE.

Las normas indican la forma constructiva y la disposición de montaje de las máquinas eléctricas rotantes mediante un código.



La Figura 2.5⁴ muestra las disposiciones de montaje más comunes, indicándose en cada caso los dos modos de designación actualmente utilizados por las normas.

El código ubicado en la parte superior de la figura utilizado en el pasado, se refiere solamente a motores con escudos porta cojinetes y un solo extremo de eje accesible.

El código que se debe utilizar actualmente es el inferior, está formado por dos letras que corresponden a la designación de "International Mounting" (IM) y cuatro cifras, el primer dígito indica el tipo de construcción, los dos siguientes la disposición de montaje y el último si el eje tiene uno o dos extremos accesibles; por ejemplo IM 1001, significa que se trata de un motor con patas con dos escudos portacojinetes, eje horizontal y un solo extremo de eje accesible.

⁴ Calculo y diseño de maquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

2.0 MAQUINA SINCRONA DE POLOS SALIENTES

2.1 DEFINICION

Esta es una máquina síncrona que funciona como generador, en el se inducen fuerzas electromotrices de frecuencia proporcional a la velocidad, obteniéndose tensiones y corrientes alternas.

Las condiciones normales de servicio ya han sido examinadas en el párrafo dedicado a las máquinas rotantes, y a continuación agregaremos algunos comentarios particulares que corresponden específicamente al alternador.

Es importante destacar que en las notas que siguen se incluyen recomendaciones de las normas que son válidas (como ellas mismas dicen) salvo que se especifique lo contrario.

Aún así es conveniente evitar especificaciones particulares que se apartan de las normas en forma tal que conducen a proyectos especiales, no necesariamente mas confiables, siendo preferible en general adquirir máquinas normalizadas y cuando se presentan condiciones que se apartan de las normas utilizarlas con prestaciones reducidas para tener en cuenta la situación.

2.2 CARACTERISTICAS NOMINALES.

2.2.1 Potencia nominal

Para un generador sincrónico es la potencia eléctrica aparente expresada en VA, complementada con el factor de potencia.

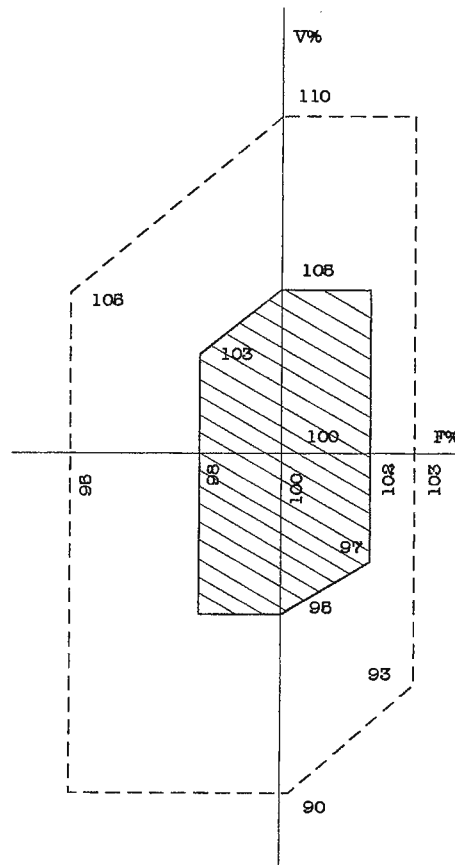
Es válido el criterio de las normas que fijan el factor de potencia para los generadores sincrónicos sobreexcitados en 0.8, lógicamente es importante cuando se especifica la máquina asegurarse de que en funcionamiento normal esta situación es representativa.

2.2.2 Tensión y frecuencia nominales

Son respectivamente la tensión y frecuencia normales en los bornes de línea de la máquina.

Los alternadores deben poder suministrar su potencia aparente (kVA) en bornes, con el factor de potencia nominal cuando el mismo puede ser controlado separadamente, para distintos valores de la tensión y frecuencia que pueden apartarse de sus valores nominales según muestra la

Figura 3.1⁵



Cuando las máquinas funcionan dentro de la zona sombreada deberán ser capaces de entregar en forma permanente, su potencia nominal, pero sin respetar algunas de las restantes garantías (que son aplicables a tensión y frecuencia nominales).

⁵ Calculo y diseño de maquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

Cuando las máquinas funcionan sobre el límite de la zona sombreada se puede aceptar un incremento de 10 °C en los límites de sobreelevación de temperatura que las normas fijan para condiciones normales.

Cuando las máquinas funcionan dentro de la zona delimitada por la línea punteada (y fuera de la zona sombreada), deben ser capaces de entregar la potencia nominal, pero generalmente presentarán una sobreelevación de temperatura muy superior a los límites que fijan las normas.

En consecuencia no es conveniente un funcionamiento prolongado fuera de la zona sombreada indicada en la figura y si esta condición de operación se presenta frecuentemente, será conveniente reducir la carga de la máquina (o al momento de especificarla incrementar su potencia nominal) a fin de que trabajando aliviada desde el punto de vista de los efectos térmicos no se vea afectada su vida útil.

Si una máquina está diseñada para funcionar a más de un valor de tensión nominal, o bien si la tensión nominal puede variar dentro de un cierto rango, los límites de sobreelevación de temperatura establecidos por las normas, se deberán aplicar para todos los valores de tensión.

2.3 FORMA DE ONDA DE LA TENSION.

2.3.1 Condiciones eléctricas

Se supone que el circuito al cual el alternador se conecta no es deformante y es prácticamente simétrico como se define a continuación.

- a) Un circuito puede ser considerado prácticamente como no deformante si, cuando se lo alimenta con una tensión sinusoidal, la corriente es prácticamente sinusoidal, es decir, para la misma fase ninguno de los valores instantáneos difiere del valor instantáneo de la onda fundamental en más del 5% de la amplitud de este último.
- b) Un circuito polifásico se lo considera como prácticamente simétrico si, alimentado por un sistema de tensiones simétrico, está recorrido por un sistema de corrientes prácticamente simétrico, es decir, donde ni la componente inversa, ni la homopolar superan el 5% de la componente directa.

La situación que se presenta cuando se alcanzan los límites definidos en a) y b) simultáneamente con la carga nominal, no debe conducir a temperaturas

perjudiciales en el alternador (en esta condición es conveniente que las sobreelevaciones de temperatura no excedan en 10°C los valores establecidos por las normas).

2.4 CARACTERISTICAS DEL AISLAMIENTO.

2.4.1 Ensayos dieléctricos

Estas pruebas se realizan en las instalaciones del fabricante sobre una máquina nueva y terminada, con todas sus partes ubicadas en condiciones equivalentes a las condiciones normales de funcionamiento.

La tensión de ensayo se debe aplicar entre los arrollamientos sometidos al ensayo y la carcasa de la máquina, a la cual se conectan los circuitos magnéticos y los arrollamientos no sometidos al ensayo.

Cuando se efectúa un ensayo de calentamiento, las pruebas dieléctricas deben ser realizadas inmediatamente después.

En el caso de máquinas polifásicas con tensión nominal superior a 1 kV, donde los dos extremos de cada fase son accesibles individualmente, la tensión de ensayo se deberá aplicar entre cada fase y la carcasa, a la cual se conectan el circuito magnético y los arrollamientos de otras fases no ensayados.

La tensión de ensayo debe ser a frecuencia industrial y de forma prácticamente sinusoidal.

El ensayo debe comenzar con una tensión no superior a la mitad de la tensión de ensayo. La tensión se debe aumentar hasta el pleno valor, de un modo progresivo o bien por escalones que no superen el 5% del valor de la tensión plena y el tiempo para alcanzar este valor no debe ser inferior a 10 s.

La plena tensión de ensayo se mantiene durante 1 min de acuerdo con los valores especificados por las normas.

El ensayo a plena tensión realizado sobre los devanados durante la recepción no debe ser repetido. Si se considera necesario repetirlo (a pedido del comprador), después de un nuevo secado de la máquina, la tensión de ensayo debe ser igual al 80% de la tensión plena.

2.5 VALORES PARA ENSAYOS DIELECTRICOS.

En la Tabla 3.1 se indica la tensión de ensayo que corresponde a los distintos arrollamientos según condiciones de diseño de la máquina.

Tabla 3.1

| PARTE DE LA MAQUINA | TENSION DE ENSAYO (VALOR EFICAZ) |
|---|---|
| Arrollamientos aislados: | |
| potencia inferior a 1 kW o 1 kVA y tensión nominal U menor de 100 V | 500 V + 2× U |
| potencia inferior a 10000 kW o (kVA) | 1000 V + 2× U |
| potencia 10000 kW (o kVA) o mayor y tensión hasta 24000 V | 1000 V + 2× U con un mínimo de 1500 V |
| Arrollamientos de excitación: | Diez veces la tensión nominal de excitación con un mínimo de 1500 V |
| tensión de excitación ≤ 500 V | 4000 V + dos veces la tensión nominal de excitación |

2.6 OTRAS CARACTERISTICAS.

2.6.1 Sobreintensidad ocasional de los alternadores

Los alternadores con potencia nominal inferior o igual a 1200 MVA deben ser capaces de soportar una corriente igual a 1.5 veces la corriente nominal durante por lo menos 30 s.

Los alternadores con potencia nominal superior a 1200 MVA deben ser capaces de soportar una corriente igual a 1.5 veces la corriente nominal durante un tiempo que será objeto de acuerdo entre constructor y cliente, pero que no será inferior a 15 s.

2.6.2 Desequilibrio de corriente de las máquinas síncronas

Las máquinas síncronas trifásicas deben ser capaces de funcionar en forma permanente sobre una red asimétrica de modo tal que, ninguna de las corrientes de las fases exceda la corriente nominal.

Además las normas establecen (ver Tabla 2.2 para máquinas de polos salientes) los valores que no deben superarse de la relación de la componente inversa del sistema de corrientes (I_2) a la corriente nominal (I_n) y los valores del producto $(I_2/I_n)^2$ por el tiempo en segundos (t) que se pueden admitir para un funcionamiento en condiciones de falla.

TABLA 3.2

| TIPO DE MAQUINA | Máximo I_2/I_n | Máximo $t \times (I_2/I_n)^2$ |
|----------------------------|------------------|-------------------------------|
| | Permanente | falla |
| Máquina a polos salientes: | | |
| refrigeración indirecta | 0.08 | 20 |
| refrigeración directa | 0.05 | 15 |

2.7 CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.

El valor de pico de la corriente de cortocircuito, en el caso de un cortocircuito trifásico en funcionamiento a tensión nominal, no debe superar 21 veces el valor eficaz de la corriente nominal.

Esta condición en alguna medida fija un valor mínimo (12 %) de la reactancia subtransitoria.

2.8 SOBREVELOCIDAD.

Todos los alternadores deben ser capaces de soportar al menos una sobrevelocidad igual a 1.2 veces la velocidad nominal por un tiempo de 2 minutos.

Los alternadores accionados mediante turbinas hidráulicas (como también las máquinas auxiliares de cualquier tipo que se encuentran en el mismo eje)

deben soportar la velocidad de embalamiento del grupo, pero al menos 1.2 veces la velocidad nominal.

2.9 PERDIDAS.

La determinación de las pérdidas totales se obtiene como suma de las siguientes pérdidas, que se garantizan por separado.

2.9.1 Pérdidas constantes

- a) Pérdidas en el hierro (paquete magnético) y pérdidas adicionales en otras partes metálicas.
- b) Pérdidas por rozamiento (cojinetes y escobillas). Las pérdidas en los cojinetes comunes deben ser indicadas separadamente aunque los mismos se suministren con la máquina.
- c) Pérdidas por ventilación que incluyen la potencia absorbida por los ventiladores, y eventualmente las máquinas auxiliares que forman parte integral de la máquina.

2.9.2 Pérdidas en carga.

- a) Pérdidas joule en los devanados del inducido.
- b) Pérdidas joule en los devanados de arranque o amortiguadores de las máquinas trifásicas. Debe notarse que las pérdidas en los devanados amortiguadores son particularmente significativas solamente en máquinas monofásicas.

Las pérdidas Joule deben ser referidas a determinadas temperaturas según sea la clase de aislación.

Las temperaturas de referencia para las distintas clases de aislamiento son:

| CLASE | TEMPERATURA (°C) |
|----------|------------------|
| A, E y B | 75 |
| F y H | 115 |

2.9.3 Pérdidas adicionales debidas a la carga

- a) Son las pérdidas que se producen en carga tanto en el paquete magnético, como en otras partes metálicas de la máquina.
- b) Pérdidas por corrientes parásitas en los conductores de los devanados del inducido.

2.9.4 Pérdidas en los circuitos de excitación

- a) Pérdidas joule en los devanados y en los reóstatos de excitación.
- b) Pérdidas totales de la excitatriz mecánica conducida por el eje principal cuando forma parte de la unidad completa, y que se utiliza solamente para excitar la máquina, conjuntamente con las pérdidas en los reóstatos del circuito de excitación, pero con excepción de las pérdidas de rozamiento y ventilación.

2.9.5 Pérdidas de excitación

Las pérdidas de excitación se calculan con la expresión $I^2 R$, teniéndose en cuenta que la resistencia del devanado de excitación corresponde al valor corregido a la temperatura de referencia, y la corriente de excitación corresponde a la condición nominal de funcionamiento.

2.9.6 Pérdidas en las escobillas

Se determinan como el producto de la corriente de excitación nominal por la caída de tensión en escobillas. La caída de tensión admitida para todas las escobillas de cada polaridad será:

- Escobillas de carbón o grafiticas 1.0 V
- Escobillas metalgráficas 0.3 V

es decir una caída total de 2.0 V para las de carbón o grafiticas, y 0.6 para las metalgráficas.

2.10 SISTEMAS DE EXCITACION.

Tienen la función de suministrar la corriente de campo de la máquina, y comprenden todos los elementos de control y de regulación, como así también los dispositivos de protección.

Según como estén realizados estos sistemas se clasifican en la forma que a continuación se indica:

2.10.1 Excitatriz rotante.

Máquina rotante que recibe la potencia mecánica por el eje. Normalmente la excitatriz se encuentra montada en el mismo eje de la máquina síncrona. En algunos casos la excitatriz está impulsada por otra máquina.

2.10.1.1 Excitatriz de corriente continua.

Excitatriz rotativa que utiliza un colector y escobillas para suministrar corriente continua.

2.10.2 Excitatriz de corriente alterna.

Excitatriz rotativa que utiliza rectificadores para suministrar corriente continua. Los rectificadores pueden ser controlados o no.

2.10.2.1 Excitatriz de corriente alterna con rectificadores estáticos.

Es aquella en la cual la salida de los rectificadores se conecta a las escobillas de anillos rozantes del arrollamiento de campo de la máquina síncrona.

2.10.2.2 Excitatriz de corriente alterna con rectificadores giratorios (sin escobillas, "brushless").

Es aquella en la cual los rectificadores giran con el eje común de la excitatriz y de la máquina síncrona, la salida de los rectificadores se conecta directamente, sin anillos ni escobillas, al arrollamiento de campo de la máquina síncrona.

2.10.3 Excitatriz estática.

Excitatriz que suministra su potencia a través de una o más fuentes eléctricas estáticas, utilizando para ello rectificadores fijos para suministrar la corriente continua.

2.10.3.1 Excitatriz estática a fuente de tensión.

Es aquella que recibe su potencia únicamente de una fuente de tensión (que pueden ser los terminales de la máquina síncrona) y utiliza rectificadores controlados.

2.10.3.2 Excitatriz estática compuesta.

Es aquella que recibe su potencia de la combinación de una fuente de corriente y una de tensión (dependiendo de las magnitudes en bornes de la máquina síncrona).

La adición de los aportes puede ser realizada indistintamente por la fuente de corriente alterna o la de continua de los rectificadores, y puede efectuarse en paralelo o en serie. Los rectificadores pueden ser controlados o no dependiendo ello del diseño adoptado.

2.11 TOLERANCIAS DE LAS CARACTERISTICAS NOMINALES.

En la Tabla 3.3⁶ se indican las tolerancias fijadas por las normas que corresponden para cada una de las magnitudes de las características nominales que son objeto de garantías por parte del fabricante y que se comprueban durante la recepción de la máquina.

TABLA 3.3

| MAGNITUD | TOLERANCIA |
|--|----------------------------------|
| Rendimiento determinado por suma de pérdidas: | |
| máquinas de potencia \leq a 50 kW | |
| máquinas de potencia $>$ a 50 kW | - 15% de (1 - rendimiento) |
| Pérdidas totales: | - 10% de (1 - rendimiento) |
| máquinas de potencia $>$ 50 kW | + 10% de las pérdidas totales |
| Valor de pico de la corriente de cortocircuito de un alternador en las condiciones especificadas: | \pm 30% del valor garantizado |
| Corriente de cortocircuito permanente de un al- ternador para una excitación especificada: | \pm 15% del valor garantizado |

⁶ Calculo y diseño de maquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

CAPITULO II

DISEÑO DE MAQUINA ASÍNCRONA

EL MOTOR ASINCRONICO

2.1 CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO

Desde el punto de vista de funcionamiento es útil distinguir entre motores asincrónicos polifásicos y monofásicos.

A partir de mediana potencia resulta solamente posible utilizar motores trifásicos, ello implica además notables ventajas, en particular en lo referente a su comportamiento durante el arranque donde el motor debe desarrollar un par determinado sin superar un valor límite de la corriente de arranque.

2.2 DATOS BASICOS Y ESTIMACIONES

Es necesario definir las características nominales, que son los datos básicos del proyecto:

- Potencia en Kw.
- Tensión de línea en V
- Frecuencia en hz.
- Tipo de conexionado (estrella o triángulo)
- Número de polos
- Factor de potencia
- Rendimiento en por ciento
- Paso de bobinado

Se deben controlar los valores forzándolos eventualmente a que resulten válidos.

Se determina la corriente de línea, de fase, la tensión de fase (teniendo en cuenta el conexionado) y la velocidad sincrónica del motor, luego se requieren más datos:

- Paso polar en mm
- Largo ideal en mm
- Flujo por polo en wb
- Cantidad de ranuras por polo y por fase estatóricas
- Coeficiente de saturación
- Factor de devanado
- Factor de apilado del estator
- Ancho de los canales radiales de ventilación

En función del número de polos y de la potencia se determina el paso polar y el largo ideal utilizando las FIGURA 2.0 Y LA FIGURA 2.1

**PASO POLAR EN FUNCION DE LA POTENCIA
Y DEL NUMERO DE POLOS**

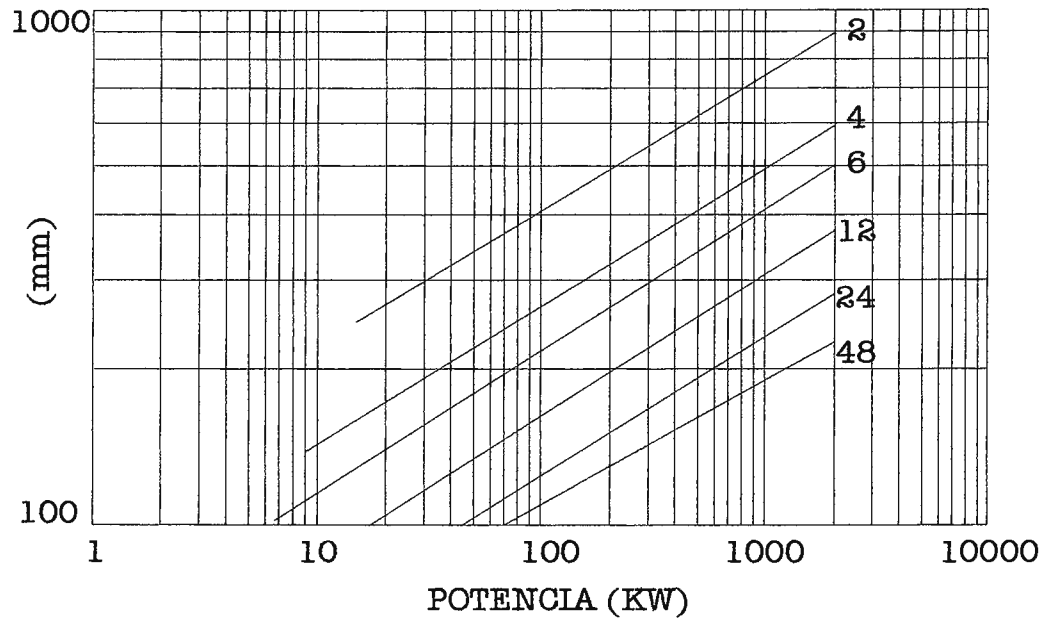


FIGURA 2.0¹

¹ Calculo y diseño de maquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

LARGO IDEAL EN FUNCION DE LA POTENCIA Y DEL NUMERO DE POLOS

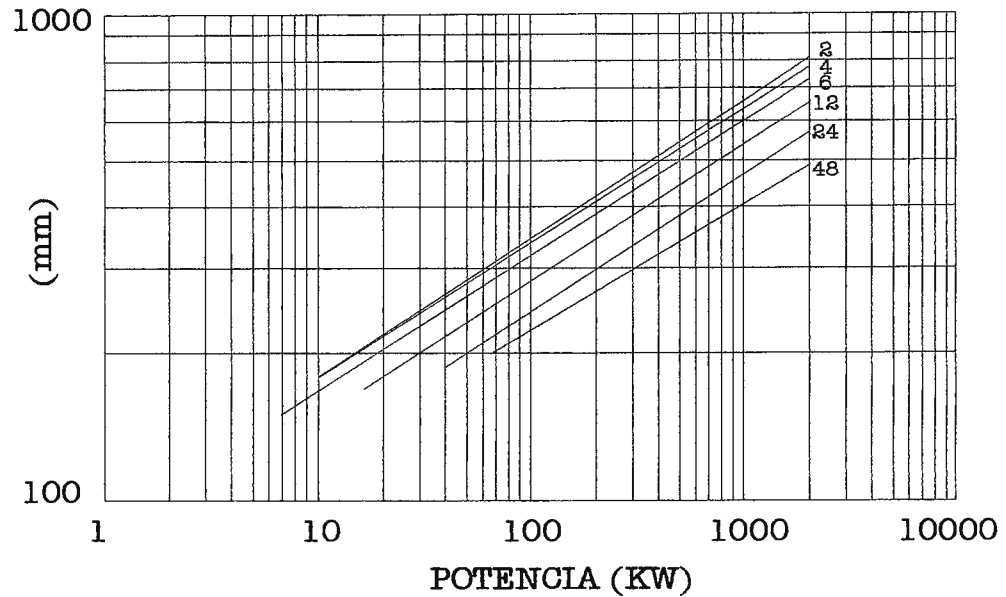


FIGURA 2.1²

2.3 NUMERO DE RANURAS ESTATORICAS.

Para fijar el número de ranuras estatóricas se parte de un número de ranuras por polo y por fase que debe ser adecuado.

Recordemos que para el cálculo del generador resulta conveniente adoptar un número de ranuras por polo y por fase fraccionario, en cambio en el caso del motor se prefiere hacer este valor entero.

Es conveniente realizar los devanados estatóricos cualquiera sea el tipo de rotor, y los devanados rotóricos de los motores asíncronos con rotor de anillos rozantes, con un número de ranuras por polo y por fase entero, porque en caso contrario se pueden presentar fenómenos perturbadores, como por ejemplo ruidos y vibraciones, resultando un funcionamiento irregular de la máquina.

² Cálculo y diseño de máquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

Los ruidos magnéticos son originados por las vibraciones del núcleo de hierro, como consecuencia de las fuerzas pulsatorias de los campos electromagnéticos presentes en el entrehierro, dependiendo estos campos esencialmente del número de ranuras del estator y del rotor, de la geometría de las ranuras, de la carga del motor y de la saturación magnética.

De todos modos en algunos casos particulares pueden encontrarse motores que tienen un número de ranuras por polo y por fase fraccionario, generalmente esto ocurre en máquinas que tienen más de dos velocidades de funcionamiento con devanados múltiples.

NUMERO DE RANURAS POR POLO Y FASE EN FUNCION DE LA POTENCIA Y DEL NUMERO DE POLOS

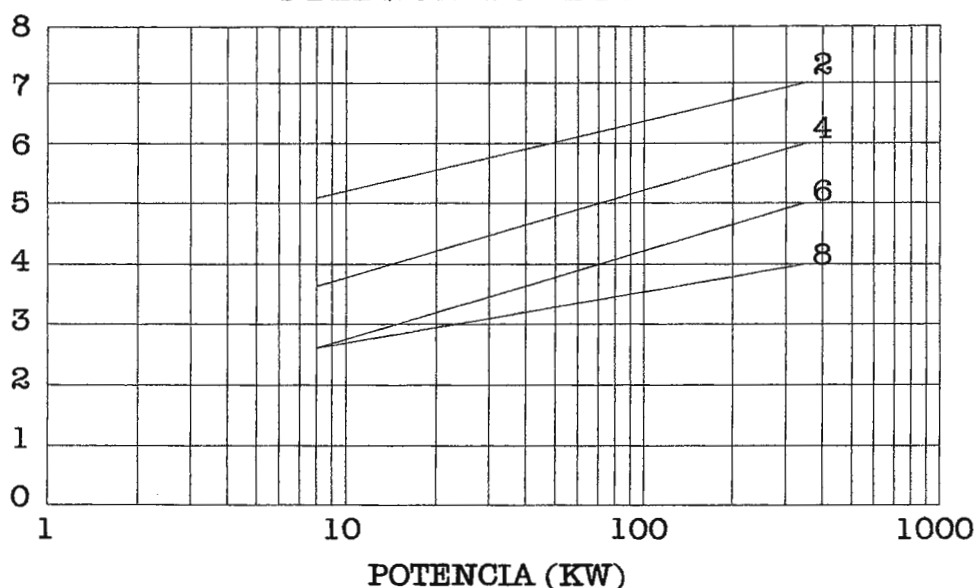


Figura 2.2³

Para cada valor del número de polos y para distintos rangos de potencia, la **Figura 2.2** indica un número de ranuras por polo y por fase entero recomendado, y sobre la base de este valor se determina el número de ranuras por polo y totales del estator.

³ Calculo y diseño de maquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

El número de ranuras por polo y por fase puede ser impuesto, en caso contrario se adopta sobre la base de la **Figura 2.2**.

El valor impuesto puede ser un valor entero o no, pero debe ser un valor válido, es decir que permita realizar el devanado.

Si el valor impuesto es entero, es aceptado, en cambio si no lo es se debe determinar el número de ranuras por polo y por fase equivalentes (que es entero), el número de polos de la unidad de devanado que deben cumplir las mismas condiciones vistas para la máquina sincrónica.

El número de ranuras por fase debe ser entero, se controla este valor, si no es entero se determina un entero por defecto, se incrementa en una unidad y con este último valor se determina un nuevo número de ranuras por polo y por fase.

Este procedimiento si es necesario se repite hasta lograr satisfacer la condición.

El valor eventualmente ajustado de ranuras por polo y por fase se debe expresar como fracción de dos enteros como ya explicado en la máquina sincrónica.

Cabe recordar que el número de polos de la unidad de devanado dividido el número de fases no debe ser entero, si lo fuera se incrementa q en 1 y se recicla.

Finalmente se determinan el número de ranuras por polo y el número de ranuras totales.

2.4 DETERMINACION DEL ENTREHIERRO

Para proseguir el cálculo es necesario un nuevo lote de datos que se indican a continuación:

- Entrehierro en mm
- Caída inductiva estimada en porciento
- Número de vías de corriente
- Densidad de corriente en a/mm^2
- Coeficiente de aprovechamiento en p.u.
- Resistividad del conductor en $ohm\ mm^2/m$
- Peso específico del conductor en kg/dm^3
- Número de vías internas

El entrehierro debe hacerse tan pequeño como sea mecánicamente posible, a fin de mejorar el factor de potencia y reducir las pérdidas adicionales en el hierro, pero teniendo en cuenta que un entrehierro excesivamente reducido aumenta la dispersión de entrehierro, la reactancia, reduce la corriente y el par de arranque, y además puede provocar ruidos de origen magnético.

La siguiente expresión permite orientar en la determinación del entrehierro conveniente en función del diámetro y del número de polos:

$$\tau = \frac{D \times 0.006}{\sqrt{p}} \quad \text{EC.2.0}$$

Es conveniente que el valor de la relación entre el entrehierro y el diámetro del rotor resulte alrededor de 0.001 para que no sea necesaria la construcción de carcazas demasiado robustas, es decir, demasiado pesadas.

Es importante recordar que en las máquinas eléctricas el valor de la flecha del eje no debe superar ciertos límites que pueden originar asimetrías que son causa de vibraciones producidas por fuerzas de naturaleza magnética.

FACTOR DE FORMA

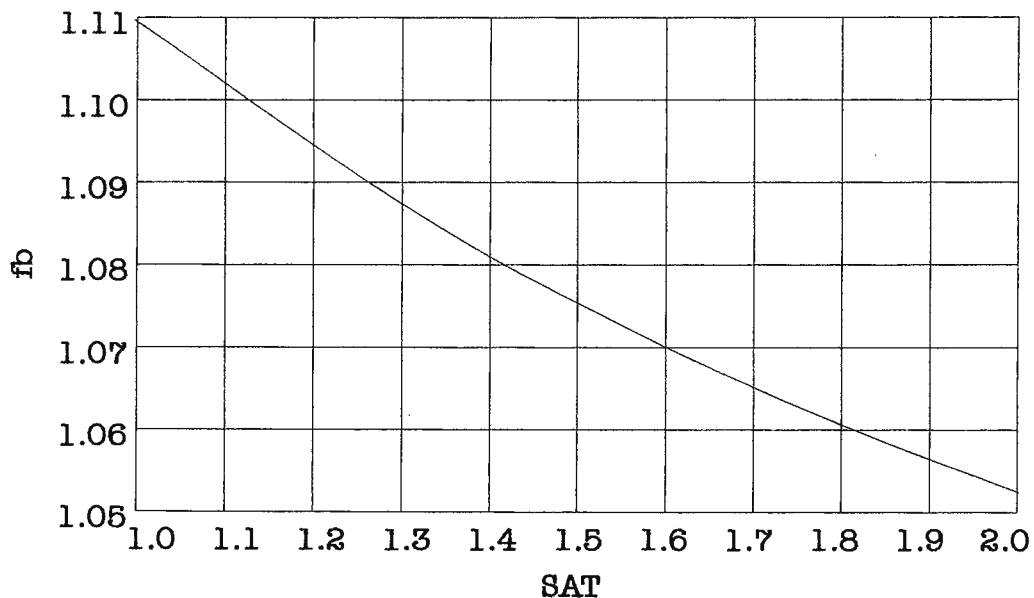


Figura 2.3⁴

⁴ Cálculo y diseño de máquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

INDUCCION MAX/MED FUNCION COEFICIENTE DE SATURACION

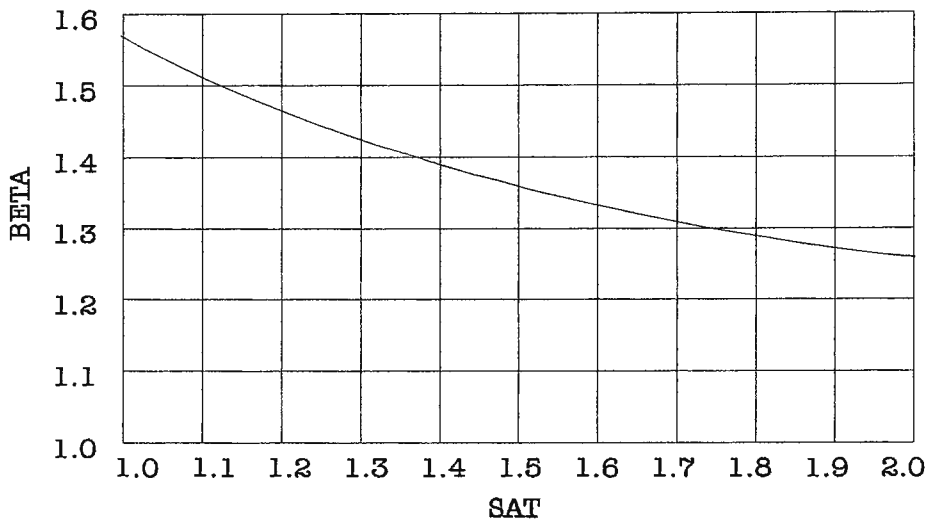


Figura 2.4⁵

De las **Figura 2.3** y **Figura 2.4** se obtiene el factor de forma, y el coeficiente BETA (relación entre el valor máximo y medio de la inducción) ambos en función del coeficiente de saturación adoptado, con el se calcula la inducción máxima en el entrehierro:

$$BEN = BETA * WB / HLI * TAUP \quad EC.2.1$$

2.5 DETERMINACION DEL ARROLLAMIENTO ESTATORICO

Se determina el diámetro del rotor, el número de conductores activos por fase del estator, el número de vías de corriente se fuerza a un valor válido que debe ser divisor del número de polos (en los casos extremos uno o el número de polos).

El número de vías de corriente incide en las dimensiones de los conductores, y en principio es conveniente adoptar el mayor valor posible para reducir la

⁵ Calculo y diseño de maquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

sección de los conductores, facilitando de este modo la construcción de los arrollamientos.

Recordemos que las vías internas de corriente se realizan para subdividir el conductor en varios subconductores de sección equivalente.

Se calcula el número de conductores activos y presentes por ranura. Este último resulta de multiplicar el número de conductores activos por ranura por el número de vías de corriente totales (paralelos externos e internos), este número deberá ser par y como mínimo igual a dos, quedando en consecuencia determinado el número de conductores totales, valor definitivamente adoptado, y el número de conductores presentes.

El paso de devanado puede imponerse, en este caso se controla que sea entero, mayor de 1 y menor o igual al número de ranuras por polo, si esto se satisface se determina el ángulo de acortamiento.

Si en cambio no se impuso el paso, o el valor impuesto no es válido, se determina el ángulo eléctrico de acortamiento del devanado en forma análoga a lo explicado para la máquina síncrona, pero haciendo el mismo lo más próximo a 60 grados si la máquina es de dos polos (para disminuir por un lado la reactancia de dispersión de las cabezas de bobinas y además la cantidad de cobre utilizado), o lo más próximo a 30 en los demás casos.

Se determina el factor de distribución y acortamiento que corresponden a los resultados anteriores, y luego el producto de ambos (factor de devanado) que puede no coincidir con el valor inicialmente adoptado.

Con el número de conductores definitivo y el factor de devanado, se corrigen los valores antes calculados del flujo y de la inducción en el entrehierro.

DENSIDAD LINEAL DE CORRIENTE EN FUNCION DE LA POTENCIA Y POLARIDAD

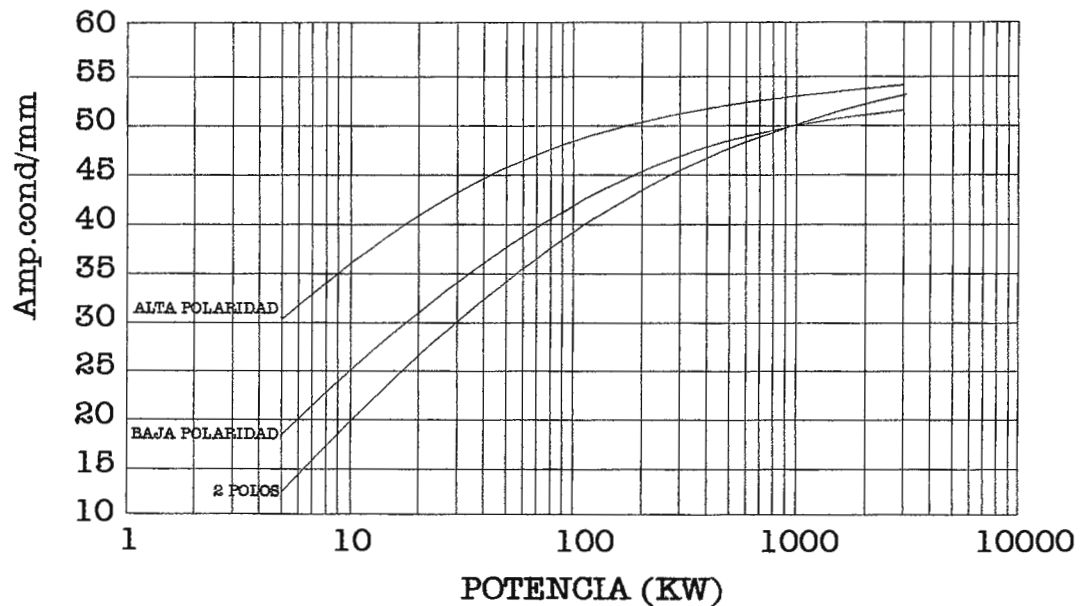


Figura 2.5⁶

Con el número de conductores activos por fase adoptados se determina la densidad lineal de corriente, este valor puede ser comparado con los valores que se indican en la **Figura 2.5** en función de la potencia para máquinas de distinta polaridad, quedando a criterio del proyectista su aceptación.

Dependiendo de las dimensiones y tipo de conductor utilizado se estima un coeficiente de aprovechamiento que sólo debe tener en cuenta el aislamiento entre conductores y entre estratos, que con el avance de los cálculos sucesivos deben ser correctamente ajustado.

Para determinar las dimensiones de la ranura también se tiene en cuenta el aislamiento hacia masa.

2.6 DETERMINACION DE LA RANURA ESTATORICA

Para determinar la ranura estatorica se debe tener en consideración los siguientes aspectos:

- Tipo de ranura

⁶ Calculo y diseño de maquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

- Ancho en la entrada de la ranura
- Ancho de la ranura proyectada en el entrehierro
- Altura en la entrada
- Altura de la cuña (para los tipos 1 y 2) o altura del trapecio donde el ancho de la ranura se reduce al ancho de entrada
- Altura del aislamiento superior
- Espesor del aislamiento
- Inducción en la corona

Todas las dimensiones en mm.

Para el estator de los motores que estamos tratando sólo se utilizan algunos tipos de ranuras, y en consecuencia el programa reconoce los siguientes:

1. Ranura abierta rectangular
2. Ranura semicerrada rectangular
3. Ranura semicerrada trapezoidal
4. Ranura semicerrada trapezoidal con fondo semicircular

Como ya se vio para el alternador la elección del tipo de ranura conveniente es función de la tensión de la máquina y de la potencia, en particular máquinas de alta tensión que requieren bobinados preformados se deben hacer con ranura abierta.

Para proseguir el cálculo deben controlarse las dimensiones adoptadas y determinar las restantes que permiten completar el diseño de la ranura de modo similar a lo realizado para el alternador.

2.7 DETERMINACION DE LAS INDUCCIONES EN EL ESTATOR

Del mismo modo como se procedió para la máquina sincrónica, se determina el ancho del diente a un tercio, la inducción en el diente teniendo en cuenta el factor de apilado, con el valor de la inducción en la corona estática se determina la altura correspondiente, el diámetro externo del paquete, y el peso del mismo.

2.8 DEFINICION TIPO DE ROTOR Y NUMERO DE RANURAS

Los datos que siguen informan características correspondientes al rotor:

- Índice que caracteriza el tipo de rotor

- Número de ranuras totales
- Relación ancho profundidad de la ranura (cuando se trata de ranura profunda)
- Densidad de corriente en los conductores (rotor bobinado) o en la barra (rotor jaula)
- Coeficiente de aprovechamiento
- Resistividad del conductor
- Peso específico del conductor

Se reconocen los siguientes tipos de rotores que se identifican con el índice correspondiente:

1. Bobinado
2. Jaula simple

Si se trata de un motor con rotor bobinado se considera que también éste es trifásico, se determina el número de ranuras rotóricas, adoptando el número de ranuras por polo y por fase igual al correspondiente para el estator más uno.

Para máquinas de potencia no muy grande (diámetro rotórico relativamente pequeño) el número de ranuras por polo y por fase puede ser igual al del estator menos uno, si se desea adoptar este criterio se debe imponer el número total de ranuras del rotor.

Si en cambio se trata de un rotor de jaula la selección del número de ranuras rotóricas debe realizarse de otro modo. Se debe tener en cuenta la incidencia que tiene la relación entre el número de ranuras estáticas y rotóricas para un dado número de polos en la característica par en función de la velocidad del motor, y que se explica más adelante.

El número de ranuras rotóricas de un rotor jaula debe elegirse teniendo en cuenta la Tabla 2.0 que para un dado número de ranuras estáticas y número de polos, ofrece distintas alternativas para los rotores (con opciones inferiores y superiores al estator)

El número de ranuras puede ser cualquiera pero para elegir un valor adecuado puede actuarse con el criterio siguiente: se elige un número de ranuras rotóricas par, comprendido entre 1.1 y 1.25 veces el número del estator, y que satisfaga la condición de que la diferencia entre el número de ranuras del rotor y el estator sea distinto del número de polos y de dos veces el número de polos.

La bibliografía fija distintos criterios que no siempre encuentran una correspondencia entre si, pudiendo llegarse al caso de no poder encontrar un valor en el que estén de acuerdo los distintos autores.

Se calcula a continuación el número de ranuras por polo y el número de ranuras totales.

2.9 LOS CAMPOS ARMONICOS

Mientras que en el estudio de una máquina sincrónica es normal realizar el cálculo, limitándose a considerar solamente la componente fundamental de la fuerza magnetomotriz generada por las corrientes del inducido, (debido a las acciones de diseño que se adoptan para lograr un campo lo más sinusoidal posible), esta aproximación es demasiado imperfecta en el análisis de la máquina asincrónica.

La corriente que circula por los conductores es sinusoidal, la f.m.m. en el entrehierro es escalonada, debido a la distribución espacial de los conductores.

El carácter sinusoidal de la corriente se aplica al comportamiento de esta magnitud en el tiempo; el carácter no sinusoidal de la f.m.m., en un determinado instante, se aplica a la distribución de esta magnitud en el espacio.

Las armónicas que conforman la distribución real de las f.m.m. del estator y del rotor pueden considerarse como equivalentes a conjuntos adicionales de polos (igual al número principal de polos multiplicado por el orden de la armónica que los genera), algunas de las cuales se mueven en el sentido de la fundamental y otras en sentido inverso, pero todas ellas tienen la misma frecuencia, es decir la fundamental.

Como se sabe de teoría de las máquinas, la onda fundamental del rotor es estacionaria con respecto a la onda fundamental del estator para cualquier velocidad del rotor, ambas fundamentales producen el par útil.

Las características reales de par-velocidad de los motores presentan respecto de la característica ideal (prescindiendo de otros efectos y sólo considerando las armónicas de campo), algunas irregularidades parásitas que son producidas por la presencia de pares asincrónicos, o pares sincrónicos.

Los pares asincrónicos se manifiestan produciendo una ensilladura dentro de un rango relativamente amplio de la velocidad y con amplitudes relativamente pequeñas, mientras que los pares sincrónicos se presentan a una velocidad definida y con amplitud relativamente importante, en consecuencia los primeros pueden ser aceptados mientras que los segundos se deben evitar.

Los armónicos de ranura se pueden reducir inclinando las ranuras del rotor hasta un paso de ranura.

La complejidad de los problemas mencionados ha sido motivo de numerosos estudios que conducen a la exclusión de una gran cantidad de combinaciones posibles de ranuras estatóricas y rotóricas. Para máquinas de 2 a 10 polos se indican en la Tabla 2.0 los números de ranuras rotóricas aconsejables para distintos valores de ranuras estatóricas utilizadas para cada número de polos.

Conviene destacar que no se excluye la posibilidad que también otros números puedan adoptarse con éxito.

TABLA 2.0 - Número de ranuras rotóricas aconsejables

| Para 2 polos | | Para 4 polos | |
|--------------|----------------|--------------|---------------------|
| Ss | Sr | Ss | Sr |
| 18 | 16, 22 | 24 | 18, 30 |
| 24 | 18, 20, 22, 28 | 36 | 30, 42 |
| 30 | 22, 34 | 48 | 38, 58 |
| 36 | 28, 46 | 60 | 50, 70, 74 |
| 42 | 34, 52 | 72 | 58, 62, 82, 86, 90 |
| 48 | 40, 58 | 84 | 70, 90, 94, 98, 102 |
| 54 | 46, 64 | 96 | 78, 110, 114, 118 |
| 60 | 48, 50, 52, 70 | | |
| 66 | 52, 76, 82 | | |
| 72 | 58, 82, 88 | | |

| Para 6 polos | | Para 8 polos | |
|--------------|---|--------------|--|
| Ss | Sr | Ss | Sr |
| 36 | 28, 44 | 48 | 38, 58 |
| 54 | 44, 46, 62, 64, 68 | 72 | 58, 62, 82, 86, 90 |
| 72 | 58, 62, 82, 86, 88 | 96 | 78, 82, 110, 114, 118 |
| 90 | 74, 76, 104, 106, 110, 112 | 120 | 98, 102, 138, 142, 146, 150 |
| 108 | 86, 88, 92, 94, 122, 124, 128, 130, 134 | 144 | 118, 122, 126, 162, 166, 170, 174, 178 |
| 126 | 104, 106, 110, 142, 146, 148, 152, 154, 158 | | |

| Para 10 polos | |
|---------------|--|
| Ss | Sr |
| 60 | 48, 52, 68, 72, 74 |
| 90 | 72, 74, 76, 78, 102, 104, 106, 108, 112 |
| 120 | 96, 98, 102, 104, 136, 138, 142, 144, 146, 148 |
| 150 | 122, 124, 126, 128, 172, 174, 176, 178, 182, 184, 186, 188 |
| 180 | 144, 146, 148, 152, 154, 156, 158, 204, 206, 208, 212, 214, 216, 218, 222, 224 |

Nota: Ss número de ranuras estáticas, Sr rotóricas.

2.10 DIMENSIONAMIENTO DEL ROTOR Y RANURA

En el paso anterior se informó el tipo de rotor que se proyecta, son todavía necesarios datos adicionales para describirlo completamente, según sea el tipo de rotor será el número de datos a incorporar.

Los siguientes datos describen el rotor que puede ser bobinado, jaula simple o profunda, o la jaula interna del rotor doble jaula:

- Longitud total de la barra fuera del paquete (válido para jaula) en mm
- Factor de apilado del rotor
- Relación entre la altura del anillo y la altura de la barra (rotor jaula) o tipo de conexión para rotor bobinado (1 estrella, 3 triángulo)

Los datos que siguen corresponden al anillo de la jaula antes descrita:

- Densidad de corriente A/mm^2
- Coeficiente de aprovechamiento en p.u.
- Resistividad en $ohm \times mm^2/m$
- Peso específico en kg/dm^3

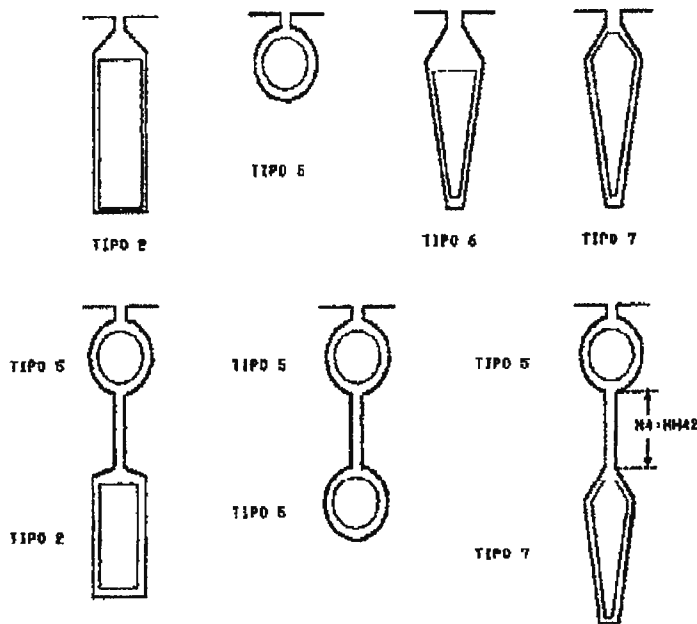
Los siguientes datos describen la ranura del rotor, en particular todas las dimensiones se dan en mm:

- Tipo de ranura (que debe ser adecuado al tipo de rotor)
- Ancho de entrada de la ranura

- Ancho de la ranura proyectada en el entrehierro
- Altura de la entrada (para doble jaula, distancia entre la jaula externa y la interna)
- Altura de la cuña o del trapecio próximo a la entrada
- Altura de la aislación superior
- Espesor de la aislación

Digamos una vez más que los datos que preceden describen completamente los rotores bobinado, de jaula simple o profunda (rotores tipo 1, 2 y 3) o la jaula interna del rotor doble jaula (rotor tipo 4)

ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LAS RANURAS ROTÓRICAS



NOTA: SON VALIDAS LAS COTAS DETALLADAS EN LA FIGURA 3.30

La validez de los datos ingresados según sea el tipo de rotor depende del tipo de ranura que se adopta, como muestra la Tabla 2.1 y la Figura 2.6 describe la esquematización de las distintas ranuras rotóricas posibles, notándose que la doble jaula se construye combinando dos de estas ranuras.

TABLA 2.1 - Utilización de ranuras según sea el rotor

| Tipo de Ranura Rotórica | TIPO DE ROTOR | | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|----------------|-------------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| | bobinado | jaula simple | jaula profunda | doble jaula | |
| | | | | interna | externa |
| 2 | * | | * | * | |
| 5 | | * | | * | * |
| 6 | * | * | | | |
| 7 | * | * | | * | |

Nota: ranura 2 semicerrada rectangular, 5 redonda, 6 semicerrada trapezoidal, 7 ídem llena.

Además necesitamos conocer otros datos que completan las características del rotor, del material magnético utilizado, y de las pérdidas, como se detalla a continuación:

- Número de conductores activos por ranura (válido para rotor bobinado)
- Inclinación de la ranura rotórica (en valor relativo referida al paso de la ranura)
- Frecuencia de referencia en hz. De la característica de pérdidas específicas en función de la inducción
- Exponente de la característica anterior
- Pérdidas de ventilación (a la velocidad sincrónica) en kw.
- Factor de aumento de las pérdidas específicas en el hierro
- Relación de corriente rotórica a estática

Una vez completado este largo ingreso de datos se reinician los cálculos, comenzando por determinar el paso de la ranura, luego si el factor de apilado no está definido, se adopta el mismo valor que para el estator.

2.11 DIMENSIONAMIENTO DEL EJE

Para proseguir con el dimensionamiento del rotor, como su diámetro exterior ya está fijado y dimensionada la ranura rotórica, se debe determinar el diámetro del eje en el paquete resultando de este modo definida la altura de la corona, que en máquinas de baja polaridad (2 polos) puede resultar insuficiente.

Para el dimensionamiento de los ejes son válidos los criterios ya vistos para el alternador, y para simplificar el cálculo del diámetro del eje en el paquete magnético, se pueden usar las siguientes expresiones:

$$20.23 \times \left\langle \frac{1000Pot}{rpm} \right\rangle^{1/3} \quad \text{EC.2.2}$$

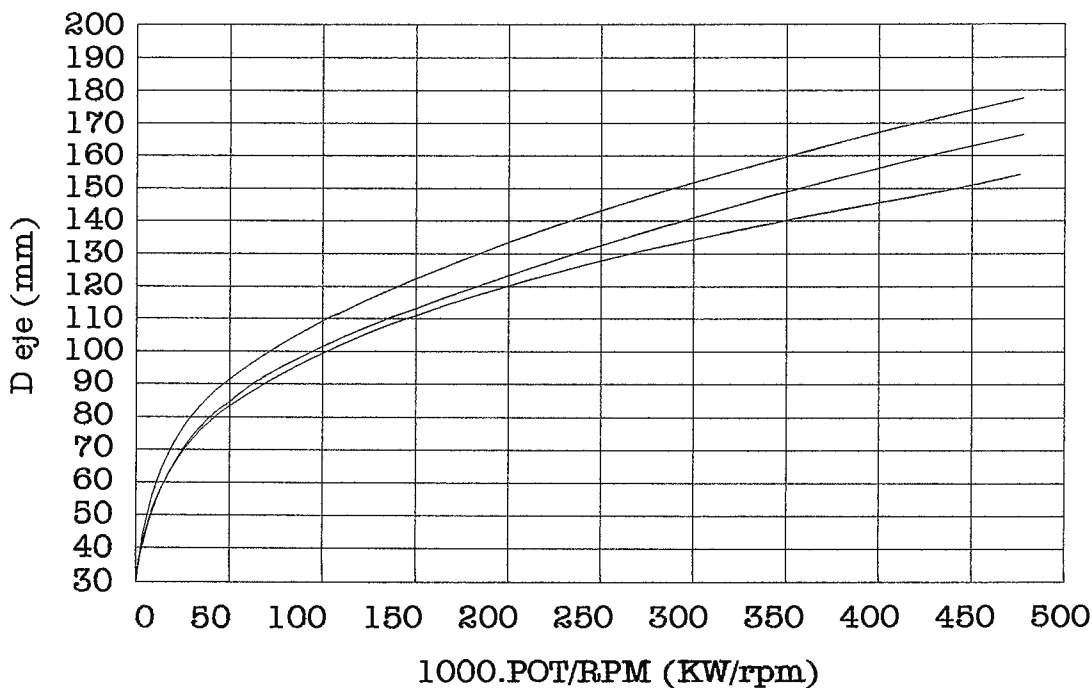
o bien:

$$32.25 \times \left\langle \frac{1000Pot}{rpm} \right\rangle^{1/4} \quad \text{EC2.3}$$

Entre los dos valores se toma el mayor, en general para los menores valores de $1000 \square POT/RPM$ vale la segunda fórmula.

El campo de valores válidos de las constantes fija el rango posible de una solución, y para determinar un único valor se han fijado para las constantes los valores intermedios 21.5 y 33.5.

CAMPO DE VALORES ADECUADOS DEL DIAMETRO MAQUINAS ASINCRONAS Y DE CORRIENTE CONTINUA



La Figura 2.7⁷ muestra una línea que satisface esta última adopción, en la que se observa un quiebre para el valor correspondiente a $1000 * POT/RPM = 175$, y con los valores extremos se han determinado dos curvas que limitan el campo.

2.12 CALCULO DEL ROTOR

Como ya dicho, el motor de corriente alterna ofrece distintas soluciones constructivas y presenta distintas características según el tipo de rotor que se decida adoptar, en consecuencia parece conveniente tratar en forma individual y completa cada uno de los tipos de rotores por separado, iniciando por el rotor bobinado, continuando con el de jaula simple

Rotor bobinado

Para el rotor bobinado se hace el número de conductores activos por ranura par y por lo menos igual a dos.

Se trata de un arrollamiento ondulado habitualmente de paso diametral (entero), dado que la ventaja de una menor longitud de la conexión frontal (si se acorta el paso) se anularía por una mayor longitud de la conexión opuesta que implica diferentes desarrollos de las cabezas, y esto finalmente no es ventajoso.

Se determina el número de conductores por fase; se hace el ángulo de acortamiento igual a cero y se determinan los factores de distribución, acortamiento y de devanado (producto de los anteriores factores)

A continuación se determina la tensión entre anillos a rotor abierto y la tensión de fase en idénticas condiciones.

Se calcula la corriente rotórica, partiendo de la corriente estatórica utilizando el factor $C2C1$ que permite descontar la corriente de magnetización y de pérdidas (en esta forma se tiene en cuenta la corriente derivada por el brazo de excitación), y la relación de transformación:

$$I_b = I_a \times c2c1 \times N \times \frac{C_w}{N_r \times C_{wr}} \quad \text{EC2.4}$$

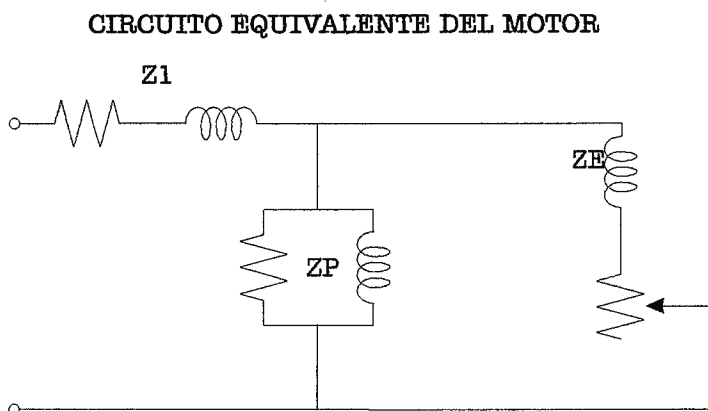
⁷ Calculo y diseño de maquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

C2C1 se puede considerar inicialmente en 0.90

Donde N, Nr son el número de conductores activos por fase estatórico y rotórico respectivamente, Cw el correspondiente factor de devanado.

El factor C2C1 puede inicialmente ser fijado en 0.9 y al finalizar el cálculo se debe comprobar el acierto de esta elección o bien corregir este valor y recalcular para conseguir una mejor aproximación.

Posteriormente teniendo en cuenta el tipo de conexión del estator y del rotor, se calcula la relación que se utiliza para referir al primario la resistencia y la reactancia rotórica de la estrella equivalente, que se utilizan en el modelo circuital del motor que se indica en la Figura 2.8 y que más adelante se examina.



$$RT2 = \left(\frac{N \times Cw}{Nr \times Cwr} \right)^2 \quad \text{EC.2.5}$$

Se determina el valor de la densidad lineal de corriente, la sección del conductor activo, la sección neta y bruta del conductor. Se continúa con el cálculo de la ranura controlando la validez de los datos y si es necesario se los ajusta convenientemente.

Para este tipo de rotor se utiliza solamente ranura tipo 2 (semicerrada rectangular) o tipos 6 ó 7 (semicerrada trapezoidal)

Cuando se determinan las dimensiones de las ranuras tipo 6 ó 7 puede ocurrir que la ecuación de segundo grado que plantea este problema no tenga solución real válida, en cuyo caso el programa forzará a adoptar la ranura tipo 2.

A este punto es necesario determinar la inducción en el diente, el valor que se calcule debe ser representativo de toda su altura (diente trapezoidal), adoptando como ancho del diente el ancho a un tercio y calculando la inducción correspondiente con este valor.

Se determina el ancho a un tercio, sobre la base del ancho del diente en el fondo y el ancho en la proyección de las caras laterales de la ranura en el entrehierro.

Se controla que la ranura pueda efectivamente construirse, es decir, que dos ranuras vecinas no interfieren entre sí, ni con el eje de la máquina.

Si esto último ocurre el diseño encarado no tiene solución y habrá que reiniciar el cálculo con otros datos.

Por último se calcula la inducción en la corona rotórica y el peso del

Rotor de jaula

Se calcula la relación de transformación que se utiliza para transferir al primario la impedancia del rotor.

$$RT2 = \frac{m(N \times Cw)^2 \times p}{2 \times S_r} \quad \text{EC2.6}$$

Para el cálculo de la relación de transformación se considera que el número de conductores por fase del rotor $N_r = 1$, el factor de devanado $C_w = 1$ y el número de fases igual al número de ranuras rotóricas por par de polos.

Si se trata de una jaula simple se pueden utilizar ranura de barra redonda (tipo 5) o semicerrada trapezoidal (tipo 6 ó 7), si en cambio se trata de una jaula profunda sólo puede utilizarse la ranura semicerrada de caras paralelas (tipo 2) habiendo definido la relación alto profundidad requerida, si se desea realizar una jaula simple con barra de sección cuadrada se definirá el tipo 2 con relación alto profundidad igual a 1.

Se determina la corriente en la barra, descontando la corriente de magnetización y de pérdidas, la sección de la barra y la corriente en el anillo con las relaciones:

$$I_b = I_a \times C2C1 \times 3 \times N \times \frac{f_b}{S_r} \quad \text{EC2.7}$$

$$I_a = \frac{0.32 I_b N b}{p} \quad \text{EC2.8}$$

y la sección transversal de cada anillo:

$$ser = \frac{0.32IbNb}{pAer} \quad \text{EC2.9}$$

y la sección total de las barras:

$$Ser = \frac{IbNb}{Ar} \quad \text{EC2.10}$$

Se determinan las dimensiones de la ranura, si es de tipo 6 ó 7 se verifica que sea construible, si no lo fuera se fuerza a tipo 5.

También para el caso de ranura profunda (tipo 2) se debe verificar que es construible, si no lo fuera se varía la relación ancho profundidad repitiéndose los cálculos, (en caso de que no hubiera solución el cálculo se interrumpe, debiendo proponerse otros datos para evitar esta situación)

Para determinar la inducción en el diente, es necesario como arriba indicado calcular el ancho a un tercio, cuando se trata de barra redonda se toma como tal la distancia entre dos barras adyacentes, se determina la altura de la corona rotórica.

Se calcula también la inducción en la corona, finalmente se determina el peso del rotor (diente y corona).

Por último se calcula el peso del rotor (dientes y corona).

2.13 REACTANCIA DE DISPERSION

Análogamente a lo visto para el alternador se deben considerar los flujos dispersos que participan en el cálculo de la reactancia de dispersión estática y rotórica.

Los procedimientos de cálculo propuestos por diversos autores varían notablemente y en consecuencia no siempre conducen a resultados coincidentes, debido fundamentalmente a lo incierto que resulta la determinación de algunos elementos que intervienen en los cálculos.

El conocimiento de las reactancias es de fundamental importancia debido a la incidencia que tienen en el diagrama de corriente de Heyland, (circular sí se trata de un motor de rotor bobinado o de jaula simple) y consecuentemente en las características de funcionamiento del motor (par y corriente en función de la velocidad)

Los flujos a considerar son los siguientes:

- A) Flujo disperso de ranura HLC3
- B) Flujo disperso de las cabezas de bobinas (motor de rotor bobinado) y de los anillos (motor de rotor jaula) HLC5
- C) Flujo disperso de entrehierro HLC4

La dispersión en el entrehierro de las máquinas asincrónicas ha dado origen a numerosos estudios, de las distintas interpretaciones de los fenómenos han surgido diferentes denominaciones:

- Dispersión zig-zag
- Dispersión doblemente concatenada
- Dispersión diferencial.

2.14 PARAMETROS DEL ESTATOR

Se determina el factor de Carter del estator, del rotor y el producto de ambos.

Recordemos que los flujos de dispersión del estator son: de ranura, de entrehierro y de cabeza de bobina.

Se calcula la dispersión de ranura y la reactancia que resulta:

$$X_c = \frac{1.58 \times f \times a^2 \times 10^{-8} \times l \times HLC3}{2 \times p \times q} \quad \text{EC2.11}$$

Todas las dimensiones están dadas en milímetros y el valor de la reactancia se obtiene en ohm.

Se determina la geometría de la cabeza de bobina estática, y la permeancia de esta parte mediante:

$$HLC5 = 1.13 \times Cw^2 \times b + 0.5 \times f \quad \text{EC2.12}$$

siendo:

Cw: factor de devanado.....

B: parte recta de cabeza

F: altura del triángulo de cabeza

La reactancia de dispersión de cabeza se calcula con:

$$X_b = \frac{1.58 \times f \times a^2 \times 10^{-8} \times HLC5}{2 \times p} \quad \text{EC2.13}$$

En cambio los criterios de cálculo del flujo de dispersión de entrehierro son distintos a los utilizados para la máquina sincrónica, y su determinación se basa en el estudio de los campos armónicos.

La parte de dispersión armónica de entrehierro correspondiente al devanado estatórico se determina mediante:

$$HLC4 = \frac{m_s \times \tau \times l \times F_{ss}}{\pi^2 \times F_{car3} \times F_s \times \delta} \quad \text{EC2.14}$$

siendo:

número de fases del estator (m)

TAUP1: paso polar en mm(τ)

Largo ideal del estator en mm(l)

Factor de dispersión (F_{ss})

FCAR3: producto de los factores de Carter correspondientes al estator y al rotor

Coefficiente de saturación (F_s)

Entrehierro en mm (δ)

**FACTOR DE DISPERSION ARMONICO PARA ARROLLAMIENTOS
ESTATORICOS TRIFASICOS**

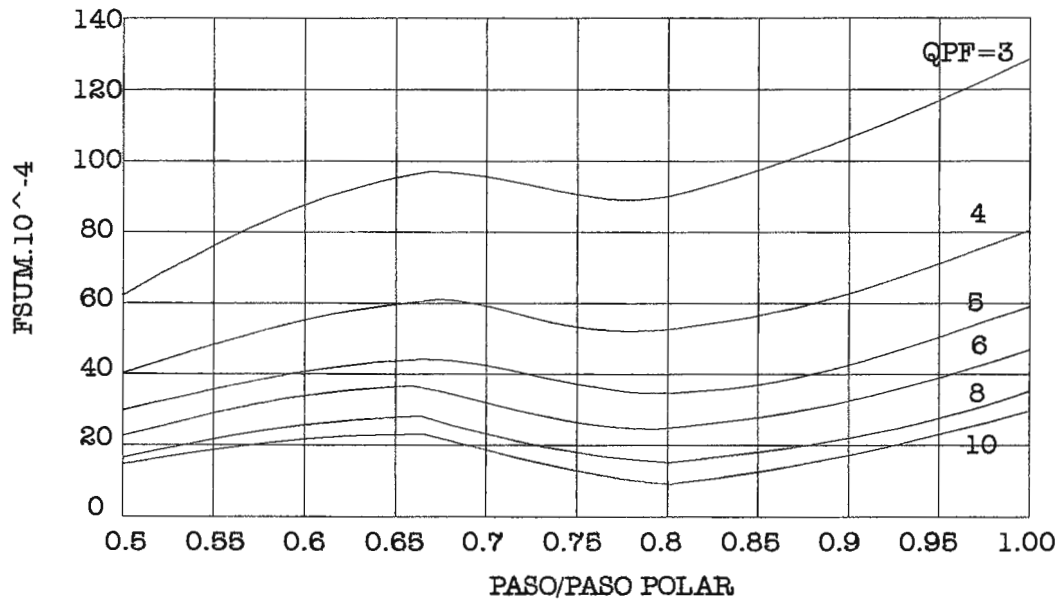


Figura 2.11⁸

El factor de dispersión FSUM se obtiene de la **Figura 2.11** en función de la relación entre el paso utilizado y el paso polar y del número de ranuras por polo y por fase correspondiente.

La reactancia de dispersión de entrehierro se calcula con:

$$X_t = \frac{1.58 \times f \times a^2 \times 10^{-8} \times HLC^4}{2 \times p} \quad \text{EC2.15}$$

Con los valores de permeancia de ranura, la dispersión armónica, y la dispersión de cabeza se determina finalmente la reactancia de dispersión por fase del estator.

$$X = X_c + X_t + X_b \quad \text{EC2.16}$$

⁸ Calculo y diseño de maquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

La geometría de la bobina estatórica permite determinar la resistencia por fase del estator, y el peso del bobinado.

A los efectos de evitar errores de interpretación es conveniente determinar la resistencia y reactancia de una estrella equivalente independientemente del tipo de conexión del devanado estatórico.

2.15 PARAMETROS DEL ROTOR

A partir de este punto nuevamente, según el rotor de que se trata, se realizan los cálculos en forma distinta, volvemos a distinguir rotor bobinado, jaula simple.

Rotor bobinado

Para el rotor bobinado se determinan la permeancia de ranura (como se hace arrollamiento de paso entero los factores de corrección son iguales a uno), la dispersión armónica, la dispersión de cabeza y la longitud del conductor, para lo cual se repiten los mismos cálculos ya vistos para el estator, finalmente se determina la resistencia y la reactancia por fase, los valores que corresponden a la estrella equivalente del rotor, y el peso de las bobinas.

Al determinar la geometría de la cabeza de bobina del rotor se controla que esta no sobresalga más allá de la estatórica y si esto ocurriera por las condiciones particulares de diseño, se adopta la cabeza rotórica como máximo igual a la estatórica.

Rotor jaula

Para rotor jaula (ya sea simple o de ranura profunda) también se determina la permeancia de ranura, los factores de corrección en este caso son iguales a uno.

Para calcular la dispersión armónica del rotor (HLC4) se utiliza un factor que es función del número de ranuras por polo y de la inclinación de la ranura rotórica en valor relativo, que se obtiene de la **Figura 2.12**.

FACTOR DE DISPERSION DE UN ARROLLAMIENTO JAULA

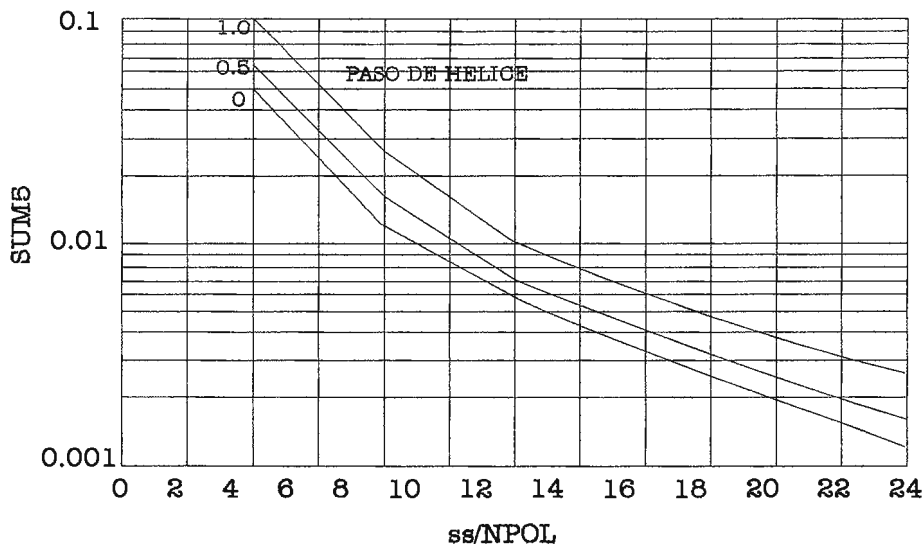


Figura 2.12⁹

$$HLC4 = \frac{Ss \times \tau \times l \times Fss}{\pi^2 \times Fcar \times Fs \times \delta \times p} \quad \text{EC2.17}$$

Donde Fss es el factor de dispersión y todos los demás símbolos tienen el significado ya visto.

Esta relación depende del tipo de rotor (jaula simple o profunda) y de la forma constructiva que se utilice (jaula y anillos fundidos o bien barras unidas al anillo con soldadura fuerte)

Se denominan soldaduras fuertes aquellas cuya temperatura de trabajo excede los 600 °C.

Se tiene entonces:

$$H1A = CALT * HH1$$

$$BEA = SN / H1A$$

donde:

H1A: altura del anillo

⁹ Calculo y diseño de maquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

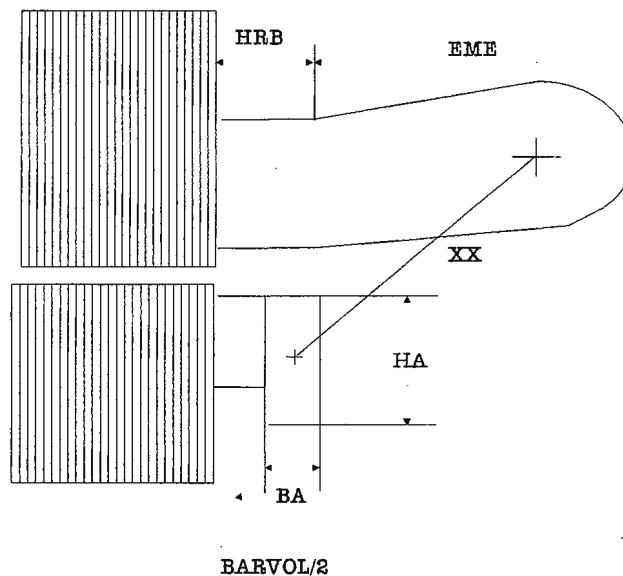
HH1: altura de la barra

BEA: ancho del anillo

En algunas soluciones constructivas las barras (generalmente unidas al anillo por soldadura) pueden sobresalir del paquete algunos milímetros en ambos extremos (BARVOL), esto debe ser tenido en cuenta en el cálculo de la resistencia óhmica.

Luego se calcula la distancia entre el centro del anillo de cortocircuito y el vértice del triángulo que forma la cabeza de la bobina estática, según se indica en la **Figura 2.13**.

DISTANCIA ENTRE EL CENTRO DEL ANILLO Y LA CABEZA DE LA BOBINA



Para calcular la dispersión de anillos (HLC5), es necesario un factor que se obtiene en función de la relación entre el paso polar y la distancia antes calculada, y la relación entre esta distancia y un parámetro que depende a su vez de las dimensiones del anillo, y se obtiene de la **Figura 2.14**.¹⁰

¹⁰ Cálculo y diseño de máquinas eléctricas. Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

FACTOR DE DISPERSION DE ANILLOS

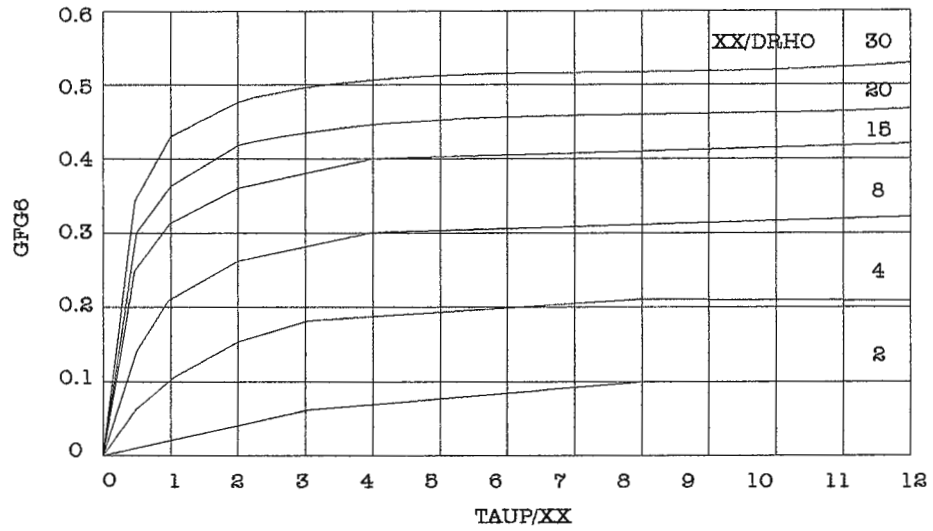


Figura 2.14¹¹

$$HLC5 = \frac{Sr \times \tau \times Fsa}{m_s \times p} \quad \text{EC2.18}$$

siendo:

Sr: número de ranuras rotóricas

(τ): paso polar en mm

GFG6: factor de dispersión de anillos

N: número de fases del estator

p: número de polos

¹¹ Calculo y diseño de maquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

Se calcula finalmente el paso medio de ranura y tres valores que caracterizan las componentes de la resistencia del rotor.

Estos últimos son la resistencia de la barra en la ranura (ABC1); la resistencia de la barra fuera de la ranura (ABC2) que incluye parte en voladizo en los extremos del rotor, y en los eventuales canales radiales de refrigeración y la resistencia de los anillos (ABC3)

$$ABC1 = \frac{RHO \times HLH \times 0.001}{SA} \quad EC2.19$$

$$ABC2 = \frac{RHO \times (BARVOL + NCAN \times ACAN) \times 0.001}{SA} \quad EC2.20$$

$$ABC3 = \frac{0.002 \times RHO \times PCM \times \left(\frac{S}{P \times \pi}\right)^2}{SA} \quad EC2.21$$

$$PCM = \pi (DIAM - HH6) / S$$

donde:

RHO: resistividad de la jaula o del anillo

SA: sección de la jaula o del anillo

HLH: largo del hierro

BARVOL: parte de la barra fuera del paquete magnético

NCAN*ACAN: longitud total de los canales radiales de ventilación

DIAM: diámetro del rotor

Los demás símbolos tienen el significado ya visto.

Los valores de permeancia y resistencia aquí calculados serán utilizados más adelante para determinar la impedancia por fase del rotor.

Para el motor de jaula profunda es oportuno remarcar que la resistencia y reactancia dependen de la distribución de la corriente en la barra como más adelante se detalla.

La resistencia equivalente por fase del rotor resulta:

$$R_{12} = ABC1 + ABC2 + ABC3 \quad \text{EC.2.22}$$

Finalmente se determinan el peso de barras, anillos y el peso total del conductor del rotor.

2.16 DETERMINACION DE CORRIENTE DE VACIO Y PERDIDAS

Determinación de las pérdidas de ventilación

Se denominan pérdidas mecánicas las que se producen por rozamiento en los soportes (cojinetes o rodamientos) más las de ventilación (rozamiento en el aire)

Para determinar las pérdidas por ventilación se utilizan generalmente expresiones experimentales que son válidas para condiciones normales de funcionamiento (velocidad nominal)

Las pérdidas en los soportes son difíciles de calcular y para máquinas pequeñas generalmente se desprecian, para máquinas grandes en cambio cada constructor utiliza datos propios más precisos obtenidos experimentalmente.

Las pérdidas de ventilación pueden ser evaluadas con la siguiente expresión:

$$PERVEN = 0.7 \times POT \times \sqrt{RPMS} \times 10^{-3} (\text{kW}) \quad \text{EC2.23}$$

donde: RPMS: velocidad sincrónica POT: potencia en kW

La corriente que corresponde a las pérdidas de ventilación se determina:

$$CVE = \frac{PERVEN \times 10^3}{\sqrt{3} \times U} (\text{A}) \quad \text{EC2.24}$$

La variación de las pérdidas de ventilación con la velocidad puede suponerse que depende del cubo.

La corriente de ventilación correspondiente a las pérdidas se corrige para tener en cuenta su variación con la velocidad (resbalamiento)

$$CV = CVE \times (1 - S)^3 \quad \text{EC2.25}$$

Donde s es el resbalamiento en p.u. y CVE la corriente de ventilación para la velocidad sincrónica.

Corriente de magnetización

Se deben ingresar los datos del material magnético utilizado para la construcción en forma idéntica como para la maquina síncrona, estos se dan como relación entre los valores de inducción y las pérdidas específicas, y la característica magnética.

Para el cálculo de la corriente magnetizante es necesario, como para el transformador, determinar la tensión magnética de los distintos tramos del circuito, (corona y diente del estator, entrehierro, corona y diente del rotor), sumando estas tensiones magnéticas parciales se obtiene la f.m.m. total (FMMT)

La determinación de la FMMT requiere conocer la inducción en cada tramo y con la característica magnética del material utilizado, determinar la intensidad de campo correspondiente.

Se puede calcular más minuciosamente la f.m.m. necesaria en el diente y a partir de ella un ancho equivalente, para lo cual se subdivide la altura del diente en tramos, se determina el ancho de cada tramo su inducción y la f.m.m. correspondiente, finalmente la f.m.m. total se divide por la altura obteniéndose de este modo el ancho equivalente.

Se calcula la f.m.m. total y luego la corriente magnetizante del arrollamiento con:

$$CORRMU = FMMT / (1.31 * QPF1 * CAC1 * HK3) \quad \text{EC2.26}$$

No se debe olvidar que si el devanado estático está conectado en triángulo es de interés conocer la corriente magnetizante de línea, luego se determina su valor relativo.

Con los valores de Fam. ya determinados se calcula el factor de saturación, relación entre f.m.m. de entrehierro más dientes respecto a la del entrehierro:

$$SAT = (FMME + FMM3 + FMM2) / FMME \quad \text{EC2.27}$$

Se determinan las pérdidas en la corona y dientes del estator, utilizando para ello un factor de aumento de pérdidas como ya visto para el alternador.

Las pérdidas en el hierro rotórico se desprecian debido a la baja frecuencia de funcionamiento, como también las pérdidas superficiales en los dientes.

Si las pérdidas específicas del material entradas como dato no corresponde a la frecuencia de utilización del motor se deben corregir como para el alternador.

Finalmente la corriente correspondiente a estas pérdidas se calcula con:

$$\text{CORRPE} = \frac{10^3 \times \text{PERFER}}{\sqrt{3} \times \text{UU1} \times \text{PUFEM}} \quad \text{EC2.28}$$

Siendo PUFEM la f.e.m. en por unidad.

2.17 DETERMINACION DE LOS DIAGRAMAS DEL MOTOR

Para juzgar el comportamiento del motor se requiere conocer el diagrama de corriente y el de par en función de la velocidad.

Se debe determinar el diagrama de corriente de la máquina pudiendo utilizar para ello distintos métodos geométricos.

Para rotor bobinado se refiere la impedancia del rotor al estator:

$$\text{RP2} = \text{R2} * \text{RT2} \quad \text{EC2.29}$$

$$\text{XP2} = \text{X2} * \text{RT2} \quad \text{EC2.30}$$

Éstas se utilizan para hacer el circuito equivalente y obtener el diagrama de corrientes.

Para rotor jaula se hace lo mismo utilizando las siguiente expresiones:

$$\text{X2} = 1.58 \times 10^{-8} \times \frac{F}{P} \times (\text{HLD} \times (\text{HLC1} + \text{HLC2}) + \text{HLC4} + \text{HLC5}) \quad \text{EC2.31}$$

$$\text{XP2} = \text{X2} * \text{RT2} \quad \text{EC2.32}$$

$$\text{R2} = (2 / \text{NPOL}) * (\text{ABC1} + \text{ABC2} + \text{ABC3}) \quad \text{EC2.33}$$

$$RP2 = R2 * RT2 \quad EC2.34$$

Para rotor de ranura profunda se debe tener en cuenta que en la barra rotórica, durante el arranque con plena frecuencia se provoca una fuerte concentración de corriente del lado del entrehierro, lo cual equivale a un aumento de la resistencia rotórica y con ello del par desarrollado en el arranque.

A medida que disminuye la frecuencia en el rotor este efecto se atenúa hasta alcanzarse la velocidad nominal, donde la corriente en la barra se distribuye uniformemente como en un motor de jaula simple.

La resistencia y la reactancia varían durante el proceso de arranque y el diagrama de corriente se aparta notablemente del diagrama circular válido para un motor de rotor bobinado o de jaula simple.

INFLUENCIA EN EL EFECTO PELICULAR DE LA PERMEANCIA DE RANURA DE BARRAS ROTÓRICAS

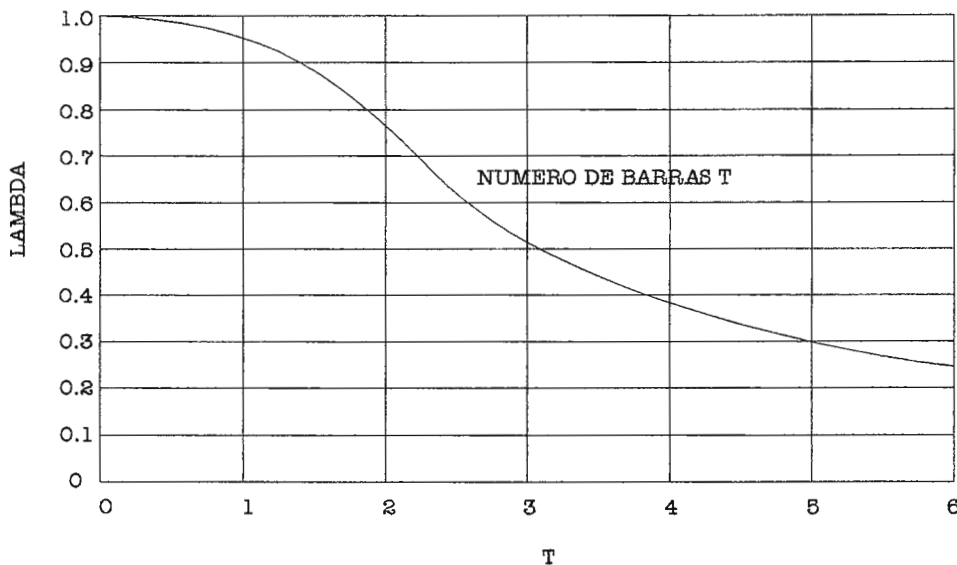


Figura 2.15¹²

Para tener en cuenta como varía la permeancia de ranura por el efecto pelicular en la barra se tiene de la **Figura 2.15** la relación LAMBDA en

¹² Cálculo y diseño de máquinas eléctricas. Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

función de un parámetro T que denominamos profundidad numérica de ranura.

Este parámetro adimensional se lo puede considerar como una altura ficticia que es función del número de barras situadas una sobre otra en la ranura (normalmente se utiliza una única barra), y también es función de la geometría de la ranura y de la resistividad del material del conductor.

Se calcula con la siguiente expresión:

$$T = m * PSI \quad EC2.35$$

siendo:

m = barras por ranura

$$PSI = ALFA * HH1 \quad EC2.36$$

$$ALFA = 0.2 \times \pi \times \sqrt{\frac{(BB4 - 2 \times EA) \times FF}{BB4 \times RHO \times 10^{-5}}} \quad EC2.37$$

Los símbolos tienen el significado ya visto.

AUMENTO DE LA RESISTENCIA EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD NUMERICA DE LA RANURA

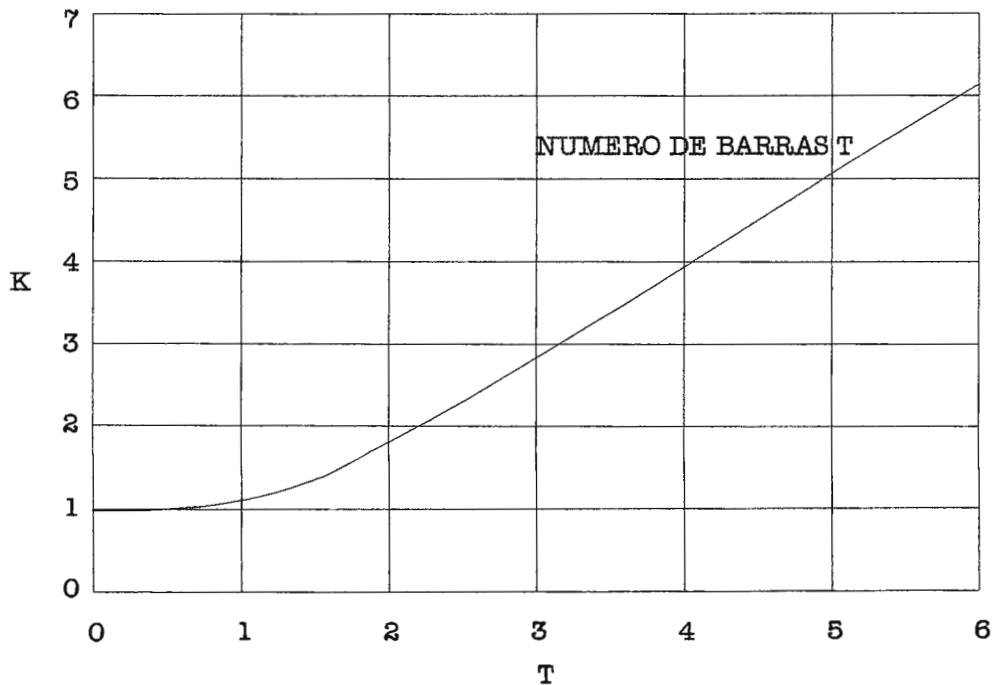


Figura 2.16¹³

De la **Figura 2.16** se tiene la relación K entre la resistencia en corriente alterna y corriente continua también función de la profundidad numérica de ranura, que afecta la resistencia de la parte de barra ubicada en el paquete (y no afecta la resistencia de la barra en aire, en los eventuales canales radiales de ventilación)

$$R_B = ABC1 * K + ABC2 \quad \text{EC2.38}$$

La profundidad numérica de ranura se calcula para cada valor del resbalamiento para obtener los valores de K y LAMDA que se utilizan para determinar la resistencia y reactancia rotórica.

$$R_2 = (2 / NPOL) * (R_B + ABC3) \quad \text{EC2.39}$$

$$X_2 = 1.58 \times 10^{-8} \times \frac{F}{P} \times (HLD \times (LAMD \times HLC1 + HLC2) + HLC4 + HLC5)$$

EC2.40

$$X_{P2} = X_2 * RT_2 \quad \text{EC2.41}$$

$$R_{P2} = R_2 * RT_2 \quad \text{EC2.42}$$

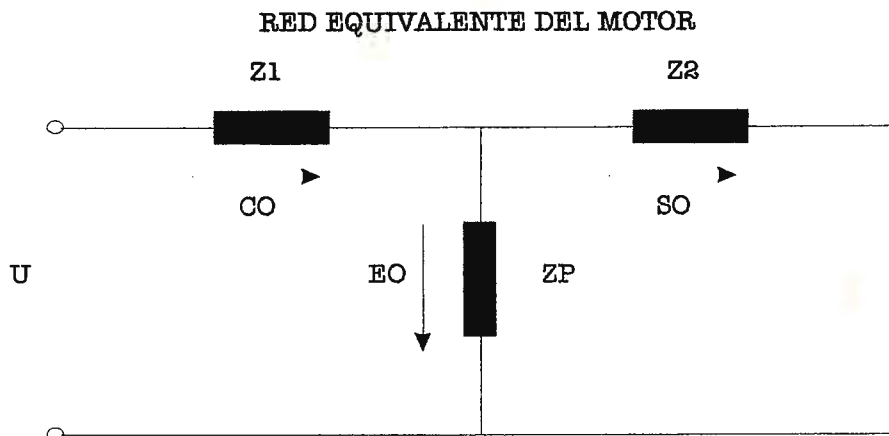
Finalmente para interpretar los cálculos es útil tabular los valores de resbalamiento, frecuencia, ALFA, PSI, K, LAMDA, RP2 y XP2

La conductancia G y la susceptancia B se determinan sobre la base de las corrientes de magnetización y de pérdidas que se han determinado y a la tensión efectivamente aplicada (al brazo de excitación).

La admitancia del brazo de excitación se representa como una impedancia $R_{PP} + j X_{PP}$.

Para cada resbalamiento se determina la resistencia equivalente de la carga (útil más pérdidas mecánicas) y se resuelve la red eléctrica equivalente del motor **Figura 2.17**.

¹³ Calculo y diseño de maquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi



$$Z_T = Z_1 + Z_2 // Z_P \quad \text{EC.2.43}$$

$$CO = U / Z_T \quad \text{EC.2.44}$$

$$EO = CO * Z_2 // Z_P \quad \text{EC.2.45}$$

$$SO = EO / Z_2 \quad \text{EC.2.46}$$

$$EXO = EO / Z_P \quad \text{EC.2.47}$$

Se determinó así la impedancia total del motor Z_T , su corriente primaria CO , la f.e.m. interna EO , la corriente secundaria SO , la corriente de excitación EXO .

Con los valores de las resistencias se determinan la potencia activa total, el par, las pérdidas joule estáticas, las pérdidas en el hierro estáticas.

Se determinan el par motriz medido como corriente, la referencia de culpas, las pérdidas totales por suma de pérdidas estáticas, rotóricas y en el hierro, también la relación de corrientes secundaria-primaria SO/CO (que se debe comparar con C_2C_1).

Se puede entonces construir el diagrama de corriente (Heyland), circular para motores de rotor bobinado o jaula simple.

2.18 DETERMINACION DEL PAR Y VELOCIDAD NOMINALES

Finalmente es conveniente determinar todos los valores de interés para resumir las características del motor, es decir, par de arranque y su valor relativo, y par nominal y resbalamiento correspondientes a la velocidad nominal.

En particular el resbalamiento y velocidad nominales se determinan por aproximaciones sucesivas, se trata de encontrar la primera intersección entre la característica par-velocidad del motor con la característica que corresponde a la potencia (par · velocidad) nominal del motor.

DETERMINACION DEL PAR Y VELOCIDAD NOMINALES

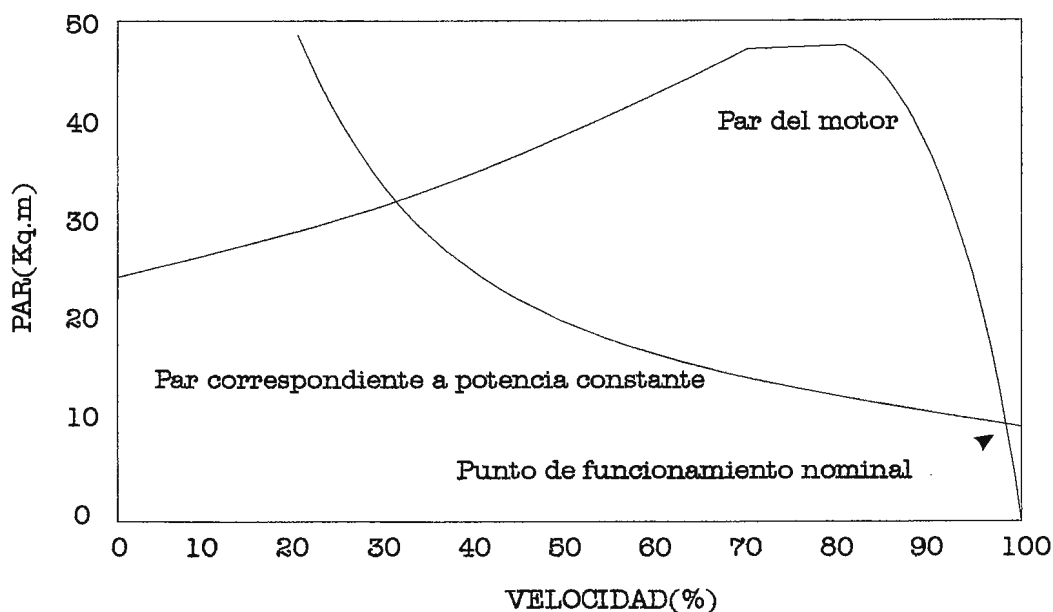


Figura 2.19¹⁴

Esta última función se representa con una hipérbola como se detalla en la **Figura 2.19**, que en forma general puede presentar dos intersecciones con la característica del motor, o ninguna con lo cual, en este último caso el problema no tiene solución y el motor no alcanza el par nominal requerido.

También se determina la caída de tensión en la impedancia que representa el estator y la tensión interna de excitación.

Estos últimos valores permiten juzgar las características de funcionamiento del motor calculado, y en caso de no satisfacer los requerimientos impuestos deberán introducirse las modificaciones que se consideren adecuadas en los parámetros que intervienen en el cálculo, para lograr una mejor aproximación al objetivo.

¹⁴ Cálculo y diseño de máquinas eléctricas. Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

CAPITULO III

DISEÑO DE MAQUINA SÍNCRONA

MAQUINA SINCRONA

3.0 CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO Y METODO DE CALCULO

Normalmente se conocen las especificaciones que deberá satisfacer la máquina que se debe proyectar. Las especificaciones conducen a adopciones que deben acompañarse con otras que el proyectista con su mejor criterio debe hacer para avanzar en su tarea.

Quedan entonces definidos:

- El tipo de generador
- La velocidad
- El método de refrigeración
- La clase de aislamiento
- El tipo de excitación
- Algunas características mecánicas
- Los materiales utilizados

El método de cálculo adoptado es uno de los posibles, y se ha dividido en pasos que en algunos casos son comunes con otras máquinas.

Es todavía importante recordar que sólo se encara el cálculo y dimensionamiento electromagnético de las máquinas eléctricas, no debiendo olvidar que particularmente para las máquinas rotantes son fundamentales las verificaciones mecánicas, (esfuerzos, vibraciones, etc.) cuya importancia aumenta con la velocidad y la potencia (tamaño).

3.1 DETERMINACION DE DATOS BASICOS Y PRIMERAS ESTIMACIONES.

El cálculo requiere disponer (o adoptar algunos) de los siguientes datos:¹

- Potencia del generador kVA
- Tensión de generación y alimentación V
- Frecuencia en Hz
- Conexión (estrella o triángulo)
- Velocidad sincrónica rpm
- Coseno ϕ
- Rendimiento %

¹ Estos valores son los Datos de entrada en la pantalla principal del programa.

Se determina el número de polos en base a la frecuencia y la velocidad sincrónica, controlando que este número debe ser par, y coherente con la frecuencia y la velocidad.

$$p = 120f / n \quad \text{Ec.3.0}$$

Se calcula la corriente de línea y de fase, en base a la potencia, y se determina la tensión de fase teniendo en cuenta la conexión.

$$I = KVA \times 10^3 / Ex3 \quad \text{Ec3.1}$$

El proyecto básico debe iniciar proponiendo dimensiones que se adoptan con distintos criterios, independientemente de ellos se debe tener claro el significado de estas dimensiones.

En pequeñas máquinas, para potencias hasta alrededor de 100 kVA, los paquetes magnéticos se hacen compactos, es decir, sin canales de ventilación.²

Para obtener una adecuada refrigeración en máquinas grandes, es decir, evitar la presencia de zonas calientes en aquellas partes de la máquina donde la ventilación resulta más dificultosa, se adoptan canales radiales de refrigeración.

Para ello se subdivide la longitud del hierro estático conformando paquetes que están separados entre si por canales que tienen una dimensión que va de 10 a 15 mm a medida que aumenta la potencia.

Normalmente la longitud de los paquetes está comprendida entre 40 y 80 mm y su longitud se hace decrecer en modo racional desde los extremos hacia el centro del inducido (para hacer más efectiva la refrigeración en esta zona presumiblemente más caliente).

En consecuencia la longitud total del paquete estático resulta la suma de las longitudes de los paquetes elementales (longitud de hierro) más la longitud que corresponde a los canales de refrigeración.

En correspondencia con los canales radiales de ventilación se produce una desuniformidad del campo magnético (axial) en el entrehierro, un fenómeno similar se presenta en los extremos frontales del paquete.

El efecto de distorsión del campo magnético depende principalmente de la dimensión del entrehierro de la máquina y también de la existencia de

² Tomado de Diseño de Aparatos Eléctricos .J.Kulhmann

canales sólo en el estator, sólo en el rotor o en ambos y para este último caso si se encuentran enfrentados o no.

Otros datos que deben estar impuestos o se deben adoptar con algún criterio son:

- Paso polar en mm τ
- Relación largo ideal paso polar (l/τ).
- Densidad lineal de corriente A.esp/mm
- Número de ranuras por polo y por fase
- Tipo de entrehierro (variable o constante)
- Factor de devanado $C_w(f_b k_d f_d)$
- Factor de apilado del estator $K_1(0.9a0.93)$
- Ancho total de los canales de ventilación en mm

Recordemos que se están dando criterios generales de dimensionamiento aplicables a máquinas de pequeña y mediana potencia.

El paso polar se determina en base a la potencia relativa (en kVA.seg) que se obtiene de dividir la potencia por el número de polos, la frecuencia y la relación lamda (largo ideal / paso polar) (l/τ).

En consecuencia antes de adoptar el paso polar se debe proponer un valor adecuado de lamda, para lo cual se puede utilizar la Figura 3.1

VALORES DE LAMBDA PARA MAQUINAS DE POLOS SALIENTES

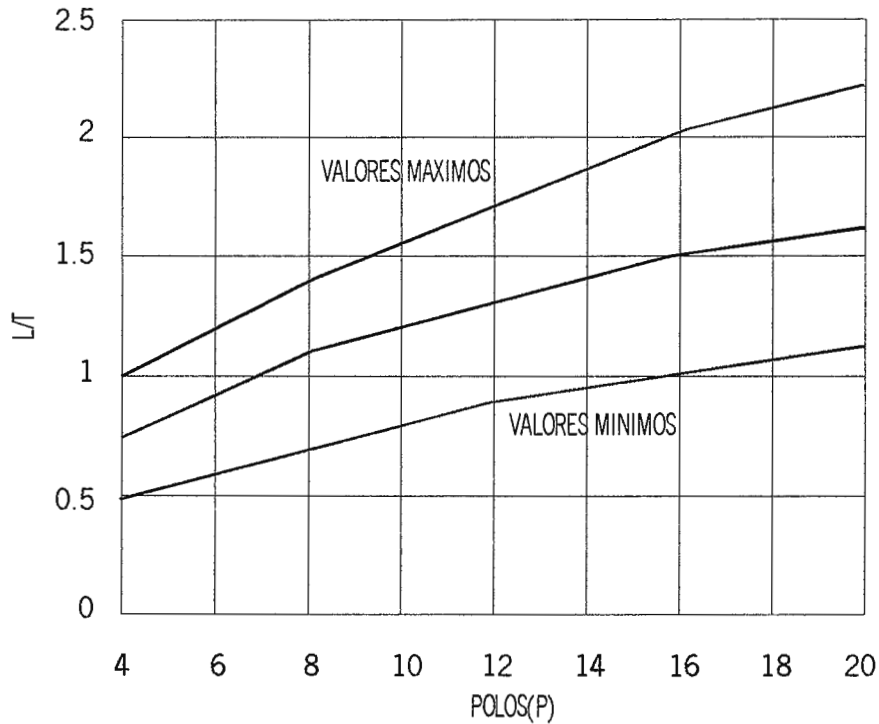


Figura 3.1³

de la relación entre el largo ideal y el paso polar (λ) en función del número de polos.

Valores elevados de esta relación conduce a obtener máquinas más largas y en consecuencia de construcción más económica, pero con mayores problemas de refrigeración, siendo esta dificultad la que impone un límite a la longitud de la máquina.

La tendencia actual es la de construir máquinas de mayor longitud, estudiando adecuadamente su refrigeración.

Los valores de λ son sensiblemente más altos en turbogeneradores (máquinas de dos polos) por razones de resistencia mecánica.

Adoptado λ , determinada la potencia relativa y con el número de polos, de la Figura 3.2.

³ Calculo y diseño de maquinas eléctricas . Ing. Jorge N. L. Sacchi - Alfredo Rifaldi

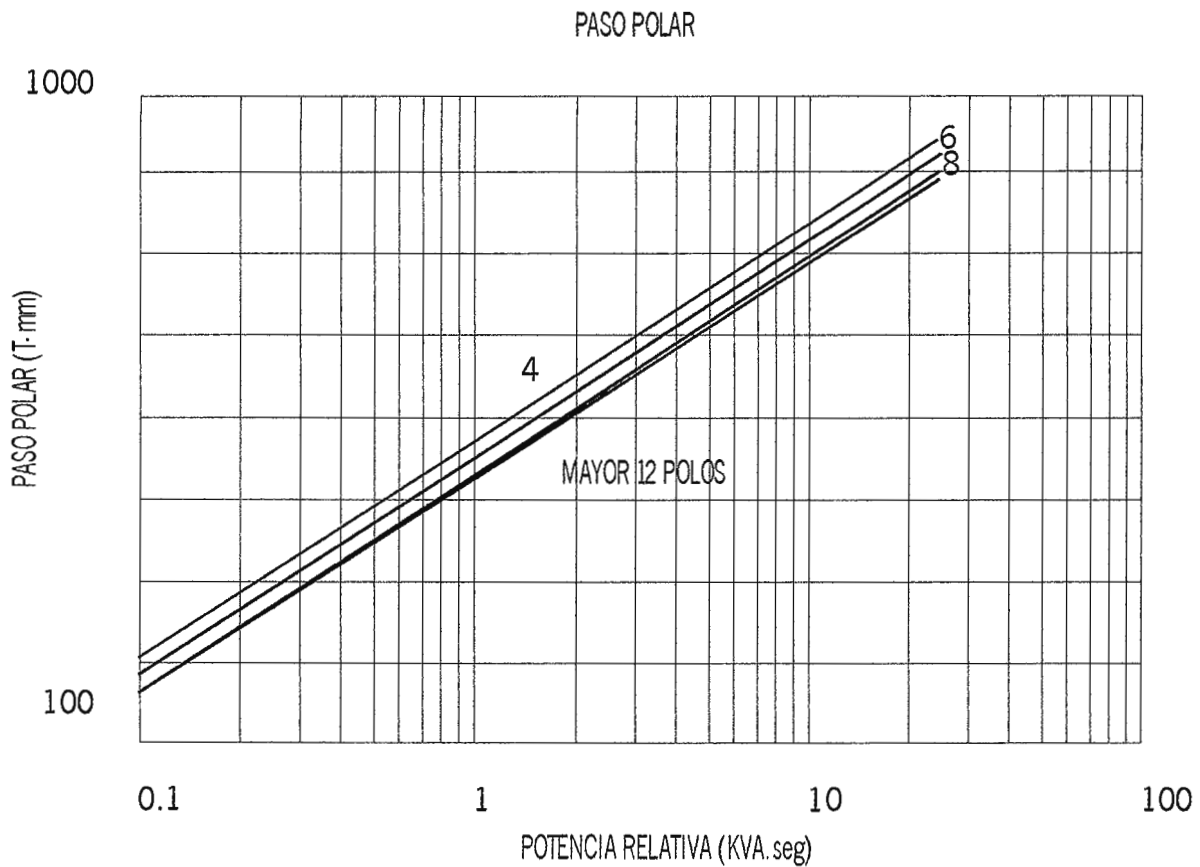


Figura 3.2.⁴

se obtiene el valor tentativo⁵ del paso polar y en consecuencia queda determinado el diámetro al entrehierro de la máquina y el largo ideal.

$$\tau = \frac{\pi D}{p} \quad \text{Ec.3.2}$$

No se comete un error grosero en las primeras iteraciones de cálculo de una máquina rotante si se considera que el largo ideal es igual al largo total del núcleo. El largo ideal tiene en cuenta las líneas de campo que entran lateralmente en los extremos del núcleo y a través de los canales radiales de ventilación (cuando existen). Para tener en cuenta el efecto del ancho de los canales de ventilación se debe determinar un ancho equivalente.

Cuando no hay canales radiales de ventilación la longitud ideal es la del núcleo (con un error mínimo), mientras que cuando la máquina tiene canales

⁴ Cálculo y diseño de Maquinas Eléctricas-Ing j.sacchi-Alfredo Rifaldi

⁵ Se parte de un valor tentativo para iniciar el cálculo y luego se recalcula este valor

se tienen que determinar tres longitudes: la del núcleo, la del hierro y la ideal.

Debido a los canales de ventilación la permeancia no es constante a lo largo de la máquina y por lo tanto la inducción en el entrehierro experimenta variaciones en el sentido axial, presentando una disminución frente a los canales de ventilación. El ancho magnético equivalente del canal depende de su ancho geométrico y del entrehierro de la máquina.

Una vez definido el valor del diámetro interno se puede determinar el valor del diámetro externo en función del número de polos mediante las relaciones proporcionadas en la **tabla 3.1**⁶

| polos | D_0/D |
|-------|---------|
| 4 | 1.48 |
| 6 | 1.37 |
| 8 | 1.30 |
| 10 | 1.26 |
| 12 | 1.23 |
| 14 | 1.20 |
| 16 | 1.18 |
| 18 | 1.15 |
| 20 | 1.15 |
| 22 | 1.15 |
| 24 | 1.13 |
| 6 | 1.13 |
| 28 | 1.13 |
| 30 | 1.12 |
| 32 | 1.11 |
| 36 | 1.10 |
| 40 | 1.10 |
| 48 | 1.10 |
| 60 | 1.09 |
| 72 | 1.09 |

Tabla 3.1

Si se trata de máquinas donde únicamente en una parte estator o rotor hay canales radiales de refrigeración, el largo ideal se determina descontando al largo total del estator o del inducido, el número de canales por el ancho (magnético) equivalente del canal.

Cuando ambas partes de la máquina tienen canales de ventilación, estos pueden encontrarse enfrentados o no.

⁶ Obtenida de Diseño de Aparatos Eléctricos J.H.Kulhmann

Si se encuentran enfrentados la longitud ideal se determina en igual forma al caso en que se tienen canales de un solo lado, cuando en cambio no están enfrentados se debe descontar al largo total la suma del producto del número de canales estáticos por su ancho equivalente más el número de canales rotóricos por su correspondiente ancho equivalente (los canales del estator y rotor pueden tener distinta dimensión).

Las máquinas de polos salientes y los turbogeneradores tienen entrehierros relativamente grandes (respecto del ancho de los canales que normalmente se utilizan) por lo que el ancho equivalente es relativamente pequeño y consecuentemente el largo ideal está más próximo al largo del núcleo.

La densidad lineal de corriente, se calcula en las máquinas rotantes multiplicando el número de fases, por el número de conductores por fase, por la corriente de fase y dividido por el desarrollo del entrehierro.

Las máquinas rotativas están constituidas por materiales activos (hierro y conductores) en los cuales se generan pérdidas, y por materiales inertes (aislantes).

Los materiales activos poseen una gran conductividad térmica al menos en una dirección.

Ello conduce a pensar que los mismos se calientan uniformemente, es decir, que la temperatura es la misma en todos los puntos.

Si una parte activa de la máquina posee superficies terminales diversamente refrigeradas, y por lo tanto temperaturas distintas, se establece un flujo térmico interno.

Las partes inertes atravesadas por el flujo térmico, son principalmente los materiales aislantes y las superficies en contacto con el fluido refrigerante.

La densidad lineal de corriente tiene relación con el calentamiento de la máquina y se elige en función de la potencia y del número de polos.

Por último se determina la densidad lineal de corriente en el caso de no haber sido impuesta, los valores utilizados son extraídos de la Figura 3.3 pero se han incrementado con un factor 1.2 para adecuarlo a las construcciones actuales.

DENSIDAD LINEAL DE CORRIENTE PARA MAQUINAS SINCRONAS

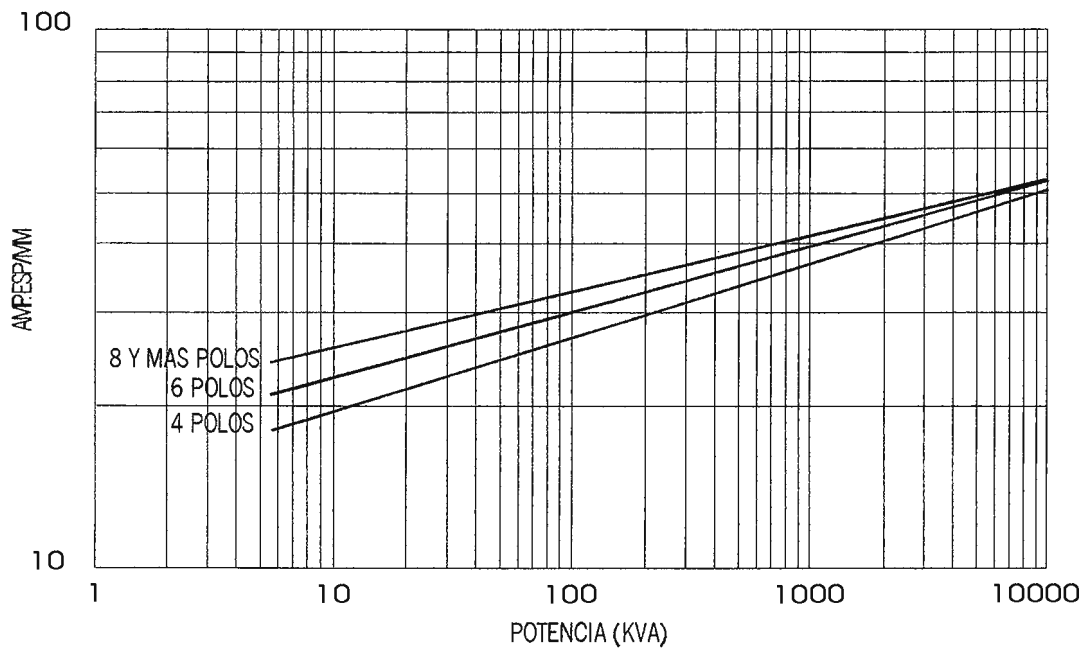


Figura 3.3⁷

3.2 FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA.

Si en un alternador de polos salientes⁸ en vacío relevamos la distribución de la componente de la inducción normal a la superficie del entrehierro, se obtiene diagrama que se aparta notablemente de una onda sinusoidal según indica la Figura 3.4 .

⁷ Cálculo y diseño de Maquinas Eléctricas-Ing.J.sacchi-Alfredo Rifaldi

⁸Se eligió el Alternador de polos salientes entre las maquinas síncronas.

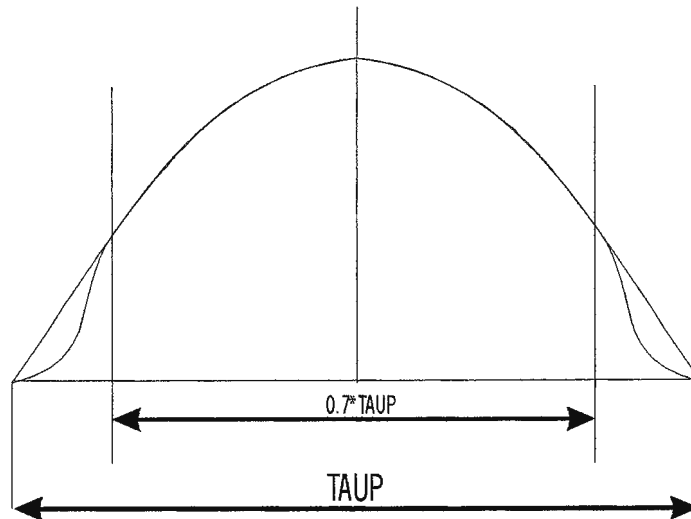


Figura 3.4

Su forma está influenciada por diversos factores como ser la relación entre la longitud de la expansión polar y el paso polar, la dimensión del entrehierro en cada uno de sus puntos (entrehierro constante o variable), la forma de la ranura, la saturación de los dientes.

Actuando adecuadamente sobre estos diversos elementos es posible modificar, claro está dentro de ciertos límites, la distribución del flujo a lo largo del entrehierro, y en consecuencia el grado de deformación de la onda de tensión respecto de una onda sinusoidal.

En la Figura 3.4 se indica como ya hemos mencionado la forma del campo magnético en vacío producida por un inductor de polos salientes, para una relación igual a 0.7

A medida que esta relación aumenta la forma del campo se hace más sinusoidal, pero aumenta notablemente el flujo de dispersión que se establece entre dos polos inductores contiguos.

Como consecuencia de ello el valor óptimo normalmente utilizado es $2/3$ que resulta de una situación de compromiso entre la deformación del campo y el valor de la dispersión entre polos aceptables.

De esta relación y del tipo de entrehierro (constante o variable) depende además el factor de forma que se indica en la figura 3.5.

FACTOR DE FORMA PARA MAQUINAS DE POLOS SALIENTES

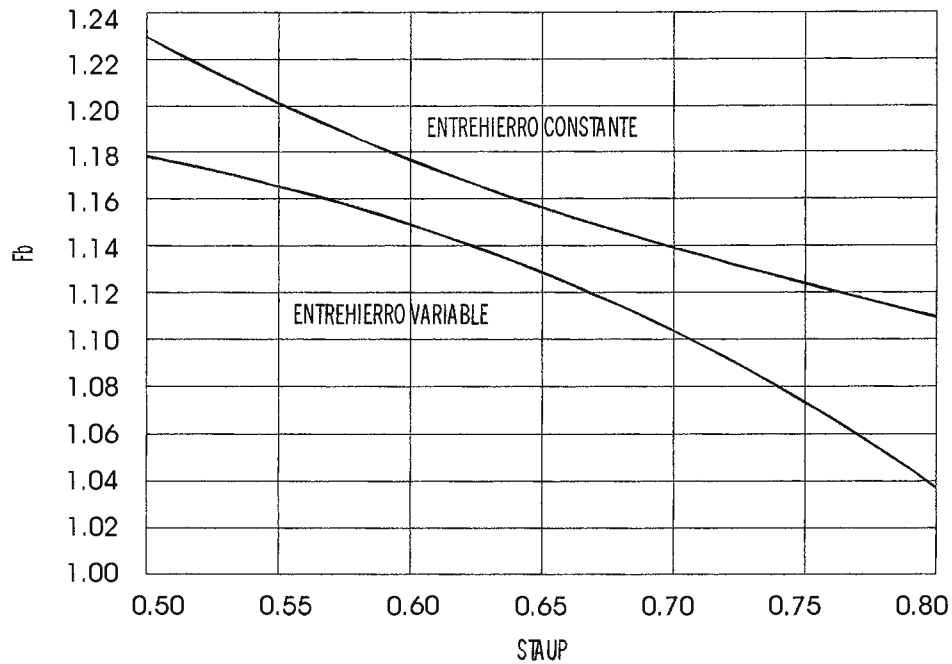


Figura 3.5⁹

y que se utiliza en el cálculo de la fundamental de la Fem. con la fórmula:

$$E = 2f_b k_d k_p N f \phi \quad \text{Ec.3.3}$$

siendo:

- Factor de forma f_b
- Factor de distribución k_d
- Factor de acortamiento k_p
- Número de conductores activos por fase a
- Frecuencia f
- Flujo ϕ

Para una dada curva de campo se puede realizar un análisis armónico que conduce a considerar una distribución de flujo constituido por una suma de flujos sinusoidales de frecuencia creciente con la serie de números impares.

⁹ Cálculo y diseño de Maquinas Eléctricas-Ing.J.sacchi-Alfredo Rifaldi

La fuerza electromotriz inducida se puede expresar con la fórmula:

$$Femi(U) = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad \text{Ec.3.4}$$

donde

$$Femi(U) = 2.22k_{dn}k_{pn}Nf_n\phi_n \quad \text{Ec.3.5}$$

siendo:

- Orden de la armónica n
- Factor de distribución de la armónica considerada k_{dn}
- Factor de acortamiento de la armónica considerada k_{pn}
- Número de conductores activos por fase N
- Frecuencia de la armónica considerada f_n
- Flujo de la armónica considerada ϕ_n

El factor de distribución para un arrollamiento trifásico en función del orden de la armónica se calcula con la expresión (válida para ángulos dados en grados):

$$k_d = \frac{\text{sen}(180^\circ * n / 2m)}{q \text{sen}(180^\circ / 2mq)} \quad \text{Ec.3.6}$$

siendo:

- Número de fases m
- Ranuras por polo y por fase equivalentes q

El factor de acortamiento en función del orden de la armónica se calcula con la expresión:

$$k_{pn} = \text{Cos}(\theta_n / 2) \quad \text{Ec.3.7}$$

siendo θ_n el ángulo de acortamiento de la bobina.

Es importante recordar que en la conexión estrella las armónicas tercera y sus múltiplos (homo polares) tienen resultante nula, es decir, no aparecen en la tensión de línea.

Las armónicas de las cuales es necesario preocuparse con el objeto de reducir su magnitud son la quinta y la séptima.

Como se puede observar en la Tabla 3.1 los factores de distribución, a medida que crece el orden de la armónica decrecen más rápidamente con el incremento del número de ranuras por polo y por fase que el correspondiente para la fundamental.

Surge inmediatamente que una forma de reducir la distorsión de la forma de onda de la Fem. inducida, es la de adoptar un número elevado de ranuras por polo y por fase.

Como es lógico la ejecución de la máquina impone por razones constructivas y económicas límites prácticos al número de ranuras totales.

TABLA 3.2¹⁰

| q | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 10 | Infinito |
|-----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| n | | | | | | | | |
| 1 | 1.000 | 0.966 | 0.960 | 0.958 | 0.957 | 0.956 | 0.955 | 0.955 |
| 3 | 1.000 | 0.707 | 0.667 | 0.653 | 0.647 | 0.644 | 0.639 | 0.637 |
| 5 | 1.000 | 0.259 | 0.218 | 0.205 | 0.200 | 0.197 | 0.193 | 0.191 |
| 7 | 1.000 | -0.259 | -0.177 | -0.158 | -0.149 | -0.145 | -0.140 | -0.136 |
| 9 | 1.000 | -0.707 | -0.333 | -0.271 | -0.247 | -0.236 | -0.220 | -0.212 |
| 11 | 1.000 | -0.966 | -0.177 | -0.126 | -0.109 | -0.102 | -0.092 | -0.087 |
| 13 | 1.000 | -0.966 | 0.218 | 0.126 | 0.102 | 0.092 | 0.079 | 0.073 |
| 15 | 1.000 | -0.707 | 0.667 | 0.271 | 0.200 | 0.173 | 0.141 | 0.127 |
| 17 | 1.000 | -0.259 | 0.960 | 0.158 | 0.102 | 0.084 | 0.064 | 0.056 |
| 19 | 1.000 | 0.259 | 0.960 | -0.205 | -0.109 | -0.084 | -0.060 | -0.050 |
| 21 | 1.000 | 0.707 | 0.667 | -0.653 | -0.247 | -0.173 | -0.112 | -0.091 |
| 23 | 1.000 | 0.966 | 0.218 | -0.958 | -0.149 | -0.092 | -0.054 | -0.042 |
| 25 | 1.000 | 0.966 | -0.177 | -0.958 | 0.200 | 0.102 | 0.052 | 0.038 |
| 27 | 1.000 | 0.707 | -0.333 | -0.653 | 0.647 | 0.236 | 0.101 | 0.071 |
| 29 | 1.000 | 0.259 | -0.177 | -0.205 | 0.957 | 0.145 | 0.050 | 0.033 |
| 31 | 1.000 | -0.259 | 0.218 | 0.158 | 0.957 | -0.197 | -0.050 | -0.031 |
| 33 | 1.000 | -0.707 | 0.667 | 0.271 | 0.647 | -0.644 | -0.101 | -0.058 |
| 35 | 1.000 | -0.966 | 0.960 | 0.126 | 0.200 | -0.956 | -0.052 | -0.027 |
| 37 | 1.000 | -0.966 | 0.960 | -0.126 | -0.149 | -0.956 | 0.054 | 0.026 |
| 39 | 1.000 | -0.707 | 0.667 | -0.271 | -0.247 | -0.644 | 0.112 | 0.049 |
| 41 | 1.000 | -0.259 | 0.218 | -0.158 | -0.109 | -0.197 | 0.060 | 0.023 |
| 43 | 1.000 | 0.259 | -0.177 | 0.205 | 0.102 | 0.145 | -0.064 | -0.022 |

¹⁰ Obtenida de: Cálculo y diseño de Maquinas Eléctricas-Ing. J. sacchi-Alfredo Rifaldi

| | | | | | | | | |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 45 | 1.000 | 0.707 | -0.333 | 0.653 | 0.200 | 0.236 | -0.141 | -0.042 |
| 47 | 1.000 | 0.966 | -0.177 | 0.958 | 0.102 | 0.102 | -0.079 | -0.020 |
| 49 | 1.000 | 0.966 | 0.218 | 0.958 | -0.109 | -0.092 | 0.092 | 0.019 |
| 51 | 1.000 | 0.707 | 0.667 | 0.653 | -0.247 | -0.173 | 0.220 | 0.037 |
| 53 | 1.000 | 0.259 | 0.960 | 0.205 | -0.149 | -0.084 | 0.140 | 0.018 |
| 55 | 1.000 | -0.259 | 0.960 | -0.158 | 0.200 | 0.084 | -0.193 | -0.017 |
| 57 | 1.000 | -0.707 | 0.667 | -0.271 | 0.647 | 0.173 | -0.639 | -0.034 |
| 59 | 1.000 | -0.966 | 0.218 | -0.126 | 0.957 | 0.092 | -0.955 | -0.016 |
| 61 | 1.000 | -0.966 | -0.177 | 0.126 | 0.957 | -0.102 | -0.955 | 0.016 |
| 63 | 1.000 | -0.707 | -0.333 | 0.271 | 0.647 | -0.236 | -0.639 | 0.030 |
| 65 | 1.000 | -0.259 | -0.177 | 0.158 | 0.200 | -0.145 | -0.193 | 0.015 |

El número de ranuras por polo depende de la dimensión del paso polar y de la tensión nominal de la máquina.

Cuanto menor es el paso polar y más alta es la tensión, tanto menor debe ser el número de ranuras por polo para reducir el porcentual del espacio ocupado por los materiales aislantes del devanado.

Es por este motivo que para máquinas de alto número de polos (hidrogeneradores) que tienen naturalmente un número de ranuras por polo y por fase relativamente pequeño, es conveniente adoptar un número de ranuras por polo y por fase fraccionario, y de este modo aun con un valor pequeño se puede obtener una forma de onda de tensión con un bajo contenido armónico.

El número de ranuras por polo y por fase del inducido se encuentra normalmente dentro de los siguientes límites:

- Máquinas de polos salientes trifásicas entre 1.5 y 5¹¹
- Turbogeneradores trifásicos entre 5 y 12

Se nota en la tabla que el factor de distribución para cada valor de ranuras por polo y por fase, tiene para algunas armónicas el mismo valor que para la fundamental.

Estas armónicas que se las denomina armónicas de ranura, producen deformaciones en la cresta de la onda debido a la discontinuidad que introducen las ranuras en la superficie del inducido.

¹¹ Criterios de diseño propuestos por el Autor.

En general las armónicas de ranura no son de gran amplitud pero, aunque pequeña, debido a su frecuencia elevada, pueden resultar una fuente de ruido introduciendo disturbios en los circuitos de comunicaciones.

El orden de la armónica se calcula con la expresión:

$$n = k * S / (p/2) \pm 1 \quad \text{Ec.3.8}$$

donde $k = 1, 2, 3, \dots$

Estas armónicas pueden atenuarse inclinando los bordes de la expansión polar respecto del eje de la máquina de una distancia igual a un paso de ranura del estator.

3.3 DETERMINACION DEL ARROLLAMIENTO

Otro conjunto de datos o adopciones permite definir:

- Entrehierro (mm) δ
- Número de vías de corriente a
- Densidad de corriente (A/mm^2) A_a
- Coeficiente de aprovechamiento
- Resistividad ($ohm \times mm^2/m$)
- Peso específico (kg/dm^3)
- Inducción en la corona (T)

Como hemos visto la forma del campo debe ser lo más sinusoidal posible, debiendo mantenerse esta condición aún en carga.

La longitud del entrehierro se debe determinar de modo tal que la distorsión del campo inductor resultante, en carga, se encuentre dentro de límites admisibles.

La distorsión del campo inductor resultante se debe a la presencia de la Fem. de reacción de inducido que actuando conjuntamente con la Fem. del campo creado por el inductor determinan la f.m.m. resultante.

Cabe recordar que la curva de inducción en carga no es igual a la suma algebraica de las dos anteriormente mencionadas, debido a los efectos de la saturación (en un extremo de la expansión polar el campo se incrementa y satura, en el otro se debilita).

Los conductores activos por ranura son los que participan en la generación de la Fem.

$$N = E * 60 * 10^8 / n\phi_1 k_p c_w \text{ Ec.3.9}$$

El número de conductores presentes por ranura está dado por el producto del número de conductores activos por ranura por el número de vías en paralelo (internas y vías de corriente externas), es decir, es el número de conductores que participan en la conducción de la corriente (total de la fase de la máquina).

El número de conductores dentro de la ranura (presentes sin tener en cuenta el número de vías internas) debe ser par, es decir, el número de conductores activos por ranura por el número de vías debe ser par.

Se determina el acortamiento (ángulo eléctrico) y el paso acortado utilizado (entero).

$$k_p = \text{Cos}(\theta/2) \text{ Ec.3.10}$$

Para la armónica fundamental, se determina el factor de distribución, de acortamiento y de devanado.

El factor de distribución:

$$k_d = \text{sen}(180^\circ * n/2m) / q \text{sen}(180^\circ / 2mq) \text{ Ec.3.11}$$

El factor de Devanado:

$$C_w (f_b k_d f_d) \quad \text{Ec 3.12}$$

Se corrige el flujo por el número de conductores adoptado y el factor de devanado determinado, al final se corrige la inducción y se recalcula la densidad lineal de corriente definitivamente adoptada.

Se determina (utilizando reiteradamente la misma rutina), para distintas armónicas los factores de distribución, acortamiento y devanado e imprime una tabla con esta información de proyecto que ayuda a evaluar la distorsión de la onda de tensión.

Con la densidad de corriente se determina la sección del conductor activo, con el número de conductores activos por ranura la sección total de conductor de la ranura. Con el coeficiente de aprovechamiento (tiene en cuenta solamente la aislación entre espiras) la sección bruta del conductor, una rutina imprime los resultados.

$$s_a = I / aA_a \quad \text{Ec. 3.13}$$

Además se determina el diámetro de un eventual conductor de sección circular. Si este valor resulta excesivo, es decir, supera los límites prácticos, el usuario en la etapa de transformar los cálculos en proyecto constructivo, deberá subdividir adecuadamente esta sección adoptando varios conductores en paralelo (paralelos internos), o planchuelas si el proyecto de la máquina así lo requiere.

3.4 DETERMINACION DE LA RANURA

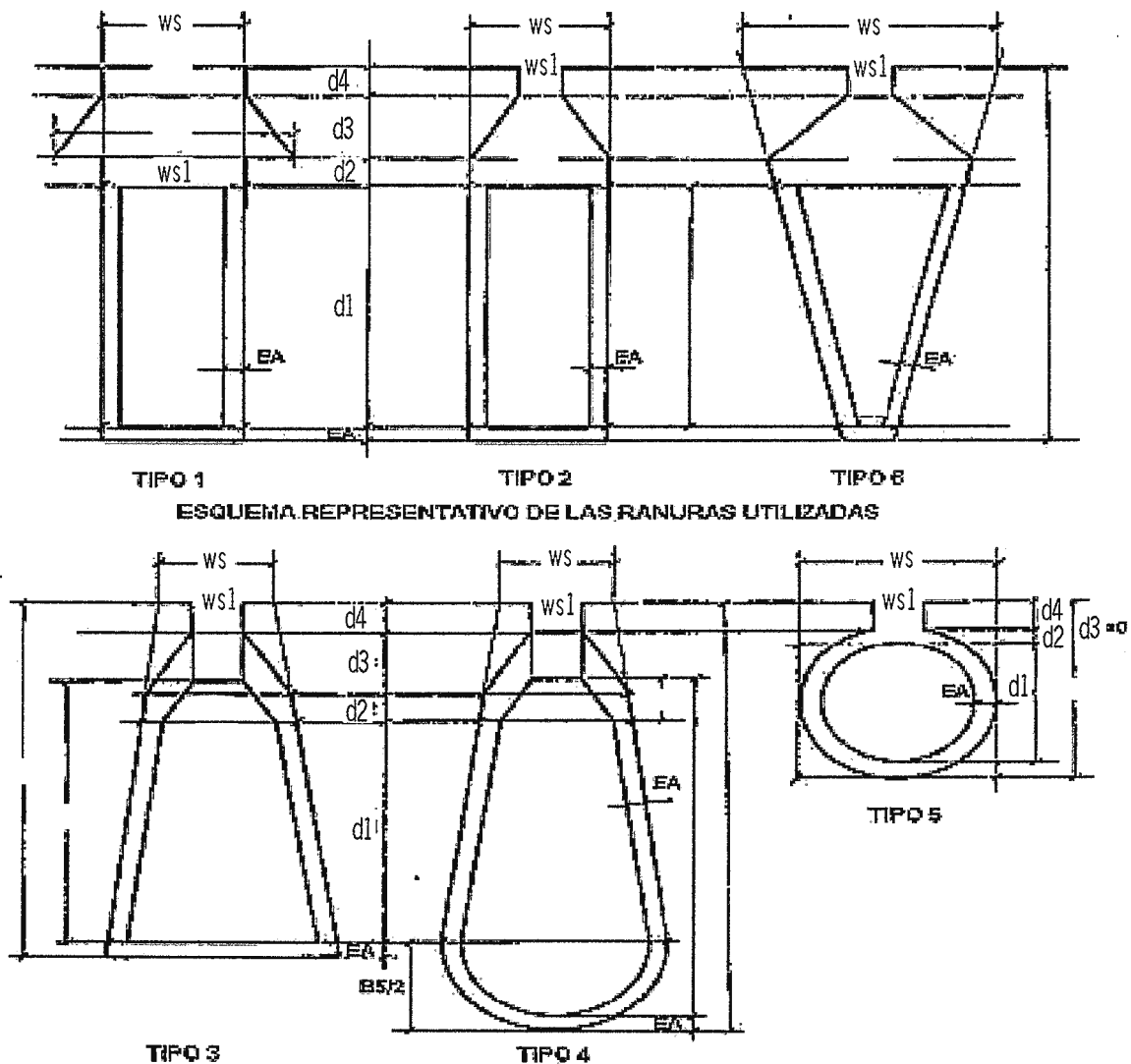


Figura 3.6¹²

¹² Cálculo y diseño de Maquinas Eléctricas-Ing.J.sacchi-Alfredo Rifaldi

En la Figura 3.6 se indican los esquemas representativos de algunas de las formas de ranuras más utilizadas en las construcciones normales de distintos tipos de máquinas rotantes.

Las ranuras tipo 1 (abierta rectangular) y tipo 2 (semicerrada rectangular) se pueden utilizar tanto en la construcción de paquetes estatóricos como rotóricos (motores asincrónicos, máquinas de corriente continua).

Las ranuras tipo 3 (semicerrada trapezoidal) y tipo 4 (semicerrada trapezoidal con fondo semicircular) se utilizan (como es obvio por su forma) exclusivamente en la construcción de paquetes estatóricos.

La ranura tipo 6 (semicerrada trapezoidal) se utiliza para rotores bobinados de motores asincrónicos trifásicos con potencia superior a los 2 ó 3 kW.

Debe destacarse que la forma que muestra la figura para esta ranura está estilizada en modo importante, su forma real tiene amplios radios de curvatura (para facilitar la fusión del metal) o bien para alojar los conductores de sección circular en el caso de rotor bobinado.

La ranura tipo 5 (semicerrada redonda), se utiliza en rotores de motores asincrónicos de jaula o bien en la construcción de los devanados amortiguadores de los alternadores, con barras redondas.

Para los alternadores la elección del tipo de ranura a utilizar en el inducido se debe realizar en función del tamaño de la máquina (potencia y tensión).

Si la máquina es de baja tensión y su devanado es realizable con conductor de sección redonda las ranuras más apropiadas son las tipo 2, 3 y 4 (semicerradas), y la elección final depende de otras consideraciones vinculadas con el diseño (mejor aprovechamiento del espacio disponible o debido a la sollicitación magnética de los dientes) o bien de carácter económico (por ejemplo disponibilidad de una matriz de corte adecuada).

Para pequeñas máquinas de baja tensión la tendencia es utilizar las ranuras tipo 3 y 4 (semicerradas trapezoidales).

Si en cambio se trata de un alternador donde por su potencia es necesario utilizar planchuela la ranura adecuada es la tipo 1 (abierta rectangular).

Si se trata de una máquina de alta tensión construidas con bobinas preformadas y aisladas por cualquiera de los procedimientos utilizados por los distintos fabricantes, también corresponde la ranura abierta rectangular.

Cabe recordar que de la elección del tipo de ranura dependen otros aspectos de diseño como son la forma de onda de la tensión inducida (armónicas de

ranura), pérdidas adicionales por pulsación de flujo etc. que deberán ser tenidos en cuenta pero que pueden ser controlados independientemente del tipo de ranura utilizada.

Se adoptan los datos que permiten determinar la geometría de la ranura del estator.

- Tipo de ranura
- Ancho de la entrada de la ranura
- Ancho de la ranura proyectada en el entrehierro
- Altura de la entrada
- Altura de la cuña (para los tipos 1 y 2) o altura del trapecio
- Donde el ancho de la ranura se reduce al ancho de entrada
- Altura de la aislación superior
- Espesor de la aislación

El programa acepta sólo los siguientes tipos de ranura para el estator:

1. Abierta rectangular
2. Semicerrada rectangular
3. Semicerrada trapezoidal
4. Semicerrada trapezoidal con fondo semicircular

Para determinar la geometría de la ranura y validar los restantes datos o adoptar valores adecuados

Finalmente en base a la sección bruta y al espesor de la aislación, se calculan las distintas alturas (ver Figura 3.7) y la profundidad de la ranura.

Finalmente se determina el coeficiente de aprovechamiento total, y se imprimen los resultados obtenidos.

3.5 DETERMINACION DE LAS INDUCCIONES EN EL ESTATOR

Se determina el ancho del diente a un tercio de la parte más estrecha, el paso en el fondo de la ranura, y el diámetro correspondiente.

Se determina la inducción a un tercio de la sección más estrecha del diente del estator, teniendo en cuenta el factor de apilado.

Con el valor de inducción en la corona estática se determina la altura correspondiente, el diámetro externo del paquete, y el peso del mismo (corona y dientes).

Si se observa la configuración del campo magnético en la corona del estator se nota que en correspondencia con el eje polar las líneas de flujo se separan hacia ambos lados, en cambio en correspondencia con el eje interpolar las líneas de flujo son normales a este eje.

En consecuencia se tiene flujo nulo en la sección de la corona que corresponde al eje del polo y flujo máximo en la sección correspondiente al eje interpolar.

El criterio¹³ utilizado para determinar la sección de la corona es adoptar un flujo uniforme a lo largo de la corona que se fija en cierto porcentaje (del orden de 80%) del valor máximo, con este flujo y la inducción adoptada se determina finalmente la altura de la corona.

3.6 PARAMETROS DEL ESTATOR

3.6.1 Reactancia del inducido

Cuando se mantiene constante la excitación y la velocidad de rotación de la máquina, y esta toma carga, se observa una variación de la tensión en bornes.

La primera causa de esta variación, respecto a la Fem. en vacío, se debe a la caída óhmica que se produce en cada una de las fases.

Pero los fenómenos vinculados con las acciones magnéticas de la corriente de inducido tienen una importancia mucho mayor en la determinación de esta caída.

Las corrientes del inducido producen flujos variables que solamente se concatenan con los conductores del inducido, lo cual permite concebir una reactancia de dispersión.

Además estas corrientes producen la llamada reacción de inducido, que causa una variación del flujo principal cuyo análisis dejamos para más adelante.

Los flujos dispersos que participan en la determinación de la reactancia de dispersión son los siguientes:

¹³ Criterio del autor tomado de: Cálculo y diseño de Maquinas Eléctricas-Ing.J.sacchi-Alfredo Rifaldi

- a. Flujo disperso de ranura
- b. Flujo disperso a lo largo de las cabezas de bobinas
- c. Flujo disperso de entrehierro

3.6.2 Flujo disperso de ranura.

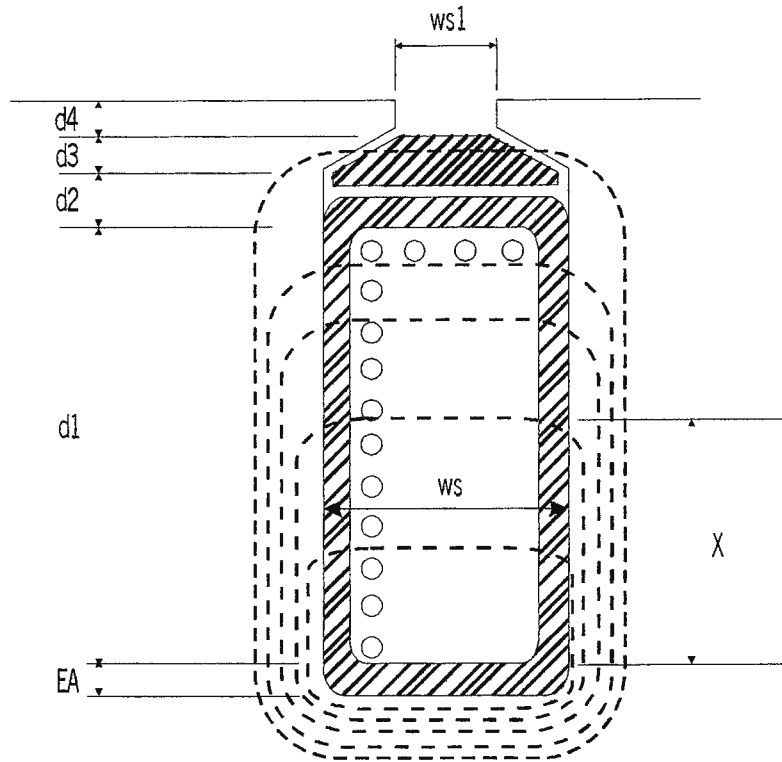


Figura 3.7

El coeficiente de autoinducción de un circuito como el que se indica en la Figura 3.7 está definido por:

$$L = \sum \frac{n_x \times \text{flujo}_x}{i} \quad \text{Ec.3.14}$$

es decir está expresado por la relación entre la sumatoria de los concatenamientos del circuito con el flujo generado y la corriente unitaria. El flujo a su vez es igual a:

$$\text{flujo}_x = \frac{i \times n_x}{R_x} \quad \text{Ec.3.15}$$

reemplazando se obtiene:

$$L = \sum \frac{n_x^2}{R_x} \quad \text{Ec.3.16}$$

siendo R_x la reluctancia del circuito, que es inversa de la permeancia específica (por unidad de longitud del paquete magnético) y su valor depende de la forma de la ranura.

La permeancia total para la ranura por unidad de longitud se determina partiendo de sus componentes elementales.

$$\varepsilon = 0.4\pi(d_1/3w_s + d_2/w_s + d_3/12w_s) \quad \text{Ec.3.17}$$

donde μ : permeancia

Hasta ahora hemos conducido el cálculo como si se tratase de un arrollamiento a estrato único.

Los cálculos prácticos de la reactancia de los arrollamientos a doble estrato es conveniente realizarlos como si fuesen a simple estrato y tener en cuenta la inducción mutua de ambos estratos mediante un factor de corrección.

Este factor para la parte de la ranura que aloja los conductores lo denominaremos (K_s) y para la parte restante (K_r).

Ambos factores dependen del acortamiento de paso utilizado y se indican en la Figura 3.8.

COEFICIENTES DE CORRECCION

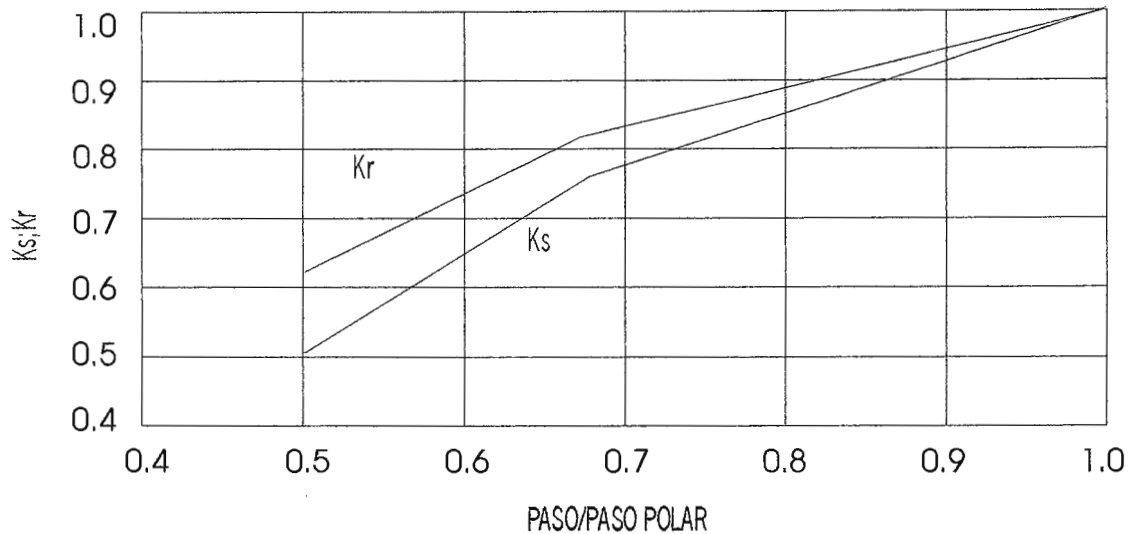


Figura 3.8.¹⁴

Para el caso que estamos considerando la permeancia por unidad de longitud es:

$$\varepsilon = 0.4\pi(d_1/3w_s + d_2/w_s + d_3/12w_s) + Ks + Kr \quad \text{Ec.3.18}$$

Para determinar la reactancia de dispersión de ranura con el método propuesto como se parte de valores específicos es necesario dar correctamente la longitud del circuito de dispersión.

El valor que debe utilizarse no es el largo total del núcleo, ni tampoco el largo que hemos denominado ideal, ni el solo largo del hierro, la longitud a utilizar debe tener en cuenta la influencia que los canales radiales de ventilación tienen en esta parte del circuito de dispersión.

En forma similar a como se obtiene la longitud efectiva o largo ideal se procede para determinar una longitud que se utiliza para esta parte del cálculo y que se determina descontando al largo total del núcleo el producto del número de canales de ventilación por su ancho equivalente, que en este caso es función del ancho de la ranura (caras paralelas) o bien del ancho W_s a la altura del diente (ranuras trapezoidales) y del ancho real de los canales de ventilación.

¹⁴ Diseño de maquinas Eléctricas de J.H.Kulhmann

La reactancia de dispersión de ranura es:

$$X_c = 1.58 * f * a^2 * 10^{-8} * l * \epsilon / 2 * p * q \quad \text{Ec.3.19}$$

donde el valor l corresponde al largo antes definido, todas las dimensiones están dadas en milímetros y el valor de la reactancia se obtiene en ohm.

3.6.3 Flujo disperso de cabezas de bobinas.

Para determinar la dispersión de la cabeza de bobina estática se necesita conocer en detalle su geometría, en esta etapa se considera conveniente adoptar un método simplificado, sacrificando la flexibilidad (aplicabilidad a distintas formas constructivas) en aras de una mayor claridad didáctica.

Para determinar la geometría de cabeza de bobina se utiliza el siguiente procedimiento.

En función de la tensión se determina la parte recta fuera del paquete (b), esta distancia se estima en 15 mm para 380 V y 40 mm para 1000 V.

A continuación se determina el paso medio de ranura para la mitad de la profundidad de la ranura (g).

$$= \pi(D + d * s) * P / p \cos \alpha \quad \text{Ec.3.20}$$

$$\text{sen } \alpha = d / t_1 \quad \text{Ec.3.21}$$

$$t_1 = \pi D / S \quad \text{Ec.3.22}$$

Se determina la distancia que debe haber entre los costados de cabezas de bobina (en función de la tensión) mediante la Figura 3.9.

DISTANCIA EN AIRE ENTRE COSTADOS DE CABEZAS DE BOBINAS

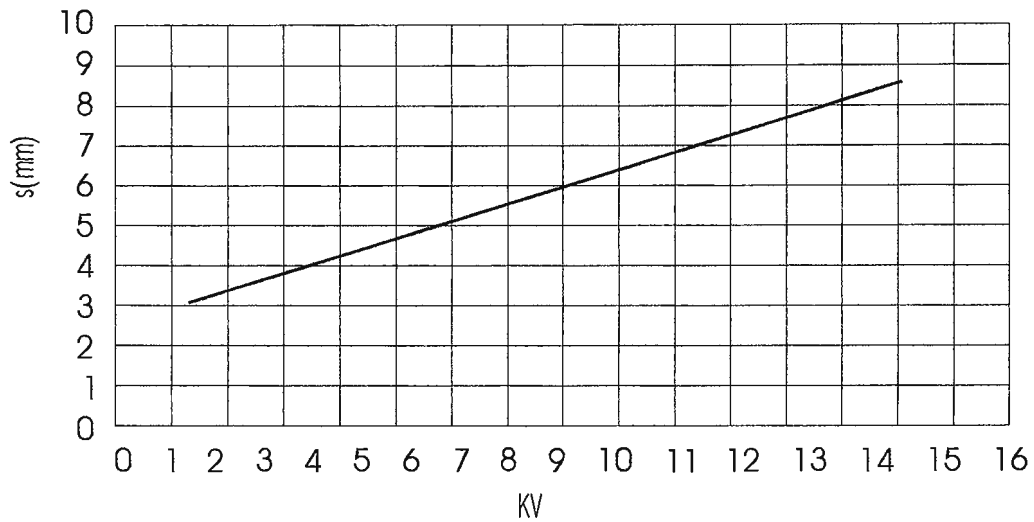


Figura 3.9¹⁵

Se determina la distancia entre ejes de bobina (d) agregándole a la anterior el ancho medio de bobina.

Para que la cabeza de bobina pueda ser construida es necesario que la distancia entre ejes de costado de bobina (d) sea mayor o igual a una cierta fracción del paso medio de ranura (s).

Por ejemplo si el ángulo de inclinación de la cabeza de bobina respecto del paquete magnético es 50 grados la relación (d/s) sería aproximadamente 0.75, se considera que este ángulo no debe superarse para poder realizar la construcción.

¹⁵ Cálculo y diseño de Maquinas Eléctricas-Ing.J.sacchi-Alfredo Rifaldi

DIMENSIONAMIENTO DE LA CABEZA DE LA BOBINA

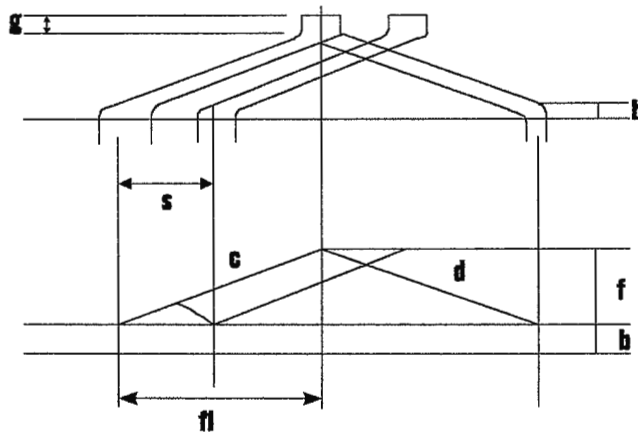


Figura 3.10

La Figura 3.10 muestra la geometría esquemática de las cabezas de bobina y partiendo de los valores fijados se determina (c) y (f) completando todas las relaciones geométricas, que permiten entonces calcular la dispersión de cabeza de bobina. En función de la tensión nominal de la máquina se obtiene de la Figura 3.11.

FACTOR DIMENSIONAMIENTO LONGITUD CABEZA DE BOBINA EN FUNCION DE LA TENSION

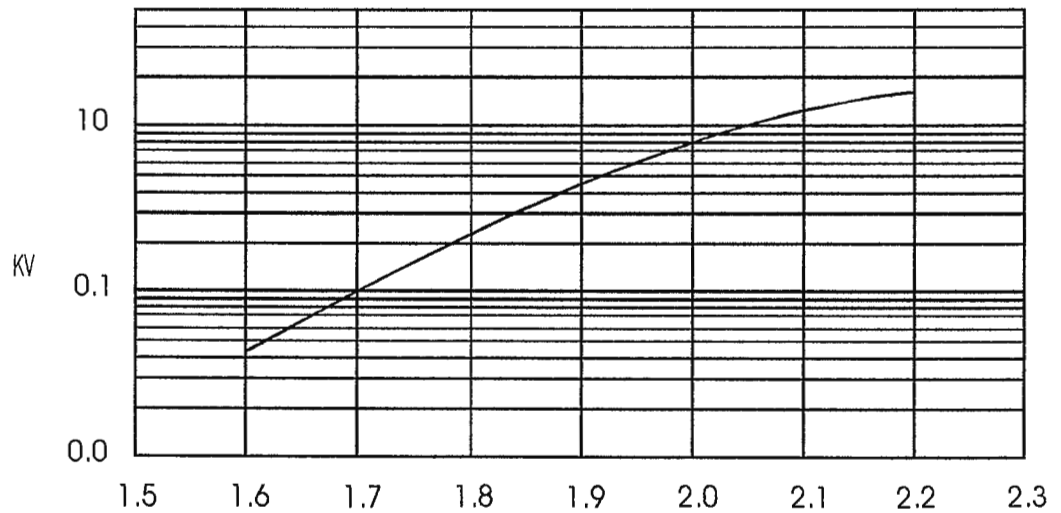


Figura 3.11¹⁶

¹⁶ Cálculo y diseño de Maquinas Eléctricas-Ing.J.sacchi-Alfredo Rifaldi

Un factor de dimensionamiento (FD) que multiplicado por el paso polar permite determinar la longitud aproximada de la cabeza de bobina (L_a) que se utiliza para determinar el peso.

$$L_a = [\pi(D + d_s) / p * \cos\alpha]P + 2b + d_s + lcm \quad \text{Ec.3.23}$$

$$G_a = L_a N a s_a * 8.9 * 10^{-5} \text{ Kg} \quad \text{Ec.3.24}$$

La resistencia por fase del devanado de armadura .

$$R_a = L_a * N * r / a * s_a * 10^4 \quad \text{Ec.3.25}$$

Donde: $r * 10^{-4}$ es la resistencia del cobre por cada centímetro y por cada mm^2 de sección. Para 25 C $r = 1.74$ y para 75 C $r = 2.11$.

Se calcula la permeancia de esta parte mediante:

$$\varepsilon_c = 0.43 * L_a * (k_p)^2 \quad \text{Ec.3.26}$$

siendo:

longitud media de la cabeza en (mm) L_a

factor de acortamiento k_p

La reactancia de dispersión de cabeza se calcula con:

$$X_b = 1.58 * f * a^2 * 10^{-8} * \varepsilon_c / 2p \quad \text{Ec3.27}$$

La trayectoria del flujo disperso alrededor de los conductores que forman las cabezas de bobinas está influenciada por la presencia de los escudos o tapas porta cojinetes de la máquina (que pueden ser de material magnético) modificando sensiblemente su distribución.

Además debido a que las cabezas de bobinas correspondientes a fases distintas están recorridas por corrientes de fase y amplitud diferentes, y normalmente cercanas entre sí, no se puede prescindir de los efectos de inducción mutua.

Por consiguiente el cálculo de la dispersión de esta parte sólo se puede realizar de un modo aproximado, siendo necesario para una mayor exactitud

la realización de mediciones experimentales que no siempre son fácilmente realizables.

3.6.4 Flujo disperso de entrehierro.

En las máquinas con entrehierro grande (como son los alternadores) se deben tener en cuenta las líneas de dispersión que se establecen entre las cabezas de los dientes cerrándose por el aire.

Cuando el entrehierro es variable, no se tiene en cuenta su aumento desde el eje del polo hacia los extremos de la expansión polar, debido a que la permeancia aumenta poco con la longitud de entrehierro.

Además la permeancia se multiplica por la relación (τ), excluyéndose de este modo las ranuras ubicadas en la zona interpolar.

Distintos autores proponen métodos que basándose en algunas hipótesis simplificativas permiten calcular de un modo aproximado estos flujos de dispersión.

La permeancia de cabeza de dientes se calcula para máquinas de polos salientes mediante:

$$\varepsilon_d = [(5 * \delta / w_{s1}) / 5 + (4 * \delta / w_{s1})] * \tau \quad \text{Ec.3.28}$$

donde:

entrehierro mínimo (en el eje del polo) en mm δ

La reactancia de dispersión de entrehierro se calcula con:

$$X_l = 1.58 * f * a^2 * l * 10^{-8} * \varepsilon_d \quad \text{Ec.3.29}$$

donde l es el largo ideal definido al inicio del cálculo.

La reactancia de dispersión total por fase es igual a la suma de las tres antes detalladas

$$X = X_c + X_l + X_{b,ohm} \quad \text{Ec.3.30}$$

3.7 DIMENSIONAMIENTO DEL INDUCTOR .

Para poder dimensionar el inductor es necesario previamente determinar el diámetro del eje en el núcleo del rotor para conocer cual es el espacio que queda disponible para el polo y la corona polar.

El cálculo de los ejes y gorriones de las máquinas eléctricas se efectúa utilizando los mismos criterios que para la construcción general de máquinas. Sin embargo, no solamente se deben tener en cuenta los esfuerzos mecánicos (de flexión y torsión) que actúan sobre dichos órganos, las condiciones de calentamiento y de lubricación de los cojinetes y la velocidad crítica, sino también muy particularmente la flecha del eje.

Debido al entrehierro relativamente exiguo entre el inducido y las piezas polares, una deformación del eje demasiado pronunciada trae consigo, en máquinas multipolares, asimetrías en los distintos circuitos magnéticos que producen una tracción magnética unilateral.

Para simplificar el cálculo de los ejes se pueden utilizar expresiones empíricas (distintas según el tipo de máquina) que para construcciones normales dan valores suficientemente exactos para el diámetro del eje en el núcleo del rotor o en el asiento del inducido.

Para el alternador la siguiente fórmula permite estimar este diámetro:

$$Deje = (32..35) * 1000 * (POT / RPMS)^{0.25} mm \quad \text{Ec.3.31}$$

Para todo eje cargado por el correspondiente rotor existe una velocidad crítica, que corresponde a la coincidencia del período propio de vibración transversal del eje con los impulsos producidos por la fuerza centrífuga.

Para que un sistema, incluso perfectamente equilibrado, funcione lejos de la posibilidad de vibraciones intolerables y peligros de resonancia, su velocidad crítica debe ser diferente a la velocidad de régimen.

En general es suficiente una diferencia de 20% entre las dos velocidades y preferiblemente que la velocidad de régimen se encuentre por debajo de la velocidad crítica.

Se calcula el radio de curvatura de la expansión polar teniendo en cuenta si el entrehierro es de tipo constante o variable.

Si es constante el cálculo del radio de curvatura es inmediato, si es variable (con ley sinusoidal) se lo hace con:

$$R_{cep} = (1 - Aux) * Diam / 2 + 28 * Aux * (p / 2)^2 \quad \text{Ec3.32}$$

siendo:

$$Aux = 2 * \delta / Diam \quad \text{Ec3.33}$$

Se deben adoptar los siguientes valores para avanzar en el cálculo:

- Relación de alturas del extremo de la expansión polar a la semicuerda de la expansión.
- Relación flujo disperso a flujo útil
- Inducción en el cuello del polo
- Relación altura del cuello al ancho del polo.
- Inducción en la corona polar

Para asignar el valor del flujo disperso (líneas de campo que se cierran entre dos polos contiguos) es necesario representar la configuración del campo.

Para máquinas normales y con una relación $(\tau) = 2/3$ se puede suponer que el flujo disperso es aproximadamente un 20% del flujo útil.

Para el dimensionamiento de la expansión polar, se debe recordar que, normalmente, se debe prever el espacio para las barras amortiguadoras, cuyo diseño veremos más adelante, adoptándose para ello la relación entre la altura de la expansión polar y su semicuerda $BPP/APP = 0.2$.

El valor de la inducción máxima en el cuello del polo y en la corona polar como así también en las restantes partes del circuito magnético, son función de las condiciones de funcionamiento de la máquina.

Para frecuencia de 50 Hz en condiciones de sobreexcitación ($\cos\phi = 0.7$) y funcionamiento en vacío a la tensión nominal se pueden adoptar los siguientes valores:

- Cuello del polo 1.3 a 1.7 T¹⁷
- Corona polar 1.2 a 1.4 T

los valores indicados son válidos para chapa normal (SAE 1010) o acero fundido.

¹⁷ Diseño de Maquinas Eléctricas -J.H Kuhlmann

La relación altura del cuello al ancho del polo se adopta igual a 1.5 que da una proporción aceptable. Claro está que se deberá compatibilizar esta relación con otros aspectos vinculados con el diseño de la corona del inductor y con el eventual espacio disponible para el devanado de excitación.

Con las relaciones adoptadas y la inducción en el cuello del polo se determina la geometría del mismo, es decir, dimensiones de la expansión polar, ancho y altura del cuello del polo, según muestra la Figura 3.12.

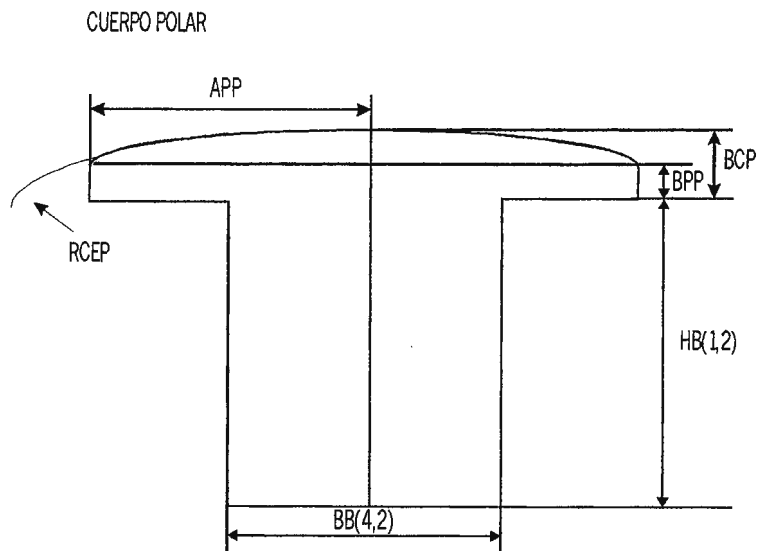


Figura 3.12

Con un razonamiento geométrico, en base a las dimensiones ya determinadas y a la relación altura del cuello ancho del polo, se calcula la altura que queda disponible para la corona.

Por otra parte se determina esta altura respetando el valor de la inducción en la corona polar, debiendo este valor ser compatible con el obtenido anteriormente.

Constantes Aproximadas para el Campo Disperso. λ

| KVA | 200rpm | 400rpm | 600rpm | 900rpm | 1200rpm | 1800rpm |
|------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 0 | 1.189 | 1.144 | 1.117 | 1.086 | 1.083 | 1.052 |
| 100 | 1.217 | 1.172 | 1.133 | 1.117 | 1.1 | 1.068 |
| 200 | 1.239 | 1.183 | 1.156 | 1.139 | 1.117 | 1.085 |
| 400 | 1.267 | 1.206 | 1.183 | 1.161 | 1.139 | 1.106 |
| 600 | 1.294 | 1.228 | 1.2 | 1.178 | 1.152 | 1.119 |
| 800 | 1.311 | 1.239 | 1.217 | 1.184 | 1.161 | 1.127 |
| 1000 | 1.328 | 1.25 | 1.228 | 1.194 | 1.172 | 1.138 |
| 1200 | 1.333 | 1.261 | 1.233 | 1.2 | 1.178 | 1.144 |
| 1400 | 1.339 | 1.267 | 1.239 | 1.211 | 1.183 | 1.149 |
| 1600 | 1.35 | 1.278 | 1.244 | 1.217 | 1.186 | 1.152 |
| 1800 | 1.356 | 1.28 | 1.25 | 1.222 | 1.189 | 1.155 |
| 2000 | 1.367 | 1.283 | 1.256 | 1.228 | 1.194 | 1.159 |
| 2200 | 1.372 | 1.289 | 1.261 | 1.23 | 1.20 | 1.165 |
| 2400 | 1.378 | 1.294 | 1.267 | 1.233 | 1.203 | 1.168 |
| 2600 | 1.383 | 1.30 | 1.272 | 1.234 | 1.206 | 1.171 |
| 2800 | 1.385 | 1.301 | 1.273 | 1.239 | 1.211 | 1.176 |
| 3000 | 1.389 | 1.306 | 1.277 | 1.244 | 1.213 | 1.179 |
| 3200 | 1.393 | 1.311 | 1.281 | 1.25 | 1.216 | 1.181 |
| 3400 | 1.396 | 1.313 | 1.283 | 1.251 | 1.222 | 1.187 |
| 3600 | 1.4 | 1.3 | 1.289 | 1.256 | 1.225 | 1.189 |
| 3800 | 1.406 | 1.322 | 1.291 | 1.261 | 1.230 | 1.194 |
| 4000 | 1.411 | 1.323 | 1.294 | 1.26 | 1.228 | 1.192 |

TABLA 3.3¹⁸

3.8 CARACTERISTICAS MAGNETICAS

Se deben conocer las características del hierro adoptado para la construcción.

Estas se dan como relación entre los valores de inducción y las pérdidas específicas, y relación entre los valores de inducción y la correspondiente intensidad de campo (característica magnética).

Estos datos deben conocerse tanto para el material utilizado en el estator, como para el material utilizado en el rotor.

Otros datos necesarios son:

- Coeficiente de reacción de armadura
- Frecuencia de referencia de la característica inducción pérdidas del material del estator

¹⁸ De la grafica Constantes aproximadas de dispersión para maquinas de polos salientes .J.H.kulhmann

- Exponente de la característica anterior
- Pérdidas de ventilación
- Factor de aumento de las pérdidas en el hierro.
- Pérdidas adicionales

Se controla la validez de los datos magnéticos introducidos y eventualmente se los reemplaza por los que el programa contiene.

Se determina para el valor de tensión 1 por unidad la intensidad de campo en el estator y en el rotor (corona estática, diente, cuello del polo, corona rotórica, y el entrehierro) y la fuerza magnetomotriz total.

Se determinan las pérdidas en la corona del estator y en los dientes, y se las corrige teniendo en cuenta la frecuencia y el factor de aumento de pérdidas.

3.9 FUERZA MAGNETOMOTRIZ DE REACCION.

Supongamos que la carga del alternador es totalmente inductiva o capacitiva, razón por la cual la curva de Fem. del inducido presenta su valor máximo en correspondencia con el centro del polo.

En un alternador de polos salientes la curva de Fem. del inductor es constante frente a la expansión polar, mientras que la curva de Fem. del inducido varía de modo tal que se puede considerar sinusoidal.

Se puede determinar en consecuencia el valor medio de esta Fem. de inducido frente a la expansión polar que, como resulta obvio, depende de la relación entre la longitud de la expansión polar y el paso polar (τ), y que para una relación 2/3 normalmente utilizada vale 0.826.

A este punto recordemos que la Fem. generada por el inducido tiene en cualquier instante un valor máximo prácticamente constante y que con distribución próxima a una senoide, se desplaza a lo largo del entrehierro con velocidad angular sincrónica.

Al producto de la amplitud de la Fem. de reacción de inducido 1.35 (se considera solamente la fundamental) por el valor medio antes calculado y por el factor de distribución (se adopta $K_d=0.96$), que tiene en cuenta que se trata de un devanado con un número de ranuras por polo y fase mayor que 1, se lo designa coeficiente de reacción de armadura (CRI) y se indica en la Figura 3.13. para distintos valores de la relación τ .

COEFICIENTE DE REACCION DE INDUCIDO

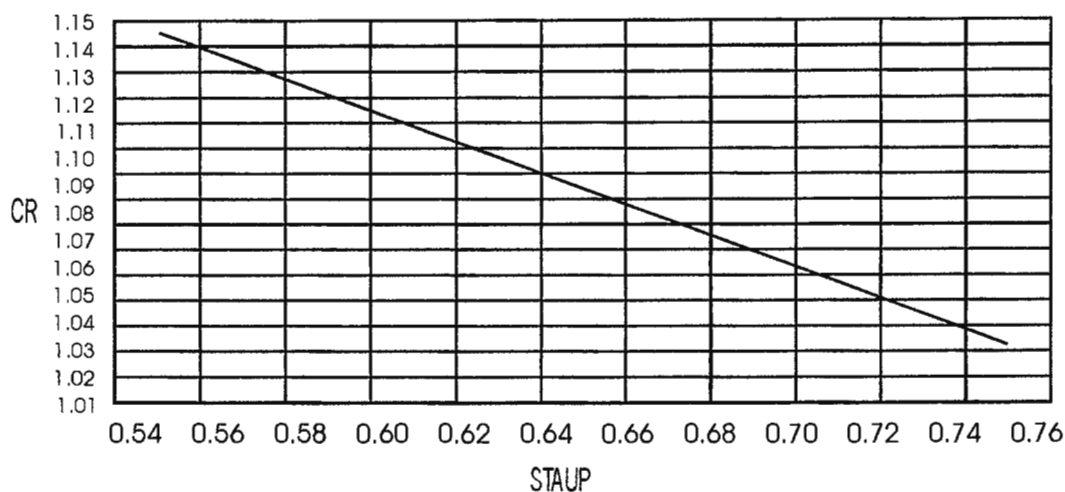


Figura 3.13¹⁹

La Fem. de reacción de inducido reducida al inductor (que es lo que interesa para el cálculo) se determina con:

$$RI = CRI * a * I * q * k_p \quad \text{Ec3.34}$$

donde:

corriente de fase I

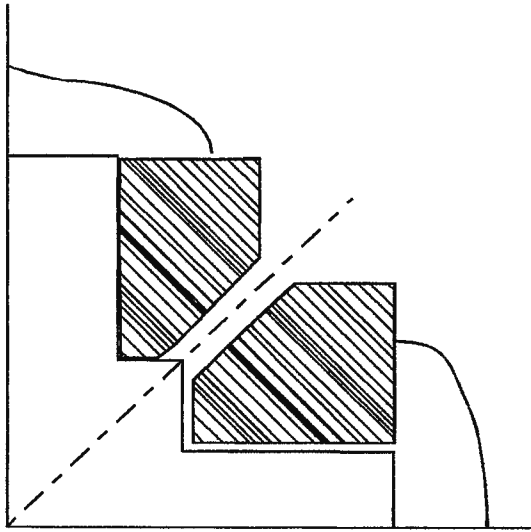
Si el valor del coeficiente de reacción de armadura no ha sido impuesto como dato, se lo determina en base a la relación entre en largo de la expansión polar y el paso polar, y finalmente calcula la reacción de armadura.

3.10 DETERMINACION DEL DEVANADO DEL POLO INDUCTOR

En las máquinas con bajo número de polos normalmente el espacio disponible para el arrollamiento de excitación resulta limitado y para lograr un mayor aprovechamiento la bobina se realiza con sección no rectangular.

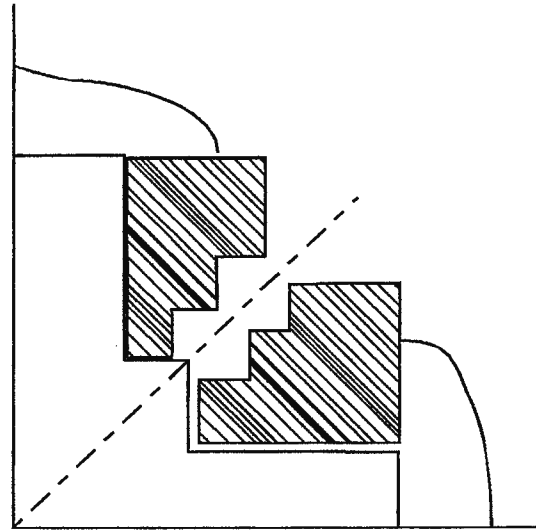
Si el arrollamiento se realiza con conductor redondo la sección de la bobina puede adoptar la forma indicada en la Figura 3.14a en cambio si se lo realiza con planchuela la sección del bobinado puede tener un contorno escalonado según se indica en la Figura 3.14b.

¹⁹ Cálculo y diseño de Maquinas Eléctricas-Ing.J.sacchi-Alfredo Rifaldi



(A)

Figura 3.14a



(B)

Figura 3.14b.

Cuando se desea obtener una buena refrigeración de la bobina estos arrollamientos se realizan según se indica en la Figura 3.15.

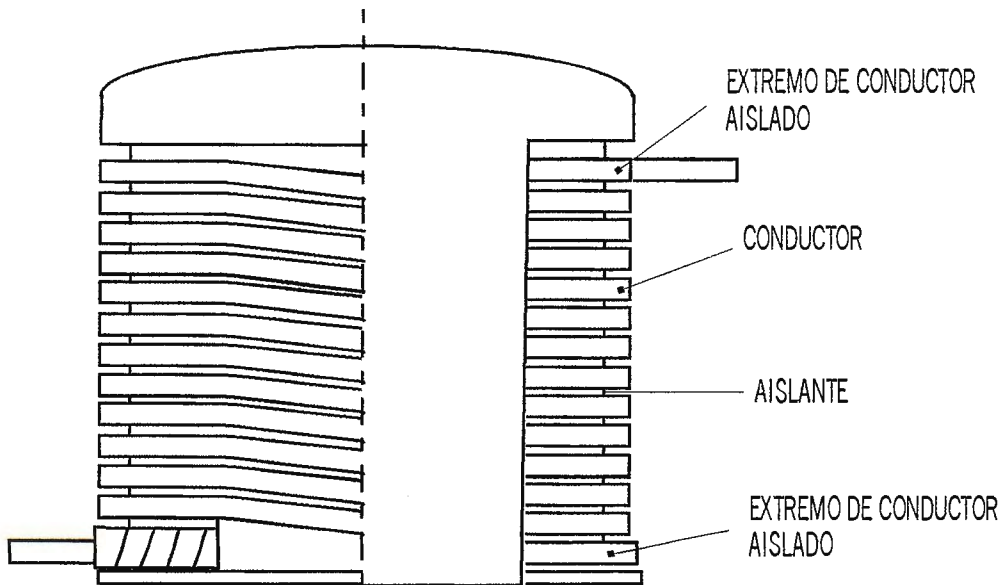


Figura 3.15.²⁰

Los conductores de cobre desnudos están aislados solamente contra el polo y entre si utilizando para ello adecuados materiales aislantes (por ejemplo nomex) lográndose de este modo que el calor que se produce debido a las pérdidas por efecto Joule sea fácilmente entregado al fluido refrigerante.

Esta forma constructiva se adopta particularmente en máquinas de baja polaridad (espacio limitado), permitiendo adoptar valores de densidad de corriente bastante elevados.

Como se puede observar comparando las figuras la utilización del espacio disponible realizando el devanado con sección rectangular es menor que si el mismo fuese de sección no rectangular, pero la primera es preferible pues presenta la ventaja de una mejor refrigeración.

Si la máquina tiene un número de polos elevado (hidrogeneradores) el espacio disponible para el arrollamiento resulta siempre abundante, pero también la sección del conductor resulta muy grande, y el arrollamiento se lo realiza del modo ya visto en la Figura 3.16.

Las secciones rectangulares de los conductores tienen el lado mayor (b) comprendido normalmente entre 20 y 70 mm, y el plegado en los extremos del devanado se puede realizar con un radio interior (r) que resulta como mínimo igual a la dimensión b de la planchuela siempre que su lado menor (s) sea mayor o igual a $(0.5 + b/100)$ mm.

Para el dimensionamiento del devanado del inductor se deben adoptar una serie de parámetros que están vinculados con el tipo de diseño que se piensa utilizar.

Estos datos son los siguientes:

- Tensión por polo
- Densidad de corriente en el arrollamiento
- Coeficiente de aprovechamiento
- Resistividad del conductor (a la temperatura que se presume alcanzar en condiciones de régimen).
- Peso específico del conductor
- Espesor de la aislamiento del devanado contra masa

²⁰ Diseño de Maquinas Eléctricas- J.H Kulhmann

En el programa el cálculo se conduce en principio independientemente del tipo de diseño adoptado, de la forma que se indica a continuación.

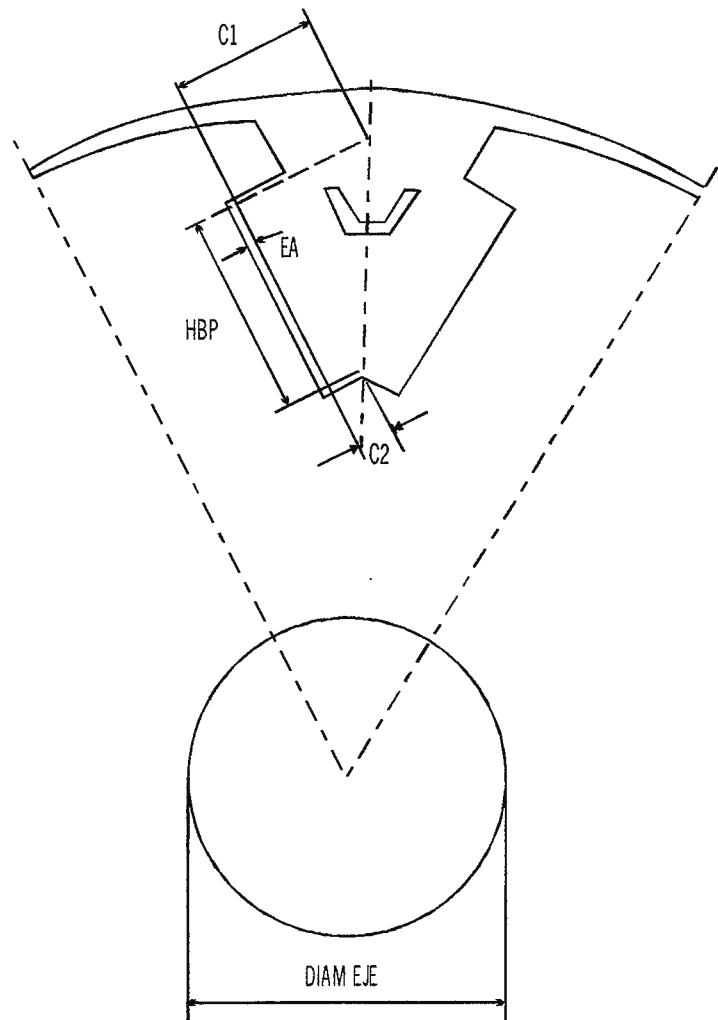


Figura 3.16²¹

De acuerdo con la nomenclatura que indica la Figura 3.16 se calcula la sección teórica disponible de la siguiente manera:

$$SBD = HBP * EBP(mm^2) \quad \text{Ec3.35}$$

donde:

$$EBP = (C_1 + C_2)/2 \quad \text{Ec3.36}$$

²¹ Cálculo y diseño de Maquinas Eléctricas-Ing.J.sacchi-Alfredo Rifaldi

Como consecuencia de los esfuerzos centrífugos a que se ven sometidos los arrollamientos en funcionamiento, se deben utilizar elementos de sujeción que garanticen su indeformabilidad y que se indican en la Figura 3.17.

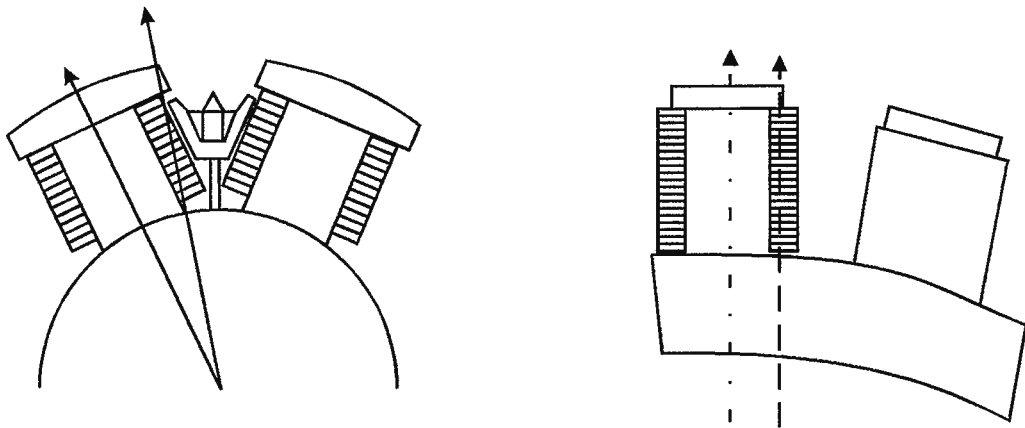


Figura 3.17

El efecto de la fuerza centrífuga sobre las bobinas es diferente según se trate de polos pequeños sobre rotores de gran diámetro o bien de polos grandes en relación con el diámetro de la corona polar.

En el primer caso la fuerza centrífuga empuja a la bobina en la dirección del polo contra la expansión polar, en el segundo caso la bobina tiende además a deshacerse y separarse lateralmente según indica la Figura 3.17.

Definida la sección del conductor se determina el calibre del conductor utilizando la siguiente tabla:

| A(mm ²) | CALIBRE |
|---------------------|---------|
| 0.01266 | 36 |
| 0.01597 | 35 |
| 0.02014 | 34 |
| 0.0254 | 33 |
| 0.03203 | 32 |
| 0.04039 | 31 |
| 0.05093 | 30 |
| 0.06422 | 29 |
| 0.08098 | 28 |
| 0.1021 | 27 |
| 0.1288 | 26 |
| 0.1624 | 25 |
| 0.2047 | 24 |
| 0.2581 | 23 |
| 0.3255 | 22 |

| | |
|---------|-----|
| 0.4105 | 21 |
| 0.5176 | 20 |
| 0.6529 | 19 |
| 0.8232 | 18 |
| 1.038 | 17 |
| 1.309 | 16 |
| 1.65 | 15 |
| 2.081 | 14 |
| 2.624 | 13 |
| 3.309 | 12 |
| 4.172 | 11 |
| 5.261 | 10 |
| 6.632 | 9 |
| 8.367 | 8 |
| 10.55 | 7 |
| 13.303 | 6 |
| 16.774 | 5 |
| 21.148 | 4 |
| 26.67 | 3 |
| 33.632 | 2 |
| 53.477 | 1/0 |
| 67.419 | 2/0 |
| 107.225 | 4/0 |

Tabla 3.4²²

3.11 DETERMINACION DE LAS PERDIDAS.

Finalmente se determinan las pérdidas de excitación, las pérdidas en carga del devanado estático, las pérdidas mecánicas y de ventilación (si no fueron entradas como dato), a todas éstas se le suman las pérdidas en el hierro del estator.

Pérdidas mecánicas y de ventilación.

Las pérdidas de ventilación (rozamiento con el aire) corresponden a la potencia necesaria para obtener una ventilación suficiente para disipar el calor producido por las pérdidas presentes en la máquina, en condiciones normales de funcionamiento.

Estas pérdidas no se pueden calcular por medio de fórmulas generales, debido a la gran variedad de formas constructivas y tipos de ventilación, es

²² tabla obtenida de anexos : Diseño de aparatos eléctricos de J.H.KULHMANN

decir, debido al gran número de elementos que intervienen para definir su valor.

Las pérdidas por rozamiento en los cojinetes se pueden considerar proporcionales a la velocidad, al menos mientras éstas no resulten de valor muy pequeño.

Para evaluar estas pérdidas es conveniente referirse a construcciones similares o bien utilizar una expresión empírica que permita estimarlas en forma aproximada.

Las pérdidas mecánicas, es decir, las pérdidas de rozamiento más las de ventilación se pueden determinar con la siguiente expresión:

$$PERVEN = 0.35 * 10^{-3} * POT * \sqrt{RPMS(Kw)} \text{ EC3.37}$$

Pérdidas adicionales.

Las pérdidas adicionales son aquellas que no son fácilmente calculables, pueden subdividirse en dos grupos según que dependan de la tensión o de la corriente.

Al primer grupo pertenecen las pérdidas superficiales y de pulsación, las producidas por un aislamiento imperfecto entre las chapas que constituyen la estructura magnética, por la presencia de rebabas y las producidas en la juntas (flujo que atraviesa partes de notable espesor según una dirección transversal).

Estas pérdidas pueden ser tenidas en cuenta mediante oportunos factores de corrección referidos a las pérdidas principales (tiene aquí notable importancia la experiencia que el fabricante posee de construcciones similares), y pueden determinarse simplemente con mediciones realizadas en vacío.

Las pérdidas adicionales dependientes de la carga pueden determinarse experimentalmente en muy pocos casos (por ejemplo en las máquinas sincrónicas), generalmente se pueden determinar sólo indirectamente, por ejemplo en base al calentamiento.

Estas pérdidas pueden estar presentes tanto en el hierro como en el conductor activo, como así también en las partes estructurales.

Algunas de estas pérdidas (por ejemplo las pérdidas por concentración de corriente en un conductor, las pérdidas superficiales y de pulsación en los

dientes causados por la fuerza magneto motriz), son calculables dentro de ciertos límites.

Otras resultan difícilmente calculables por la complejidad que depende de la forma de los arrollamientos y de las partes metálicas macizas que constituyen ciertos componentes de la máquina.

El estudio de los campos magnéticos que se producen en las zonas afectadas por los flujos dispersos puede suministrar indicaciones útiles para la adopción de adecuados recursos que permitan limitarlas.

En particular se trata de reducir la intensidad de los campos cercanos a partes macizas utilizando materiales no magnéticos.

Como dicho las pérdidas adicionales dependientes de la tensión se las puede evaluar mediante mediciones realizadas en vacío, en la práctica se denominan pérdidas adicionales solamente a las pérdidas dependientes de la corriente.

Las pérdidas adicionales pueden entrarse como dato, de no ser así el programa las evalúa como un porcentaje de la suma de pérdidas anteriormente realizada.

Para la determinación de las pérdidas adicionales, correspondientes a la corriente y frecuencia nominales, se procede del mismo modo como para la determinación de las pérdidas en el hierro, pero con la máquina cortocircuitada y con la excitación necesaria para que circule la corriente nominal.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SOFTWARE EN JAVA

4.0 ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SOFTWARE EN JAVA.

PROGRAMA CODIFICADO

En este capítulo se toma en cuenta todo lo anteriormente expuesto en la fase de diseño de la máquina síncrona. Debido a la variedad de diseñadores utilizados en la recopilación de información acerca de los procedimientos de diseño, limitaciones, consideraciones y valores propuestos; nos vemos en la necesidad de limitar los alcances del software. Esto se debe mayormente a las diferencias de criterio y utilización de métodos, que sin embargo nos fue posible adoptar una metodología bastante individual aunque con mucha influencia externa.

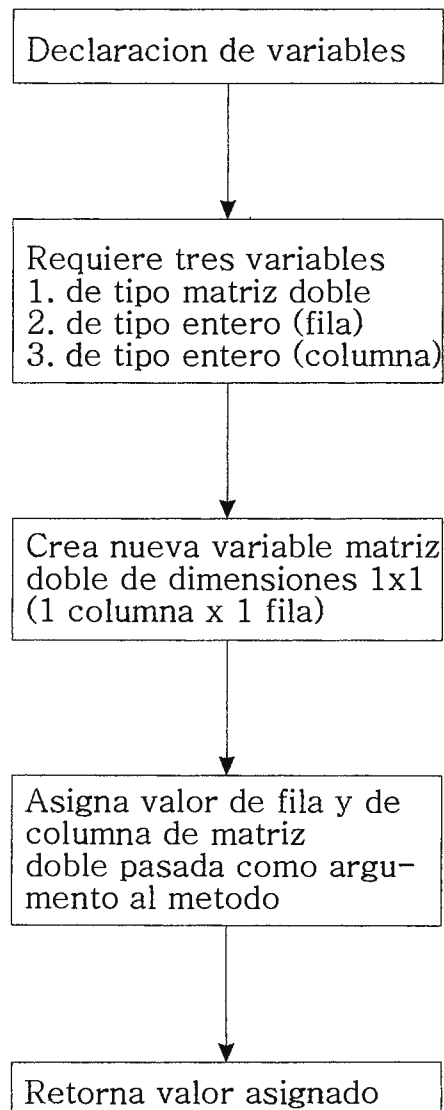
Para la proveer una ingeniería del software es necesario mostrar el procedimiento a seguir mediante un flujo de ideas que nos lleven a la obtención de los parámetros de diseño. Este flujo o procedimiento de lógicas es el que hace posible la programación. Con la adopción de flujo gramas se es más fácil la codificación del programa. Como se puede observar, todo el capítulo anterior es prácticamente un manual de métodos y procedimientos, por lo que se considera un flujo grama, ya que lleva una secuencia lógica de diseño, en donde se calculan parámetros con ciertas restricciones inicialmente para obtener los valores adecuados posteriormente.

Aunque el diseño de la máquina síncrona ya fue establecido en pasos, es importante hacerlo de manera gráfica, a manera de obtener un campo de visión más amplio del problema y sus posibles soluciones.

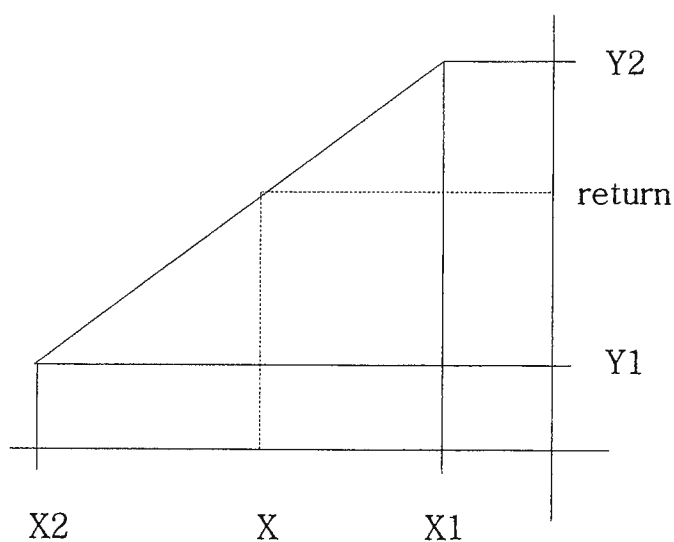
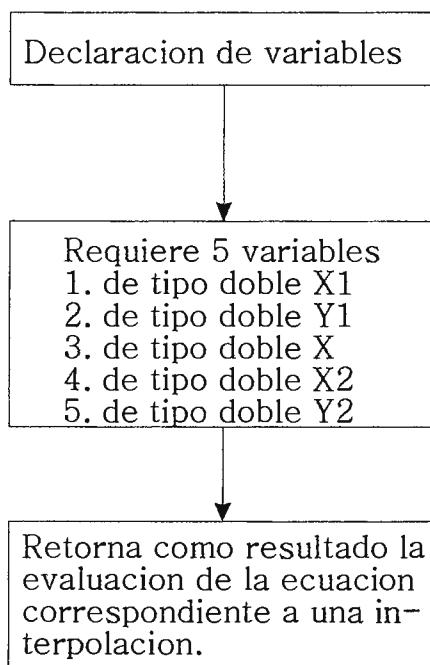
A continuación se muestra el diagrama de flujo propuesto y que en base a ello se generó el software, es importante mencionar sin embargo que muchas de las rutinas que el

programa pudiese haber hecho fueron depuradas en el diseño paso a paso para obtener un diseño exhaustivo mas que iterativo.

Este es el diagrama representativo de lo que en el programa se llama “extractData”, que simplemente es un método que nos permite extraer un valor de una matriz cualquiera, proporcionándole tres datos como argumentos: la matriz, la fila y la columna.



Este es otro método que nos ayudo mucho, su representación es como sigue y su función fue la de interpolar entre dos valores que no pudiesen ser hallados exactamente en la tabla, se muestra además la lógica de la interpolación. Su nombre es “Inter.”.



Este finalmente es el método quizá más importante, ya que de este nos apoyamos para buscar datos dentro de tablas, pero que funciona en conjunto con los otros dos anteriores, su nombre es "search". Este método buscaba el valor; si lo encontraba exactamente como es, retornaba el valor en intersección con dicho valor y la columna deseada. Se contaba con el hecho que la columna a buscar con el valor de entrada siempre era la columna cero.

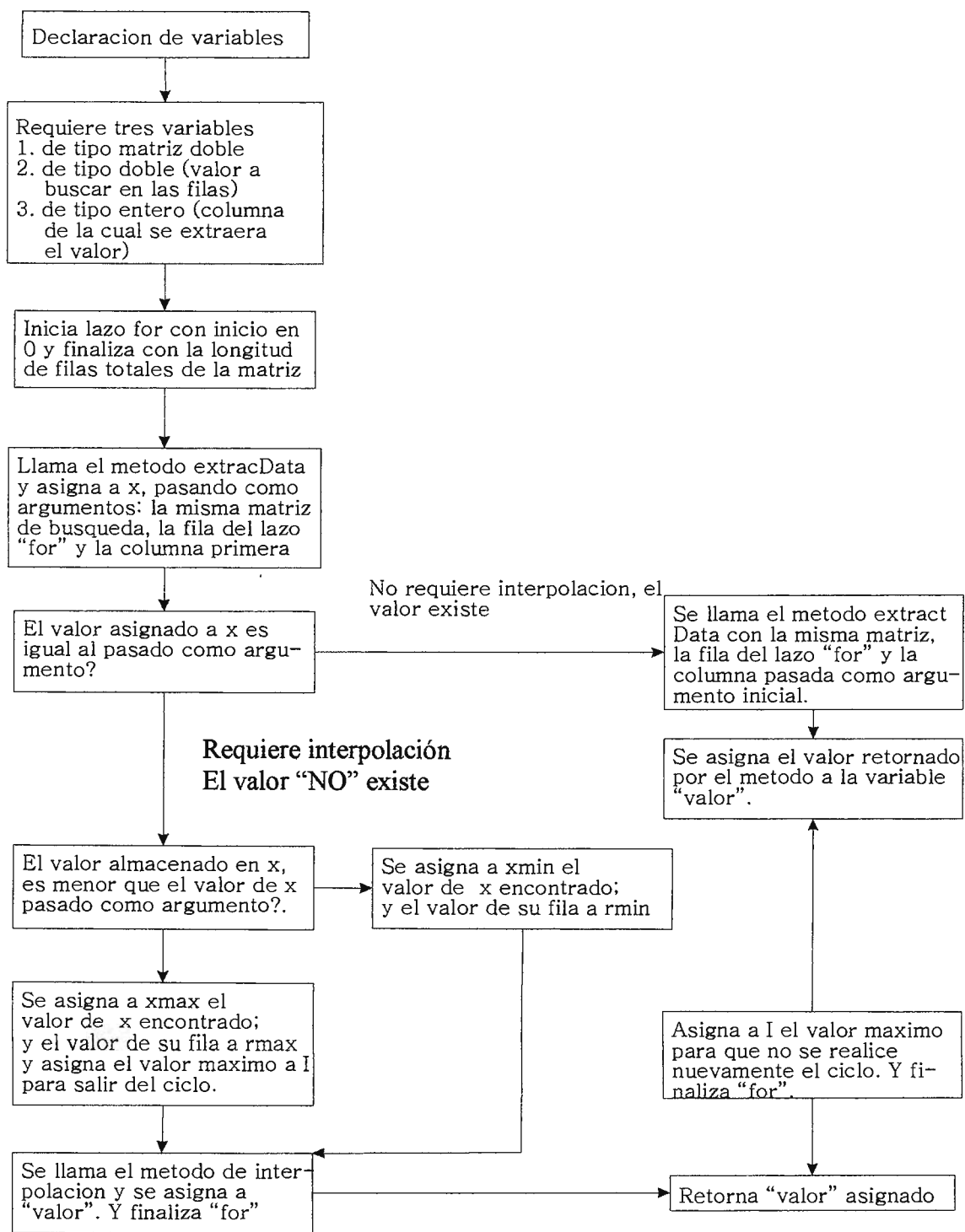
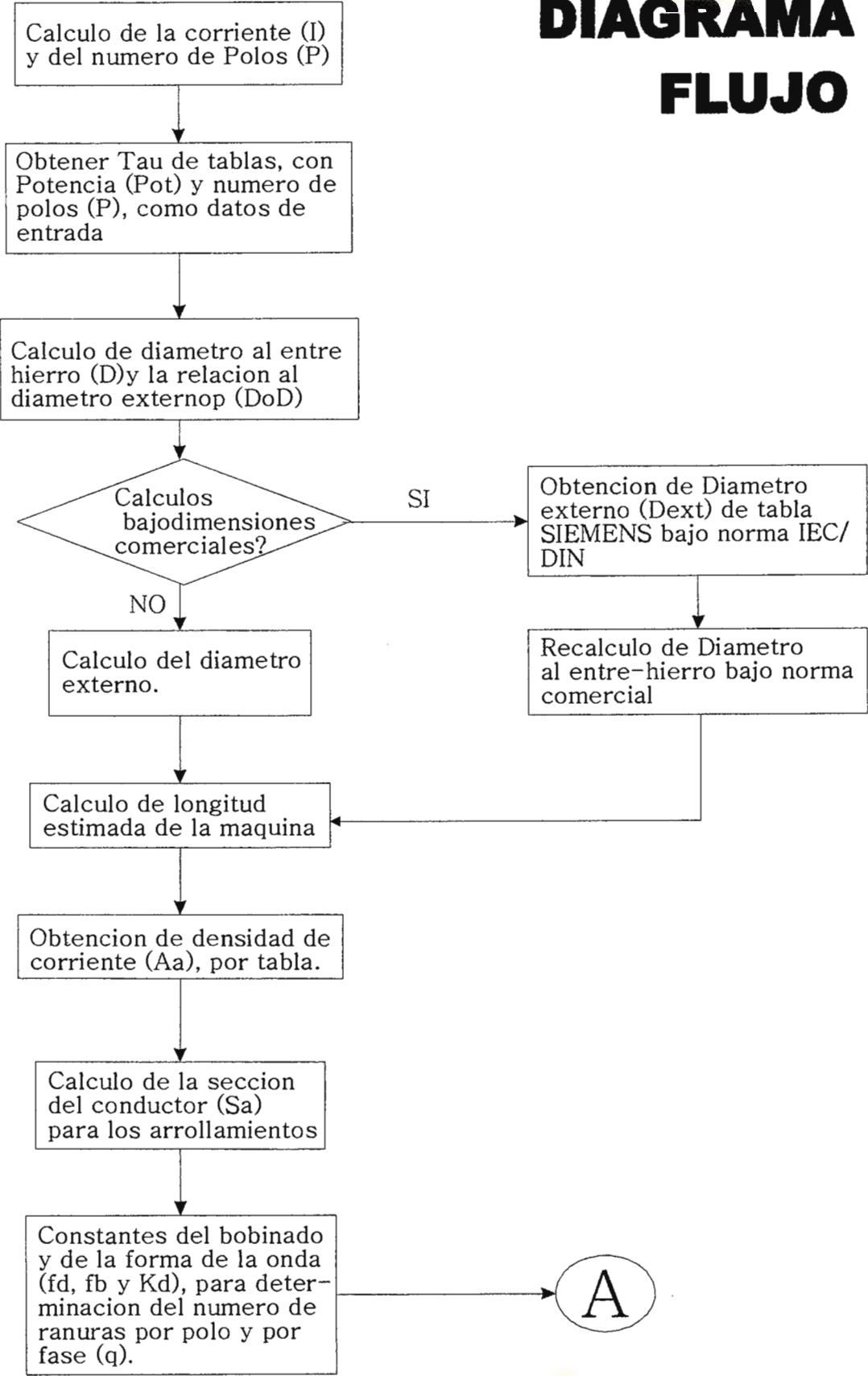
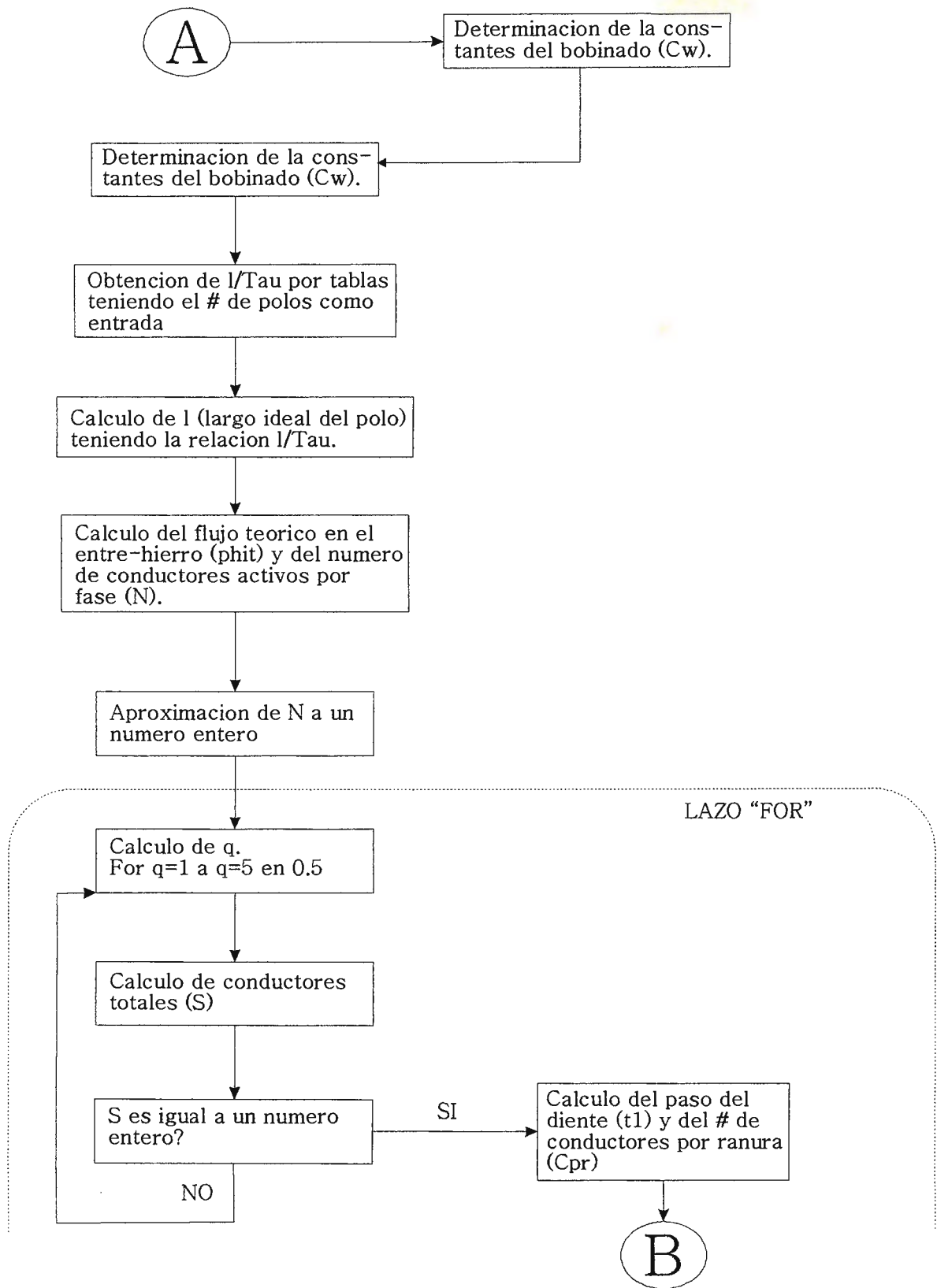
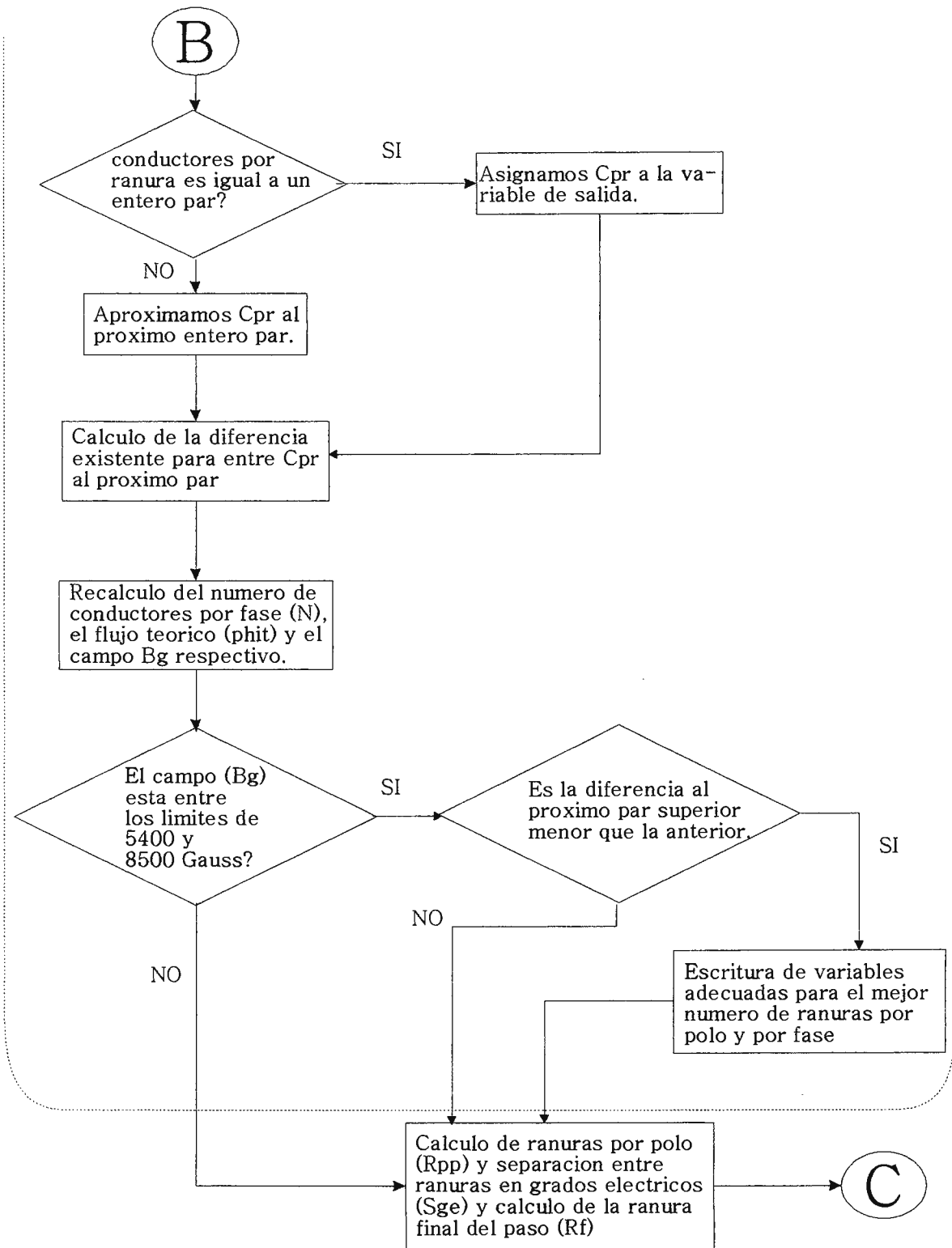
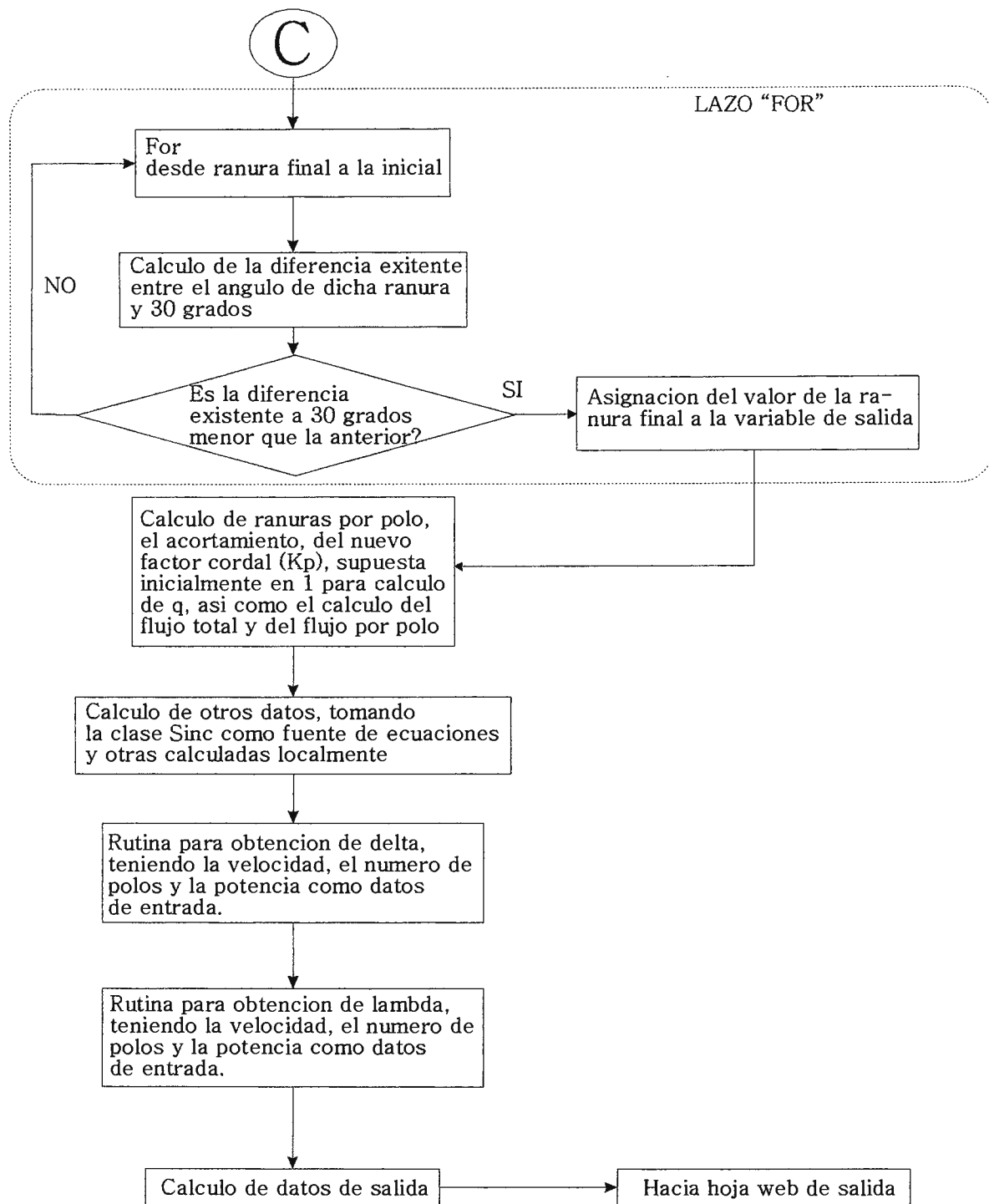


DIAGRAMA DE FLUJO









En esta sección se presenta la Clase Sinc. Esta es una clase en la cual se presentan la mayoría de ecuaciones para que sean llamadas y aplicadas por la clase principal SincSoft.class. Java al igual que otros lenguajes de programación orientados a objetos, tienen la particularidad de ser modularmente expandibles, mediante librerías, clases, paquetes, etc. Esto permite aumentar la versatilidad de su aplicación.

```
//Clase Sinc, de motor sincrono
```

```
import java.lang.Math.*;
import java.lang.Double.*;
import java.lang.*;
```

```
public class Sinc{
```

```
public static final double PI=3.14159;
```

```
public static final double d2=0.25; //Claro (mm)
public static final double d3=4.55; //Relleno (mm)
public static final double d4=4.6; //Cunnia (mm)
public static final double EA=0.25; //Relleno (mm)
```

```
public double Pot, miu;
public String Conex;
public int Vel, V, f;
```

```
public Sinc(){
}
```

```
//Calcular el numero de polos (P)
```

```
public int Calc_P(){
    return((120*this.f)/this.Vel);
}
```

```
//Calcular la corriente del bobinado I
```

```
public double Calc_I(){
```

```

    double Volt;
    if(Conex.equals("Estrella"))
        Volt=this.V/ Math.pow(3,0.5);
    else
        Volt=this.V;
    return((this.Pot*0.746*1000)/(Volt*3));
}

//Calcular el diámetro al entrehierro, D
public double Calc_D(double tau, int P){

    return ((tau/10*P)/PI);

}

//Calculo de l= Largo ideal
public double Calc_l(double ltau, double tau){
    return(ltau*tau/10) ;
}

//Calculo del numero de ranuras totales , S
public double Calc_S(int P, double q){

    return(3*P*q);

}

//Calculo del numero de ranuras por Polo, NranxP
public double Calc_NranxP(double S, int P){

    return (S/P);

}

//Calculo del acortamiento, Acort
public double Calc_Acort(double NranxP, double m){

    return(m/NranxP);

}

//Calculo de Kp= Factor de Acortamiento.
public double Calc_Kp(double Acort){

```

```

        return(Math.sin(Acort*Math.toRadians(90)));
    }

    //phit = Flujo magnetico total
    public double Calc_phit(double D, double l, int Bg){

        return(PI*D*l*Bg);

    }

    //phi = Flujo por polo
    public double Calc_phi(double phit, double fd, int P){
        return((phit*fd)/P);
    }

    //Calculo de Cw = Constante de Bobinados
    public double Calc_Cw(double fb, double Kd, double fd){
        return(fb*Kd*fd);
    }

    //Calculo de N = numero de conductores activos
    public double Calc_N(double phit, double Kp, double Cw){
        double Volt;
        if(Conex.equals("Delta"))
            Volt=this.V;
        else
            Volt=this.V / Math.pow(3,0.5);

        return((Volt*60*Math.pow(10,8))/(this.Vel*phit*Kp*Cw));
    }

    //Recalculo de rphit
    public double Calc_rphit(double N, double Kp, double Cw){
        double Volt;
        if(Conex.equals("Delta"))
            Volt=this.V;
        else
            Volt=this.V / Math.pow(3,0.5);
    }

```

```

        return((Volt*60*Math.pow(10,8))/(this.Vel*N*Kp*Cw));
    }

    //Calculo de Sa = Seccion del conductor
    public double Calc_Sa(double I, double a, double Aa){

        return(I/(a*Aa));

    }

    //Calculo del paso del diente
    public double Calc_t1(double D, double S){

        return (PI*D/S);

    }

    //Calculo de la permenacia (epsilon)
    public double Calc_epsilon(double ws, double ks, double kr, double d1){

        return (0.4*PI*((d1/(3*ws))+((d2/10)/ws)+((d3/10)/(12*ws)))+ks+kr);

    }

    //calculo de reactancia de dispersion
    public double Calc_Xc(double a, double l, double epsilon, double q, double P){

        return ((1.58*this.f*Math.pow(a,2)*Math.pow(10,-8)*l*epsilon)/(2*P*q));

    }

    //calculo de alfa
    public double Calc_alfa(double t1, double ws){

        return (Math.asin(ws/t1));

    }

    // calculo del flujo de disperso de la bobina
    public double Calc_g(double D, double d1, double Acort, double alfa, double P){

```

```

    return ((PI*D*(d1+(d2+d3+d4)/10)*Acort)/(P*Math.cos(alfa)));
}

```

//Calculo de la longitud media de la espira

```

public double Calc_La(double g, double b2, double d1, double Acort, double l){

```

```

    return ((g/Acort)+b2+((d2+d3+d4)/10+d1)+l);

```

```

}

```

//Calculo de Ec permeancia en la cabeza de la bobina

```

public double Calc_Ec(double La, double Kp){

```

```

    return (0.43*La*Math.pow(Kp,2));

```

```

}

```

//calculo de la reactancia de la cabeza de la bobina

```

public double Calc_Xb(double a, double Ec, int P){

```

```

    return ((1.58*this.f*Math.pow(a,2)*Math.pow(10,-8)*Ec)/(2*P));

```

```

}

```

//calculo de Ra

```

public double Calc_Ra(double La, double N, double r, double Sa, double a){

```

```

    return ((La*N*r)/(a*Sa*Math.pow(10,4)));

```

```

}

```

//calculo del flujo disperso del entrehierro

```

public double Calc_Ed(double delta, double ws, double tau){

```

```

    return ((5*delta/ws)/(5+(4*delta/ws))*tau);

```

```

}

```

//calculo de Xt

```

public double Calc_Xt(double a, double l, double Ed){

```

```

    return (1.58*this.f*Math.pow(a,2)*l*Math.pow(10,-8)*Ed);

```

```
}
```

```
//calculo de la rectancia total
```

```
public double Calc_X(double Xc, double Xt, double Xb){
```

```
    return (Xc+Xt+Xb);    //Ohm
```

```
}
```

```
//calculo del diametro del eje
```

```
public double Calc_Deje(double Deos){
```

```
    return (Deos*1000*Math.pow((this.Pot*0.746/this.Vel),0.25)); //mm
```

```
}
```

```
//Calculo del radio de curvatura
```

```
public double Calc_Rcep(double D, double delta, int P){
```

```
double Aux;
```

```
Aux=2*delta/D;
```

```
    return ((1-Aux)*(D/2)+28*Aux*Math.pow((P/2),2));
```

```
}
```

```
//calculo reaccion de inducido
```

```
public double Calc_Ri(double CR, double a, double I, double q, double Kp){
```

```
    return (CR*a*I*q*Kp);
```

```
}
```

```
//Calculo de necesario para calculo de la seccion teorica
```

```
public double Calc_EBP(double c1, double c2){
```

```
    return ((c1+c2)/2);
```

```
}
```

```
//calculo de la seccion teorica disponible
```

```

public double Calc_SBD(double HB, double EBP){

    return (HB*EBP);
}

//Calculo de perdidas en el cobre por fase
public double Calc_Wa(double I, double R){

    return (Math.pow(I,2)*R*3);

}

// perdidas por ventilacion
public double Calc_PERVEN(){

    return (0.35*Math.pow(10,-3)*(this.Pot*0.746)*Math.sqrt(this.Vel));
//la potencia en Kw y la velocidad en RPM
}

//Calculo para determinar la profundidad de la ranura
public double Calc_ds1(){
return(d2+d3+d4);
}

}

```

Este es el programa principal, el que se encargan de todos los calculos. Los demas métodos o procedimientos, servlet, tablas, ecuaciones condiciones, lazos son comentados para comprensión

```
import java.io.*;
import javax.servlet.*;
import javax.servlet.http.*;
import java.lang.Math.*;
import java.lang.Double.*;
import java.lang.*;
import java.lang.String.*;
import java.lang.Integer.*;
import java.text.*;

public class SincSoft1 extends HttpServlet {

private String SVel=null;
private String Smiu=null;
private String SPot=null;
private String SV=null;
private String Sf=null;
private String SConex=null;
private String SVI;
private String SAH;
private String SEH;
private String SToec;
private float Ef;

private Sinc xte = new Sinc();

//Declaracion de todas las variables a utilizar en el programa

double I_v, a_v, D_v, Aa_v=0, tau_v, ltaumin, ltaumax, ltau_v, Dcu, NCP;
double ltauc, l_v=0, staupi, fb_v=0, qi, S_v=0, NranxP_v, Acort_v=0, Kp_v=0, E_vmax=0;
double fd_v=0, Kd_v=0, d1_v=0, phit_v=0, phi_v, E_v=0, Cw_v, N_v, Sa_v;
double s_v=0, b2_v=0, ws_v=0, t1_v, Ks_v, Kr_v, staup_v=0, COEAP_v=0;
double q_v=0, epsilon_v, Xc_v, alfa_v, g_v, La_v, FD_v=0, epsilonc_v;
double Xb_v, Ra_v, delta_v=0, delta_min, delta_max, epsilond_v, Et=0;
double Xt_v, X_v, Deje_v, Rcep_v, BPP=0, APP=0, HB_v, BB=0, CR_v, RI_v;
double EBP_v, SBD_v, SA_v, SN_v, Wa_v, FMMP_v=0, c1_v=0, c2_v=0, Rcu_v=0,
Perven_v;
double Kd_adc=0, fd_adc=0, Kp_adc=0, fb_adc=0, l_adc=0, phit_adc=0, phi_adc=0;
double q_adc=0, staupadc=0, ltau_adc=0, S_adc=0, Acort_adc=0, NranxP_adc=0;
double fd_vmin=0, fd_vmax=0, BCP, lp, Sp, lambda_v, dya, lambda_min, lambda_max;
double Bp, Et2, Rpp, Sge, Rf, Dif30min, Aacort, Dif30, Profran, Anchoran;
```

```

double Nn, Nt, Difmin, Cpr, Cprpar, Cpr1, Nphit, Nbg, Dif, taumin, lptau, Dext2;
double taumax, Nnadc, Nbgadc, Cpradc, Cprparadc, t1adc, Ntadc, Ga, Bg_v;
double Pperdidas, Pnucleo, Pentrada, Cal, Dext, Aa_max, Aa_min, SIEMENS_1, DoD_v,
SIEMENS_D;
int Nentero, Nphitadc, Rc, Rfadc, Calibre;
int P_v, n, ni, Bgc, Bgadc=0, qint=0;

```

```

//Tabla de largo ideal a paso polar l/tau fig3.1, col1= # de polos, col2=l/tau min, col3=l/tau
avg, col4=l/tau max

```

```

public double[][] ltau = {
{4.0,0.5000,0.7353,1.0000},
{6.0,0.5882,0.9118,1.1765},
{8.0,0.6765,1.0882,1.3824},
{10.0,0.7647,1.1765,1.5588},
{12.0,0.8824,1.2941,1.7059},
{14.0,0.9412,1.4118,1.8824},
{16.0,1.0147,1.5000,2.0294},
{18.0,1.0588,1.5588,2.1176},
{20.0,1.1176,1.5882,2.2353}};

```

```

//Tabla de Factor de forma Fb fig3.5, col1=% de onda, col2=eh variable, col3=eh cte

```

```

public double[][] fb= {
{0.50,1.178,1.228},
{0.55,1.166,1.202},
{0.60,1.148,1.178},
{0.65,1.128,1.156},
{0.70,1.104,1.138},
{0.75,1.072,1.124},
{0.80,1.036,1.112}};

```

```

//Tabla de coeficientes de correccion Ks y Kr fig3.8, col1=% abarcamiento, col2=Ks,
col3=Kr

```

```

public double[][] KsyKr={
{0.5,0.500,0.622},
{0.6,0.644,0.7444},
{0.7,0.778,0.833},
{0.8,0.856,0.889},
{0.9,0.922,0.944},
{1.0,1.000,1.000}};

```

```
//Tabla coeficiente de reaccion de inducido CRfig3.13, col1=%STAUP, col2= CR
```

```
public double[][] CR={  
{0.55,1.145},  
{0.56,1.140},  
{0.58,1.126},  
{0.60,1.114},  
{0.62,1.102},  
{0.64,1.109},  
{0.66,1.078},  
{0.68,1.066},  
{0.70,1.054},  
{0.72,1.050},  
{0.74,1.038},  
{0.75,1.035}};
```

```
//Tabla paso polar tau fig3.2, col1=Pot(KVA), col2=tau p/4 polos, col3=tau p/6 polos,  
col4=tau p/8 polos, col5=tau p/mayor 12 polos
```

```
public double [][] tau={  
{0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0},  
{0.1, 13.75026, 13.121, 12.404, 12.06033},  
{0.2, 17.542, 16.4286, 15.6769, 14.9596},  
{0.3, 19.8135, 18.7307, 17.8736, 17.2164},  
{0.4, 21.5655, 20.5724, 19.6288, 18.9069},  
{0.5, 23.4756, 21.9761, 20.9641, 20.3793},  
{0.6, 24.8421, 23.4756, 22.3945, 21.5655},  
{0.7, 26.0413, 24.6089, 23.4756, 22.8208},  
{0.8, 27.5571, 25.7969, 24.6089, 23.698},  
{0.9, 28.386, 26.859, 25.4146, 24.7216},  
{1.0, 29.7163, 27.8183, 26.2881, 25.5548},  
{2.0, 37.0258, 34.965, 33.01005, 32.0739},  
{3.0, 42.289, 40.00, 38.1167, 36.6823},  
{4.0, 45.9799, 43.4851, 41.5098, 40.368},  
{5.0, 50.00, 46.8429, 44.7152, 43.485},  
{6.0, 52.8109, 50.00, 47.287, 45.9863},  
{7.0, 55.78, 52.3317, 50.00, 48.1746},  
{8.0, 57.8515, 54.275, 51.8568, 50.9199},  
{9.0, 60.5808, 56.8603, 53.7826, 52.3317},  
{10.0, 62.961, 58.9159, 55.78, 54.7722},  
{20.0, 78.4883, 74.1227, 70.00, 69.3288}};
```

```
//Tabla Densidad lineal de corriente Aa, col1=Pot(KVA), col2=Aa p/36 polos, col3=Aa
p/18 polos,
// col4=Aa p/12 polos, col5=Aa p/8 polos, col6=Aa p/6 polos, col7=Aa p/4 polos
```

```
public double[][] Aa={
{0.0,4.38,4.884,5.194,6.0,6.5,7.031},
{100.0,4.134,4.5,4.889,5.111,5.361,5.799},
{200.0,4.056,4.361,4.694,4.417,5.083,5.498},
{300.0,3.958,4.233,4.583,4.75,4.922,5.324},
{400.0,3.406,4.167,4.472,4.667,4.839,5.234}};
```

```
//Tabla de calculo de Fd, col1:fd p/ q=1, col2:fd p/ q=2, col3:fd p/ q=3, col4:fd p/ q=4,
col5:fd p/ q=5
//fila1=fundamental, fila2=armonica 3, fila3=armonica 5, fila5= armonica 7, fila7=
armonica 9...armonica 15
```

```
public double[][] fd={
{1.0,0.966,0.960,0.958,0.957},
{1.0,0.707,0.667,0.653,0.647},
{1.0,0.259,0.218,0.205,0.200},
{1.0,-0.259,-0.177,-0.158,-0.149},
{1.0,-0.707,-0.333,-0.271,-0.247},
{1.0,-0.966,-0.177,-0.126,-0.109},
{1.0,-0.966,0.218,0.126,0.102},
{1.0,-0.707,0.667,0.271,0.200}};
```

```
//Tabla par dimendiones de ranuras Ws, d1 y 2b
//coll=2b, col2=d1 p/D<25cm, col3=d1 p/D=50cm, col4=d1 p/D>100cm,
//col5=ws p/D<25cm, col6=ws p/D=50cm, col7=ws p/D>100cm, col8=s,
//fila1=0-300V, fila2=300-400V, fila3=600-1500V, fila4=1500-3000V, fila5=3000-5000V
```

```
public double[][] Dranuras={
{3.8,0.61,0.635,0.785,0.152,0.165,0.203,0.254},
{4.45,0.71,0.735,0.862,0.191,0.216,0.241,0.305},
{5.08,0.76,0.785,0.940,0.228,0.241,0.280,0.355},
{5.7,0.86,0.915,1.140,0.279,0.305,0.380,0.405},
{6.32,0.0,1.065,1.29,0.0,0.380,0.457,0.455}};
```

```
// tabla del cobre (Cu). col1= area (mm^2), col2= calibre
```

```
public double [][] Cu={
{0.01266,36},
```

```
{0.01597,35},
{0.02014,34},
{0.0254,33},
{0.03203,32},
{0.04039,31},
{0.05093,30},
{0.06422,29},
{0.08098,28},
{0.1021,27},
{0.1288,26},
{0.1624,25},
{0.2047,24},
{0.2581,23},
{0.3255,22},
{0.4105,21},
{0.5176,20},
{0.6529,19},
{0.8232,18},
{1.038,17},
{1.309,16},
{1.65,15},
{2.081,14},
{2.624,13},
{3.309,12},
{4.172,11},
{5.261,10},
{6.632,9},
{8.367,8},
{10.55,7},
{13.303,6},
{16.774,5},
{21.148,4},
{26.67,3},
{33.632,2}};
```

```
//Tabla de FD col1=KV, col2=FD
```

```
public double [][] FD={
{0.0, 0.0},
{0.4, 1.6},
{0.5, 1.625},
{0.6, 1.65},
{0.7, 1.675},
{0.9, 1.7},
{1.059, 1.725},
{1.259, 1.75},
```

```

{1.542, 1.775},
{1.887, 1.8},
{2.245, 1.825},
{2.672, 1.85},
{3.27, 1.875},
{3.886, 1.9},
{4.349, 1.925},
{5.0, 1.95},
{5.64, 1.975},
{7.0, 2.0},
{7.483, 2.025},
{8.483, 2.05},
{9.655, 2.075},
{10.594, 2.1},
{11.224, 2.125},
{11.892, 2.15},
{12.968, 2.175},
{14.142, 2.2}};

```

//Tabla de delta, distancia al entrehierro

```

//col1=Pot(KVA), col2=100RPM, col3=200RPM, col4=400RPM,
//col5=600RPM, col6=900RPM, col7=1200RPM, col8=1800RPM.

```

```

public double [][] delta={
{0.0,0.72,0.0,0.83,0.0,0.0,0.0,0.0},
{100.0,0.238,0.296,0.339,0.369,0.423,0.457,0.521},
{200.0,0.310,0.366,0.423,0.465,0.508,0.564,0.643},
{300.0,0.353,0.423,0.494,0.564,0.621,0.663,0.756},
{400.0,0.395,0.465,0.550,0.607,0.677,0.734,0.837},
{500.0,0.423,0.522,0.593,0.663,0.734,0.804,0.917},
{600.0,0.466,0.550,0.649,0.719,0.740,0.846,0.964},
{700.0,0.479,0.578,0.677,0.762,0.847,0.803,0.915},
{800.0,0.522,0.621,0.719,0.804,0.889,0.954,1.088},
{900.0,0.536,0.646,0.734,0.833,0.917,0.988,1.126},
{1000.0,0.564,0.677,0.776,0.861,0.956,1.030,1.174},
{1100.0,0.574,0.7065,0.804,0.886,0.888,1.072,1.222},
{1200.0,0.607,0.719,0.833,0.931,1.030,1.101,1.255},
{1300.0,0.635,0.748,0.861,0.945,1.072,1.43,1.63},
{1400.0,0.649,0.776,0.889,0.988,1.101,1.171,1.335},
{1500.0,0.663,0.790,0.903,1.016,1.124,1.214,1.384},
{1600.0,0.691,0.818,0.917,1.030,1.157,1.242,1.416},
{1700.0,0.706,0.833,0.945,1.058,1.185,1.270,1.449},
{1800.0,0.719,0.847,0.959,1.087,1.199,1.298,1.479},
{1900.0,0.734,0.861,0.974,1.101,1.228,1.326,1.512},
{2000.0,0.748,0.889,1.016,1.128,1.242,1.341,1.529},
{2100.0,0.762,0.903,1.03,1.143,1.284,1.383,1.577},

```

```

{2200.0,0.776,0.917,1.044,1.157,1.298,1.397,1.593},
{2300.0,0.790,0.931,1.058,1.185,1.326,1.425,1.625},
{2400.0,0.804,0.945,1.072,1.149,1.341,1.439,1.64},
{2500.0,0.818,0.959,1.086,1.227,1.355,1.468,1.674},
{2600.0,0.833,0.974,1.101,1.242,1.383,1.496,1.705},
{2700.0,0.847,0.987,1.129,1.256,1.397,1.524,1.737},
{2800.0,0.849,1.002,1.143,1.27,1.425,0.0,0.0},
{2900.0,0.861,1.016,1.157,1.298,1.439,0.0,0.0},
{3000.0,0.869,1.030,1.171,1.312,1.453,0.0,0.0},
{3100.0,0.881,1.044,1.185,1.326,1.482,0.0,0.0},
{3200.0,0.889,1.058,1.199,1.341,1.496,0.0,0.0},
{3300.0,0.903,1.072,1.228,1.369,1.524,0.0,0.0},
{3400.0,0.917,1.087,1.233,1.383,0.0,0.0,0.0},
{3500.0,0.931,1.101,1.256,1.397,0.0,0.0,0.0},
{3600.0,0.936,1.103,1.270,1.411,0.0,0.0,0.0},
{3700.0,0.945,1.115,1.293,1.425,0.0,0.0,0.0},
{3800.0,0.948,1.128,1.284,1.439,0.0,0.0,0.0},
{3900.0,0.959,1.143,1.298,1.453,0.0,0.0,0.0},
{4000.0,0.974,1.146,1.312,1.468,0.0,0.0,0.0}};

```

```

//col1=Pot(KVA), col2=200 RPM, col3=400 RPM, col4=600 RPM, col5=900 RPM,
col6=1200 RPM, col7=1800RPM

```

```

public double [][] lambda={
{0.0,1.189,1.144,1.117,1.086,1.083,1.052},
{100.0,1.217,1.172,1.133,1.117,1.100,1.068},
{200.0,1.239,1.183,1.156,1.139,1.117,1.085},
{400.0,1.267,1.206,1.183,1.161,1.139,1.106},
{600.0,1.294,1.228,1.2,1.178,1.152,1.119},
{800.0,1.311,1.239,1.217,1.184,1.161,1.127},
{1000.0,1.328,1.25,1.228,1.194,1.172,1.138},
{1200.0,1.333,1.261,1.233,1.2,1.178,1.144},
{1400.0,1.339,1.267,1.239,1.211,1.183,1.149},
{1600.0,1.35,1.278,1.244,1.217,1.186,1.152},
{1800.0,1.356,1.28,1.25,1.222,1.189,1.155},
{2000.0,1.367,1.283,1.256,1.228,1.194,1.159},
{2200.0,1.372,1.289,1.261,1.23,1.2,1.165},
{2400.0,1.378,1.294,1.267,1.233,1.203,1.168},
{2600.0,1.383,1.3,1.272,1.234,1.206,1.171},
{2800.0,1.385,1.301,1.273,1.239,1.211,1.176},
{3000.0,1.389,1.306,1.277,1.244,1.213,1.179},
{3200.0,1.393,1.311,1.281,1.25,1.216,1.181},
{3400.0,1.396,1.313,1.283,1.251,1.222,1.187},
{3600.0,1.4,1.317,1.289,1.256,1.225,1.189},
{3800.0,1.406,1.322,1.291,1.261,1.230,1.194},
{4000.0,1.411,1.323,1.294,1.26,1.228,1.192}};

```

```
// Tabla de Diametros y longitudes de maquinas SIEMENS bajo norma DIN/IEC 42 250,  
Tipo de proteccion IP44  
// y clase constructica B3  
//col1=Potencia (HP), col2=Diametro de maquina en mm, col3=longitud de maquina (sin el  
eje) en mm
```

```
public double [][] SIEMENS={  
{0.4, 135, 120},  
{0.6, 153, 124},  
{0.9, 154, 124},  
{1.2, 175, 131},  
{1.8, 175, 156},  
{2.4, 198, 176},  
{3.6, 226, 176},  
{4.8, 256, 180},  
{6.5, 256, 218},  
{9.0, 256, 218},  
{12.0, 300, 256},  
{18.0, 300, 300},  
{24.0, 339, 339},  
{30.0, 398, 385},  
{35.0, 398, 385},  
{50.0, 436, 391}};
```

```
//Tabla de relaciones Diametro externo a Diametro interno (Do/D)  
//col1= # de polos, col2= Relacion (Do/D)
```

```
public double [][] DoD={  
{4,1.48},  
{6,1.37},  
{8,1.3},  
{10,1.26},  
{12,1.23},  
{14,1.2},  
{16,1.18},  
{18,1.15},  
{20,1.15},  
{22,1.15},  
{24,1.13},  
{26,1.13},  
{28,1.13},  
{30,1.12},  
{32,1.11},
```

```
{36,1.10},  
{40,1.10},  
{48,1.10},  
{60,1.09},  
{72,1.09}};
```

//Inicio de rutina de chequeo de errores si existiese alguno al momento de calculos

```
public void init(ServletConfig config) throws ServletException {
```

```
    super.init(config);  
    System.out.println("Iniciando SincSoft V1.0_...");  
} //fin del metodo init()
```

```
public void destroy() {  
    System.out.println("No hay nada que hacer...");  
} //fin del método destroy()
```

```
public void doPost (HttpServletRequest req, HttpServletResponse resp) throws  
ServletException, IOException
```

```
{
```

//inicio del programa SincSoft

//Asignacion de valores a variables de entrada

```
SVel=req.getParameter("SVel");  
Smiu=req.getParameter("Smiu");  
SPot=req.getParameter("SPot");  
SV=req.getParameter("SV");  
Sf=req.getParameter("Sf");  
SConex=req.getParameter("SConex");  
SAH=req.getParameter("ah");  
SVI=req.getParameter("vi");  
SEH=req.getParameter("eh");  
SToec=req.getParameter("toec");
```

//Validacion de si el valor a tomar no es de los valores preseleccionados

```
xte.Vel=Integer.parseInt(SVel);
```

```
if(xte.Vel==0){  
    xte.Vel=Integer.parseInt(req.getParameter("Vel"));  
}
```

```

xte.miu=Double.parseDouble(Smiu);

if(xte.miu==0){

xte.miu=Double.parseDouble(req.getParameter("miu"));
}

xte.Pot=Double.parseDouble(SPot);

if(xte.Pot==0){

xte.Pot=Double.parseDouble(req.getParameter("Pot"));
}

xte.f=Integer.parseInt(Sf);

xte.Conex=SConex;

xte.V=Integer.parseInt(SV);

if(xte.V==0){
xte.V=Integer.parseInt(req.getParameter("V"));
}

Ef=Float.parseFloat(req.getParameter("Ef"));

xte.AH=Integer.parseInt(SAH);
xte.VI=Integer.parseInt(SVI);
xte.EH=Integer.parseInt(SEH);
xte.Toec=Integer.parseInt(SToec);

I_v=xte.Calc_I()/Ef;
P_v=xte.Calc_P();

//secuencia de obtencion tau

switch (P_v)
{
case 4:
tau_v=search(tau,xte.Pot*0.746,1);
break;
case 6:
tau_v=search(tau,xte.Pot*0.746,2);
break;

```

```

case 8:
  tau_v=search(tau,xte.Pot*0.746,3);
  break;
default:
  {
  if(P_v==10)
  {
    taumin=search(tau,xte.Pot*0.746,3);
    taumax=search(tau,xte.Pot*0.746,4);
    tau_v=inter(8,taumin,10,12,taumax);
  }
  else
    tau_v=search(tau,xte.Pot*0.746,4);
  }
  break;
}

//fin secuencia de obtencion tau

D_v=xte.Calc_D(tau_v,xte.Calc_P());

//Relacion Diametro externo a interno para dterminar carcaza comercial aproximada

DoD_v=search(DoD,P_v,1);

if(xte.VI==1)
{
//Diametro comercial aproximado de carcaza bajo norma DIN/IEC
SIEMENS_D=search(SIEMENS,xte.Pot,1);
D_v=(SIEMENS_D/DoD_v)/10;
Dext=SIEMENS_D/10;
}
else
{
  Dext=D_v*DoD_v;
}

//Largo comercial de caracaza para motores SIEMENS norma DIN/IEC

SIEMENS_I=search(SIEMENS,xte.Pot,2)/10;

//Un circuito por ranura, para nuestros disennio al colocar doble conductor no cabria en las
ranuras.

a_v=1.0;

// Obtener Aa con Pot en col=0 y buscamos la velocidad en las cols1 hasta col6

```

```

switch (P_v)
{
case 4:
Aa_v=search(Aa,xte.Pot*0.746,6);
break;
case 6:
Aa_v=search(Aa,xte.Pot*0.746,5);
break;
case 8:
Aa_v=search(Aa,xte.Pot*0.746,4);
break;
case 12:
Aa_v=search(Aa,xte.Pot*0.746,3);
break;
case 18:
Aa_v=search(Aa,xte.Pot*0.746,2);
break;
case 36:
Aa_v=search(Aa,xte.Pot*0.746,1);
break;
default:
{
if(P_v < 36)
{
if(P_v > 18)
{
Aa_min=search(Aa,xte.Pot*0.746,1);
Aa_max=search(Aa,xte.Pot*0.746,2);
Aa_v=inter(200.0,Aa_min, xte.Vel, 400.0,Aa_max);
}
else
{
if(P_v > 12)
{
Aa_min=search(Aa,xte.Pot*0.746,2);
Aa_max=search(Aa,xte.Pot*0.746,3);
Aa_v=inter(400.0,Aa_min, xte.Vel, 600.0, Aa_max);
}
else
{
if(P_v > 8)
{
Aa_min=search(Aa,xte.Pot*0.746,3);
Aa_max=search(Aa,xte.Pot*0.746,4);
Aa_v=inter(600.0,lambda_min, xte.Vel, 800.0, Aa_max);
}
}
}
}
}
}

```

```

    }
    }
    }
    }
    break;
}

```

```

Sa_v=xte.Calc_Sa(I_v,1.0,Aa_v);

// Calculo de Q
// Constantes para determinar Q
fb_v=1.11;
fd_v=0.637;
Kd_v=0.9656;
Cw_v=xte.Calc_Cw(fb_v, Kd_v, fd_v);
// Curva media de l/Tau para calcular Q
ltau_v=search(ltau,P_v,2);
l_v=xte.Calc_l(ltau_v,tau_v);
phit_v=xte.Calc_phit(D_v, l_v, 6700);
N_v=xte.Calc_N(phit_v, 1.0, Cw_v);
Nentero=(int)Math.ceil(N_v);
Nt=Nentero*3;
Difmin=1000;
for (qi = 1.0; qi <= 5.0; qi += 0.25)
{
    qint=(int)qi;
    S_v=xte.Calc_S(P_v, qi);
    if(S_v==(int)S_v)
    {
        t1_v=xte.Calc_t1(D_v,S_v);
        Cpr=Nt/S_v;
        Cpr1=Math.ceil(Cpr);
        if (((Cpr1/2)-(Math.floor((Cpr1/2))))==0.0)
            Cprpar=Cpr1;
        else
            Cprpar=Cpr1+1;
        Dif=Cprpar-Cpr;
        Nn=Cprpar*S_v/3;
        Nphit=xte.Calc_rphit(Nn,1.0,Cw_v);
        NBg=Nphit/(3.1416*D_v*l_v);
        if (NBg>5400 & NBg<8500)
        {
            if(Dif<Difmin)
            {
                Difmin=Dif;
            }
        }
    }
}

```

```

    q_adc=qi;
    Nnadc=Nn;
    Nphitadc=(int)Nphit;
    NBgadc=NBg;
    Cpradc=Cpr;
    Cprparadc=Cprpar;
    t1adc=t1_v;
    S_adc= S_v;
    Ntadc=Nnadc*3;
  }
}
}
}
// Fin Calculo de Q

    if (q_adc-Math.floor(q_adc)==0)
// obtencion de fd para una armonica y q dado
    fd_v=extractData(fd,0,(int)q_adc-1);
    else if (qi<2 & qi>1)
    {
        fd_vmin=extractData(fd,0,1);
        fd_vmax=extractData(fd,0,2);
        fd_v=inter(1,fd_vmin,q_adc-1,2,fd_vmax);
    }
    else if (qi<3 & qi>2)
    {
        fd_vmin=extractData(fd,0,2);
        fd_vmax=extractData(fd,0,3);
        fd_v=inter(2,fd_vmin,q_adc-1,3,fd_vmax);
    }
    else if (qi<4 & qi>3)
    {
        fd_vmin=extractData(fd,0,3);
        fd_vmax=extractData(fd,0,4);
        fd_v=inter(3,fd_vmin,q_adc-1,4,fd_vmax);
    }

//bandera que define si se utilizara la curva de entre hierro (eh) constante o variable

    if (xte.EH==0)
//obtencion de fb para un STAUP variante en la curva de eh constante
    fb_v=search(fb,0.8,1);
    else
//obtencion de fb para un STAUP variante en la curva de eh variable
    fb_v=search(fb,0.8,2);

```

```

Rpp=S_adc/P_v;
Sge=180/Rpp;
Rf=Rpp+1;
Dif30min=30;
for (Rc = (int)Rf ; Rc >= 2 ; Rc -= 1 )
{
  Aacort=(Rf-Rc)*Sge;
  Dif30=Math.abs(30-Aacort);
  if (Dif30<Dif30min)
  {
    Dif30min=Dif30;
    Rfadc=Rc;
  }
}

```

```

NranxP_v=xte.Calc_NranxP(S_adc,P_v);
Acort_v=xte.Calc_Acort(NranxP_v,Rfadc);
Kp_v=xte.Calc_Kp(Acort_v);
Cw_v=xte.Calc_Cw(fb_v, Kd_v, fd_v);
N_v=xte.Calc_N(Nphitadc, Kp_v, Cw_v);
Nnadc=(int)N_v;
phit_v=xte.Calc_rphit(Nnadc,Kp_v,Cw_v);
phi_v=xte.Calc_phi(phit_v, fd_v, P_v);
Bg_v=phit_v/(3.1416*D_v*1_v);

```

```

//rutina para determinar ws, d1 y b2
if(xte.V > 0 & xte.V < 300)
{
  b2_v=extractData(Dranuras,0,0);
  if(D_v >= 100)
  {
    d1_v=extractData(Dranuras,0,3);
    ws_v=extractData(Dranuras,0,6);
  }
  else
  {
    if(D_v <= 25)
    {
      d1_v=extractData(Dranuras,0,1);
      ws_v=extractData(Dranuras,0,4);
    }
  }
  else

```

```

    {
      d1_v=extractData(Dranuras,0,2);
      ws_v=extractData(Dranuras,0,5);
    }
  }
}
else
{
  if(xte.V >= 300 & xte.V < 600)
  {
    b2_v=extractData(Dranuras,1,0);
    if(D_v >= 100)
    {
      d1_v=extractData(Dranuras,1,3);
      ws_v=extractData(Dranuras,1,6);
    }
  }
  else
  {
    if(D_v <= 25)
    {
      d1_v=extractData(Dranuras,1,1);
      ws_v=extractData(Dranuras,1,4);
    }
  }
  else
  {
    d1_v=extractData(Dranuras,1,2);
    ws_v=extractData(Dranuras,1,5);
  }
}
}
else
{
  if(xte.V >= 600 & xte.V < 1500 )
  {
    b2_v=extractData(Dranuras,2,0);
    if(D_v >= 100)
    {
      d1_v=extractData(Dranuras,2,3);
      ws_v=extractData(Dranuras,2,6);
    }
  }
  else
  {
    if(D_v <= 25)
    {
      d1_v=extractData(Dranuras,2,1);
      ws_v=extractData(Dranuras,2,4);
    }
  }
}
}

```

```

else
{
d1_v=extractData(Dranuras,2,2);
ws_v=extractData(Dranuras,2,5);
}
}
}
else
{
if(xte.V >= 1500 & xte.V < 3000)
{
b2_v=extractData(Dranuras,3,0);
if(D_v >= 100)
{
d1_v=extractData(Dranuras,3,3);
ws_v=extractData(Dranuras,3,6);
}
}
else
{
if(D_v <= 25)
{
d1_v=extractData(Dranuras,3,1);
ws_v=extractData(Dranuras,3,4);
}
}
else
{
d1_v=extractData(Dranuras,3,2);
ws_v=extractData(Dranuras,3,5);
}
}
}
}
else
{
if(xte.V >= 3000 & xte.V <= 5000)
{
b2_v=extractData(Dranuras,4,0);
if(D_v >= 100)
{
d1_v=extractData(Dranuras,4,3);
ws_v=extractData(Dranuras,4,6);
}
}
else
{
if(D_v <= 25)
{
d1_v=extractData(Dranuras,4,1);
ws_v=extractData(Dranuras,4,4);
}
}
}
}
}

```

```

    }
    else
    {
        d1_v=extractData(Dranuras,4,2);
        ws_v=extractData(Dranuras,4,5);
    }
    }
    }
    }
}
}
}
//fin de rutina

Anchoran=t1adc/2;
Dcu=Math.pow((4*Sa_v/3.1416),0.5)/10;
NCP=Anchoran/Dcu;
Profran=(int)(Cprparadc/(int)NCP)*(Dcu+xte.EA/10);
Ks_v=search(KsyKr,0.7,1);
Kr_v=search(KsyKr,0.7,2);
epsilon_v=xte.Calc_epsilon(ws_v, Ks_v, Kr_v, d1_v);
Xc_v=xte.Calc_Xc(1.0, l_v, epsilon_v, q_adc, P_v);
alfa_v=xte.Calc_alfa(t1adc,ws_v);
g_v=xte.Calc_g(D_v, Profran, Acort_v, alfa_v, P_v);
//Toec: Valores de tablas o de ecuaciones (Toec=1 Tablas; Toec=0 Ecuac.)
if (xte.Toec==1)
{
//Obtencion de FD mediante tablas
FD_v=search(FD,xte.V/1000,1);
La_v=tau_v/10*FD_v;
}
else
{
La_v=xte.Calc_La(g_v, b2_v, Profran, Acort_v, l_v);
}
epsilonc_v=xte.Calc_Ec(La_v,Kp_v);
Xb_v=xte.Calc_Xb(1.0, epsilonc_v, P_v);
//1.74 puede convertirse en 2.11 dependiendo de si Temp es 25 o 75 C
Ra_v=xte.Calc_Ra(La_v, Nnadc, 2.11, Sa_v, 1.0);

//Obtencion de delta

switch (P_v)
{
case 4:
delta_v=search(delta,xte.Pot*0.746,7);

```

```

break;
case 6:
    delta_v=search(delta,xte.Pot*0.746,6);
break;
case 8:
    delta_v=search(delta,xte.Pot*0.746,5);
break;
case 12:
    delta_v=search(delta,xte.Pot*0.746,4);
break;
case 18:
    delta_v=search(delta,xte.Pot*0.746,3);
break;
case 36:
    delta_v=search(delta,xte.Pot*0.746,2);
break;
case 72:
    delta_v=search(delta,xte.Pot*0.746,1);
break;
default:
{
    if(P_v < 72)
    {
        if(P_v > 36)
        {
            delta_min=search(delta,xte.Pot*0.746,1);
            delta_max=search(delta,xte.Pot*0.746,2);
            delta_v=inter(100.0,delta_min, xte.Vel, 200.0, delta_max);
        }
        else
        {
            if(P_v > 18)
            {
                delta_min=search(delta,xte.Pot*0.746,2);
                delta_max=search(delta,xte.Pot*0.746,3);
                delta_v=inter(200.0,delta_min, xte.Vel, 400.0, delta_max);
            }
            else
            {
                if(P_v > 12)
                {
                    delta_min=search(delta,xte.Pot*0.746,3);
                    delta_max=search(delta,xte.Pot*0.746,4);
                    delta_v=inter(400.0,delta_min, xte.Vel, 600.0, delta_max);
                }
                else
                {

```

```

        delta_min=search(delta,xte.Pot*0.746,4);
        delta_max=search(delta,xte.Pot*0.746,5);
        delta_v=inter(600.0,delta_min, xte.Vel, 900.0, delta_max);
    }
}
}
}
}
break;
}

```

```

epsilon_d_v=xte.Calc_Ed(delta_v, ws_v, tau_v/10);
Xt_v=xte.Calc_Xt(1.0, l_v, epsilon_d_v);
X_v=xte.Calc_X(Xc_v, Xt_v, Xb_v);

```

```

Rcep_v=xte.Calc_Rcep(D_v, delta_v, P_v);

```

//Obtencion de lambda con pot en col=0 y buscamos la velocidad en las cols1 hasta col5

```

switch (P_v)
{
case 4:
    lambda_v=search(lambda,xte.Pot*0.746,6);
    break;
case 6:
    lambda_v=search(lambda,xte.Pot*0.746,5);
    break;
case 8:
    lambda_v=search(lambda,xte.Pot*0.746,4);
    break;
case 12:
    lambda_v=search(lambda,xte.Pot*0.746,3);
    break;
case 18:
    lambda_v=search(lambda,xte.Pot*0.746,2);
    break;
case 36:
    lambda_v=search(lambda,xte.Pot*0.746,1);
    break;
default:
    {
    if(P_v < 36)
    {
    if(P_v > 18)
    {
    lambda_min=search(lambda,xte.Pot*0.746,1);
    lambda_max=search(lambda,xte.Pot*0.746,2);

```

```

    lambda_v=inter(200.0,lambda_min, xte.Vel, 400.0, lambda_max);
  }
else
  {
    if(P_v > 12)
      {
        lambda_min=search(lambda,xte.Pot*0.746,2);
        lambda_max=search(lambda,xte.Pot*0.746,3);
        lambda_v=inter(400.0,lambda_min, xte.Vel, 600.0, lambda_max);
      }
    else
      {
        if(P_v > 8)
          {
            lambda_min=search(lambda,xte.Pot*0.746,3);
            lambda_max=search(lambda,xte.Pot*0.746,4);
            lambda_v=inter(600.0,lambda_min, xte.Vel, 800.0, lambda_max);
          }
        }
      }
    }
  }
}
break;
}

```

```

// 13200 = Bp cambia de 13200 a 15000 Gauss   resultado en cms^2
Sp=phi_v*lambda_v/13000;
//l_v debera estar en cms   resultado en cms
BB=Sp/l_v;
lp=(tau_v/10)*0.9;
HB_v=1.5*BB;
BCP=lp-HB_v;
BPP=0.4*BCP;
APP=BPP/0.2;
//Obtencion de CR; 0.8 recomendado por varios disenadores.
CR_v=search(CR,0.8,1);
RI_v=xte.Calc_Ri(CR_v, 1.0, I_v, q_adc, Kp_v);
c2_v=(0.5*tau_v/10)-BB/2-xte.EA/10;
// en cms. 0.93 factor de apilamiento(K1) y 7800 campo en el polo que va hasta 13,400
Gauss
dya=phi_v/(l_v*0.93*7800);
c1_v=(3.14159*(D_v+2*Profran+0.5*dya)/(2*P_v))-BB/2-xte.EA/10;
//en cms .falta determinar c1 y c2 dependiendo de una formula que saldra de la fig.3.16 de
doc.
EBP_v=xte.Calc_EBP(c1_v, c2_v);
//escogido en el checkbox del inicio. resultado en cms^2

```

```

    SBD_v=xte.Calc_SBD(HB_v, EBP_v);
//W Perdidas del cobre
    Wa_v=xte.Calc_Wa(I_v,Ra_v);
//KW perdidas por ventilacion y mecanicas
    Perven_v=xte.Calc_PERVEN();
    Pentrada=xte.Pot*0.746*0.85/Ef; //KW
    Pperdidas=Pentrada-xte.Pot*0.746*0.85; //KW
    Pnucleo=Pperdidas-Wa_v/1000*xte.miu-Perven_v*xte.miu; //KW
    Cal=search(Cu,Sa_v,1);
    Calibre=(int)Math.ceil(Cal);
    Ga=La_v*Nnadc*1.0*3*Sa_v*8.9*Math.pow(10,-5);
    Dext2=D_v+2*Profran+dya;

```

```

//Fin de la secuencia principal del programa

```

```

showOutputSinc(resp);
} //fin del metodo doPost()

```

```

//Metodo que extrae un valor de la matriz name

```

```

public double extractData(double[][] name, int row, int col)
{
    double[][] val=new double[1][1];
    val[0][0]=name[row][col];

    return(val[0][0]);
}

```

```

//Metodo de interpolacion.

```

```

public double inter(double x1,double y1, double x,double x2, double y2)
{
    return(y1+((y2-y1)/(x2-x1))*(x-x1));
}

```

```

//Metodo de busqueda

```

```

public double search(double[][] m,double xi,int yi)
{
    double x=0,ximin=0,ximax=0,valor=0;
    int i=0,rmin=0,rmax=0;

```

```

for(i=0;i<=m.length-1;i++)
{
x=extractData(m,i,0);
if(x==xi)
{
valor=extractData(m,i,yi);
i=m.length;
}
else
{
if(x<xi)
{
ximin=x;
rmin=i;
}
else
{
ximax=x;
rmax=i;
i=m.length;
}
valor=inter(ximin,extractData(m,rmin,yi),xi,ximax,extractData(m,rmax,yi));
}
}
return(valor);
}

```

```

public void showOutputSinc(HttpServletResponse resp) {

```

```

resp.setContentType("text/html");
PrintWriter out = null;

```

```

try {
out=resp.getWriter();
} catch (IOException io) {
System.out.println("Se ha producido una excepcion");
}

```

```

out.println("<html>");
out.println("<head>");
out.println("<title>Hoja de Resultados...</title>");
out.println("</head>");

```

```

// Localizacion del fonde de la hoja web en el servlet
// dependera del directorio de instalacion
out.println("<BODY text=\"black\" link=\"blue\" vlink=\"violet\"
background=\"/tesis/servlets/final.jpg\">");
out.println("<table bgcolor=\"7dcfff\" width=\"75%\" cellspacing=1 border=1
cellpadding=1 align=\"center\">");
// Presentacion de applets en la hoja de respuesta
out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("<td align=\"center\" rowspan=\"37\" bgcolor=\"white\">");
out.println("<h1>Ranura</h1><p>");
// Applet de ranura
// En la siguiente linea se define el directorio de donde sera leído el applet
// dependera del directorio de instalacion
out.println("<applet archive=\"/tesis/servlets/ranura.jar\" code=\"ranura.class\" width=167
height=333>");
out.println("<param name=title value=\"Xtecuan! Graphics Applet\">");
out.println("<param name=v1 value=\"\"+rd(Anchoran,2)+\"\">");
out.println("<param name=v2 value=\"\"+rd(Profran,2)+\"\">");
out.println("</applet>");

out.println("<h1>Polos</h1><p>");
//applet de distancia entre polos
// En la siguiente linea se define el directorio de donde sera leído el applet
// dependera del directorio de instalacion
out.println("<applet archive=\"/tesis/servlets/polos.jar\" code=\"polos.class\" width=227
height=287>");
out.println("<param name=title value=\"Xtecuan! Graphics Applet\">");
out.println("<param name=v1 value=\"\"+rd(c1_v,2)+\"\">");
out.println("<param name=v2 value=\"\"+rd(c2_v,2)+\"\">");
out.println("</applet>");

out.println("<h1>Cuerpo Polar</h1><p>");
//applet de zapata polar
// En la siguiente linea se define el directorio de donde sera leído el applet
// dependera del directorio de instalacion
out.println("<applet archive=\"/tesis/servlets/Polar.jar\" code=\"Polar.class\" width=450
height=235>");
out.println("<param name=title value=\"Xtecuan! Graphics Applet\">");
out.println("<param name=v1 value=\"\"+rd(lp,2)+\"\">");
out.println("<param name=v2 value=\"\"+rd(HB_v,2)+\"\">");
out.println("<param name=v3 value=\"\"+rd(APP,2)+\"\">");
out.println("<param name=v4 value=\"\"+rd(BB,2)+\"\">");
out.println("<param name=v5 value=\"\"+rd(l_v,2)+\"\">");
out.println("<param name=v6 value=\"\"+rd(BPP,2)+\"\">");
out.println("<param name=v7 value=\"\"+rd(BCP,2)+\"\">");

```

```

out.println("</applet>");
out.println("</td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">DATOS DE ENTRADA</td>");
out.println("<td align=\"center\">Numero de conductores totales final="+Ntadc+"</td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Velocidad="+xte.Vel+" RPM</td>");
out.println("<td align=\"center\">Conductores por ranura="+Cprparadc+"</td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Voltaje="+xte.V+" Volts</td>");
out.println("<td align=\"center\">Longitud aproximada de la
maquina="+rd(SIEMENS_1,2)+" cm</td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Potencia="+xte.Pot+" Hp</td>");
out.println("<td align=\"center\">Constande de bobinado (Cw)="+rd(Cw_v,3)+"</td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Tipo de conexion="+SConex+"</td>");
out.println("<td align=\"center\">Factor de forma (Fb)="+fb_v+"</td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Eficiencia="+Ef*100+" %</td>");
out.println("<td align=\"center\">Factor de Distribucion (Fd)="+fd_v+"</td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Factor de potencia= 0.85</td>");
out.println("<td align=\"center\">Factor Cordal (Kp)="+Kp_v+"</td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Frecuencia de la Red="+xte.f+" Hz</td>");
out.println("<td align=\"center\">Cantidad de cobre="+rd(Ga,2)+" Kg</td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">CALCULOS DE CONSTRUCCION</td>");
out.println("<td align=\"center\">Densidad de Campo en el entrehierro="+rd(Bg_v,2)+"
Gauss</td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Numero de Polos="+P_v+"</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Diametro al entre-hierro="+rd(D_v,2)+" cm</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Diametro aproximado de maquina="+rd(Dext,2)+"
cm</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Arco Polar="+rd(tau_v/10,2)+" cm</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Conductores por fase="+Nnadc+"</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Paso del diente de ranura="+rd(t1adc,2)+" cm</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Profundidad de la ranura="+rd(Profran,2)+" cm</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">ancho de la ranura="+rd(Anchoran,2)+" cm</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Corriente="+rd(I_v,2)+" Amps</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Seccion del conductor="+rd(Sa_v,2)+" mm^2</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Numero comercial de conductor="+Calibre+"</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Longitud media de espira="+rd(La_v,2)+" cm</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Resistencia por fase="+rd(Ra_v,3)+" Ohm</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Flujo Teorico="+rd(phit_v/1000,0)+" Kilolineas</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Perdidas en el cobre="+rd(Wa_v,3)+" Watts</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Perdidas mecanicas="+rd(Perven_v,3)+" KW</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Potencia de entrada="+rd(Pentrada,3)+" KW</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Potencia de Salida="+rd(xte.Pot*0.746*0.85,3)+"
KW</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Bobina en ranura 1 y "+Rfadc+"</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Circuitos por fase="+a_v+"</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Ranuras por polo y por fase="+q_adc+"</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Acortamiento="+rd(Acort_v*100,2)+" %</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Densidad de corriente="+rd(Aa_v,3)+" A/mm^2</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Ranuras de campo totales="+S_adc+"</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Ranuras de campo por polo="+Rpp+"</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Longitud del entrehierro="+rd(delta_v,2)+" cm</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\">Flujo por polo="+rd(phi_v/1000,0)+" Kilolineas</td>");
out.println("<td align=\"center\"></td>");
out.println("</tr>");

```

```

out.println("<tr align=\"center\" valign=\"center\">");
out.println("<td align=\"center\" colspan=2></td>");

```

```

out.println("</tr>");

```

```

out.println("</table><p>");

```

```

//Aqui se debe cambiar la direccion IP y el directorio del programa en el servlet y el
nombre de la hoja web

```

```

// dependera del directorio de instalacion

```

```

out.println("<a href=\"http://10.20.64.65:8001/tesis/servlets/final.html\">Para
Atras...</a><p>");

```

```

out.println("</body>");

```

```

out.println("</html>");

```

```

out.flush();

```

```

out.close();

```

```

} //fin showOutputSinc()

```

```

public String getServletInfo() {

```

```

return "SincSoft V1.0";

```

```

} // fin del método getServletInfo()

```

```

//metodo de redondeo

```

```

public double rd(double number,int X){

```

```

// rounds number to X decimal places, defaults to 2

```

```

//X = (!X ? 2 : X);

```

```

return Math.round(number*Math.pow(10,X))/Math.pow(10,X);

```

```

}

```

```

//fin del metodo rd

```

```

}

```

Ademas se añadieron tres pequeños subprogramas tipo applets, utilizados solamente para mostrar gráficamente las dimensiones de la zapata polar, la ranura y la distancias entre polos. Dichos codigos son mostrados a continuación:

APPLET “ZAPATA POLAR”

```
import java.awt.Graphics;
import java.awt.Color;
import java.awt.Font;
import java.awt.FontMetrics;
import java.io.*;
import java.lang.*;
import java.net.URL;
import java.util.*;
import java.awt.*;
import java.applet.*;

public class Polar extends java.applet.Applet {

    int n=7;
    String title; //Titulo del Grafico
    Image image;
    Font titleFont; //Fuente del Titulo
    FontMetrics titleFontMetrics; //Metrica de la fuente del titulo

    Object labels[]; //Labels del eje X

    public void init() {

        String rs; //para extraer parametros de forma temporal
        titleFont = new java.awt.Font("Courier", Font.BOLD, 16); //caracteristicas de
la fuente.
        titleFontMetrics = getFontMetrics(titleFont); //Metrica de la fuente

        title = getParameter("title");
        if (title == null) {
            title = "ZAPATA POLAR";
        }

        labels = new String[n];

        for (int i=0; i <= n-1; i++) {

            // parse the label for this column
            rs = getParameter("v" + (i+1));
```

```

        labels[i] = (rs == null) ? "" : rs;

    }//fin de for
    // aquí se declara el directorio de donde llamará la imagen que utilizará el applet
    // dependerá del directorio de instalación
    image=getImage(getDocumentBase(),"/tesis/servlets/polar.jpg");

} //fin void

//Inicio de Paint

public void paint(Graphics g) {

    g.drawImage(image,0,0,this);

    g.drawString((String)labels[0],28,109);
    g.drawString((String)labels[1],95,135);
    g.drawString((String)labels[2],165,16);
    g.drawString((String)labels[3],219,217);
    g.drawString((String)labels[4],310,201);
    g.drawString((String)labels[5],390,69);
    g.drawString((String)labels[6],420,56);
    g.drawString(title,225,0);

} //fin de paint

public String getAppletInfo() {
    return "Title: Polar \nA simple Image Loader and putter.";
}

} //fin de Polar

```

APPLET "RANURA"

```
import java.awt.Graphics;
import java.awt.Color;
import java.awt.Font;
import java.awt.FontMetrics;
import java.io.*;
import java.lang.*;
import java.net.URL;
import java.util.*;
import java.awt.*;
import java.applet.*;

public class ranura extends java.applet.Applet {

    int n=2;
    String title; //Titulo del Grafico
    Image image;
    Font titleFont; //Fuente del Titulo
    FontMetrics titleFontMetrics; //Metrica de la fuente del titulo

    Object labels[]; //Labels del eje X

    public void init() {

        String rs; //para extraer parametros de forma temporal
        titleFont = new java.awt.Font("Courier", Font.BOLD, 16); //caracteristicas de
la fuente.
        titleFontMetrics = getFontMetrics(titleFont); //Metrica de la fuente

        title = getParameter("title");
        if (title == null) {
            title = "RANURA";
        }

        labels = new String[n];

        for (int i=0; i <= n-1; i++) {

            // parse the label for this column
            rs = getParameter("v" + (i+1));
            labels[i] = (rs == null) ? "" : rs;

        } //fin de for
        // aquí se declara el directorio de donde llamará la imagen que utilizará el applet
    }
}
```

```
// dependerá del directorio de instalación
    image=getImage(getDocumentBase(),"tesis/servlets/ranura.jpg");

} //fin void

//Inicio de Paint

public void paint(Graphics g) {

    g.drawImage(image,0,0,this);

    g.drawString((String)labels[0],35,27);
    g.drawString((String)labels[1],100,205);
    g.drawString(title,225,0);

} //fin de paint

    public String getAppletInfo() {
        return "Title: Polar \nA simple Image Loader and putter.";
    }

} //fin de Polar
```

APPLET “POLOS”

```
import java.awt.Graphics;
import java.awt.Color;
import java.awt.Font;
import java.awt.FontMetrics;
import java.io.*;
import java.lang.*;
import java.net.URL;
import java.util.*;
import java.awt.*;
import java.applet.*;

public class polos extends java.applet.Applet {

    int n=2;
    String title; //Titulo del Grafico
    Image image;
    Font titleFont; //Fuente del Titulo
    FontMetrics titleFontMetrics; //Metrica de la fuente del titulo

    Object labels[];//Labels del eje X

    public void init() {

        String rs; //para extraer parametros de forma temporal
        titleFont = new java.awt.Font("Courier", Font.BOLD, 16);//caracteristicas de
la fuente.
        titleFontMetrics = getFontMetrics(titleFont);//Metrica de la fuente

        title = getParameter("title");
        if (title == null) {
            title = "POLOS";
        }

        labels = new String[n];

        for (int i=0; i <= n-1; i++) {

            // parse the label for this column
            rs = getParameter("v" + (i+1));
            labels[i] = (rs == null) ? "" : rs;

        }//fin de for
        // aquí se declara el directorio de donde llamará la imagen que utilizará el applet
```

```
// dependerá del directorio de instalación
    image=getImage(getDocumentBase(),"tesis/servlets/polos.jpg");

} //fin void

//Inicio de Paint

public void paint(Graphics g) {

    g.drawImage(image,0,0,this);

    g.drawString((String)labels[0],54,15);
    g.drawString((String)labels[1],106,166);
    g.drawString(title,225,0);

} //fin de paint

    public String getAppletInfo() {
        return "Title: Polar \nA simple Image Loader and putter.";
    }

} //fin de Polar
```

Finalmente proporcionamos a uds. La interfaz de datos de entradas, que es una hoja web, su código es el siguiente:

```
<HTML>
<!-- Created with the CoffeeCup HTML Editor++ for Linux -->
<!--      http://www.coffeecup.com      -->
<!--    Brewed on Sun Oct 27 16:59:24 2002    -->
<HEAD>
<TITLE>SincSoft</TITLE>
<META name="description" content="HTML interface for Motors Design">
<META name="keywords" content="ELECTRICAL ENGINES">

<script language="JavaScript" src="final.js">
</script>
</HEAD>
<BODY text="black" link="blue" vlink="violet" background="final.jpg">

<!--Start of FORM-->
//Aquí es donde se cambiara la dirección para comunicación con el servlet, el cual se
encargará de entrega, recepción y cálculo de datos. Tanto la dirección IP como la
carpeta de instalación del programa en el servlet.
<FORM onSubmit="ifChecked();" name="f1" METHOD=POST
ACTION="http://10.20.64.65:8001/tesis/servlet/SincSoft1">
<p>
<table bgcolor="#7dcfff" width="60%" cellspacing=1 border=1 cellpadding=1
align="center">
  <tr align="center" valign="center" bgcolor="#000080">
    <td align="center"><b><font color="white" size=+2>Velocidad:</font></b></td>
    <td align="center"><b><font color="white" size=+2>Tipo de material:</font></b></td>
  </tr>

  <tr align="center" valign="center">
    <td align="center"><select name="SVel" onChange=" main1();">
    <option value=0 selected>Seleccione un valor de velocidad</option>

    <option value=1800>1800</option>
    <option value=1200>1200</option>
    <option value=900>900</option>
    <option value=720>720</option>
    <option value=600>600</option>
    <option value=450>450</option>
    <option value=300>300</option>
    </select><br>
    <input type="text" name="Vel" size=10 maxlength=10></td>

    <td><select name="Smui" onChange=" main2();">
```

```

<option value="0" selected>Seleccione el Material del cuerpo Magnetico</option>
<option value="0.7">Acero al 2% de Silicio</option>
<option value="0.45">Acero al 4% de Silicio</option>
<option value="1.0">Acero sin Silicio</option></select>
<input type="text" name="miu" size=10 maxlength=10></td>
</tr>

<tr align="center" valign="center" bgcolor="#000080">
<td align="center"><b><font color="white" size=+2>Potencia:</font></b></td>
<td align="center"><b><font color="white" size=+2>Opciones de
calculo:</font></b></td>
</tr>
<tr align="center" valign="center">
<td align="center">
<select name="SPot" onChange=" main3();">
<option value=0 selected>Seleccione un valor de Potencia</option>
<option value=0.5>0.5 hp</option>
<option value=1>1 hp</option>
<option value=10>10 hp</option>
<option value=20>20 hp</option>
<option value=25>25 hp</option>
<option value=30>30 hp</option>
<option value=40>40 hp</option>
<option value=50>50 hp</option>
</select> <br>
<input type="text" name="Pot" size=10 maxlength=10></td>
<td>
<input type=hidden name=vi value=0>
<input type=hidden name=ah value=0>
<input type=hidden name=eh value=0>
<input type=hidden name=toec value=0>

<table align="center" border=0>
<tr align="center">
<td align="center"><div align="left"> <b>Valores Comerciales:</b></div></td>
<td align="center"><input type="checkbox" name="VI"></td>
</tr>

<tr align="center">
<td align="center"><div align="left"><b>Entrehierro Constante:</b></div></td>
<td align="center"><input type="checkbox" name="EH"></td>
</tr>
<!--<tr align="center">
<td align="center"><div align="left"><b>Valores de Tabla o
ecuaciones:</b></div></td>
<td align="center"><input type="checkbox" name="TOEC"></td>
</tr-->

```

```

<tr align="center">
<td align="center"><div align="left"><b>Eficiencia</b></div></td>
<td align="center"><input type="text" checked name="Ef"></td>
</tr>

</table></td></tr>

<tr align="center" valign="center" bgcolor="#000080">
<td align="center"><b><font color="white" size=+2>Voltaje:</font></b></td>
<td align="center"><b><font color="white" size=+2>Caracteristicas de la
red:</font></b></td>
</tr>

<tr align="center " valign="center">
<td><select name="SV" onChange=" main4();">
<option value=0 selected>Seleccione un valor de Voltaje</option>
<option value=300>300 V</option>
<option value=380>380 V</option>
<option value=440>440 V</option>
<option value=450>450 V</option>
<option value=500>500 V</option>
<option value=4000>4000 V</option>
</select><br>
<input type="text" name="V" size=10 maxlength=10></td>
<td>
<table align="center" border=0>
<tr align="center">
<td align="center"><div align="left"><b>Frecuencia:</b></div></td>
<td align="center"><select name="Sf">
<option value=60 selected >60 Hz</option>
</select></td></tr>
<tr align="center">
<td align="center"><div align="left"><b>Tipo de conexion:</b></div></td>
<td align="center"><select name="SConex">
<option value=0 selected>Tipo de Conexion</option>
<option value="Estrella">Estrella</option>
<option value="Delta">Delta</option>
</select></td></tr>
</table></td></tr>
</table>
<pre>

</pre>

```

```
<table align="center" bgcolor="0000ff">
<tr align="center">
<td align="center"><input type="submit" name="aja" value="Enviar"
onSubmit="ifChecked();"></td>
<td align="center"><input type="reset" name="ajac" value="Borrar"></td>
</tr>
</table>
```

```
</div>
```

```
</FORM>
```

```
<!--End of FORM-->
```

```
</BODY>
```

```
</HTML>
```

A continuación se muestra una pequeña reseña en cuanto a la instalación del programa, los requerimientos necesarios y las rutas de acceso de los programas. Se describe brevemente cada archivo que componen el programa y donde deben estar para que funcione correctamente y donde hacer los cambios necesarios dentro del código, que corresponderán a la instalación realizada.

El siguiente es el método de instalación del programa dentro de un servidor administrado con Apache tomcat/4.0.4, y los módulos que componen el programa deben ser instalados en directorios específicos, así como también configurar las direcciones de comunicación dentro del programa principal y la hoja web de interfase. Los módulos que componen el programa son los siguientes:

Archivos fuentes:

Programas

| | |
|----------------|---------------------------------|
| SincSoft1.java | Programa principal |
| Sinc.java | Programa auxiliar de ecuaciones |

Applets para mostrar
imágenes con dimensiones

| | |
|-------------|----------------------------------|
| Polar.java | Muestra zapata polar |
| polos.java | Muestra separaciones entre polos |
| ranura.java | Muestra dimensiones de ranura |

Otros archivos:

Presentación WEB

| | |
|------------|---------------------------------------|
| final.html | Hoja web |
| final.jpg | Fondo de hoja web |
| final.js | Java Script para validación de campos |

Imágenes utilizadas por
los applets

| | |
|------------|---------------------------------|
| Polar.jpg | imagen zapata polar |
| polos.jpg | imagen separaciones entre polos |
| ranura.jpg | imagen dimensiones de ranura |

Los archivos fuentes deberán ser compilados dentro de los directorios posteriormente a mencionar, en donde se colocaran dichos archivos. La compilación podrá ser realizada con cualquier entorno java disponible en el mercado, siempre y cuando, la ruta de compilación y de librerías coincida con las necesidades de los archivos fuentes. Se recomienda, sin embargo, que las compilaciones sean con el JDK (Sun) "javac" y "jar". Se compilara de la siguiente manera, pasos a seguir:

- 1) xxx/javac [nombre del archivo].java (para todos los archivos fuentes)
donde xxx: localización de archivo fuente.

- 2) xxx/jar cvf [nombre de archivo].jar [nombre de archivo(el mismo)].class (para los archivos Sinc, Polar, Polos, ranuras)

Los archivos deberán ser instalados en la siguiente ruta:

Polar.(java, jar y class), Polos.(java, jar y class), ranura.(java, jar y class), final.html, final.jpg, final.js, Polar.jpg, Polos.jpg, ranura.jpg--> Deberán ser instalados en la ruta de instalación de apache bajo la carpeta [nombre de carpeta programa]/servlets/.

SincSoft1.(java y class), Sinc.(java y class)--> Deberán ser instalados bajo [nombre de carpeta programa]/ WEB-INF/classes/.

El nombre de la "carpeta programa" y las subsecuentes carpetas podrán variar de acuerdo al usuario y al sistema operativo. El ejemplo a seguir fue tomado de un sistema operativo LINUX RED HAT. Los nombre de carpetas y direcciones deberán ser modificadas tanto en el archivo final.html, el SincSoft1.class, y las clases applets (Polar, polos y ranura.class). Es también importante mencionar que es necesario cambiar la dirección IP para que concuerde con la del servidor en el cual este instalado el programa.

Las indicaciones de cuales direcciones, tanto de carpeta como de IP, son mostrados en el código impreso del programa. Se coloco un comentario antes de cada línea a chequear o cambiar para que coincidan con las direcciones de instalación.

Debajo de estas líneas mostramos una guía de uso del programa.

Ejemplo de uso:

El programa utiliza una interfase grafica tipo html (web-based), la cual esta conformada por dos columnas. La izquierda muestra en orden descendente inicialmente La velocidad de la maquina a diseñar (velocidad síncrona), la potencia de diseño mostrada en HP y el voltaje nominal de línea. La columna derecha, por otra parte, nos muestra el tipo de material del yugo y del rotor a utilizar, luego descendentemente observamos en dicho orden una casilla check-box si se utilizaran valores comerciales de calculo (chequeada) o no (no chequeada), otra check-box es para utilizar valores de tablas(chequeada) o de ecuaciones (no chequeada), inmediatamente después la casilla de valor de eficiencia. Por debajo de ella, encontramos la frecuencia de la red y por ultimo el tipo de conexión de la maquina.

Velocidad:

Existen dos posibilidades: 1) escoger la velocidad mediante una lista predefinida y 2) Introducir un valor propio, si este es el caso deberá ser un valor validado que regrese un numero par de polos para dicha velocidad, además debe ser un numero entero. Cuando se escoge cualquiera de los dos se bloquea el no escogido (validación).

Potencia:

Al igual que la anterior característica existen dos posibilidades: 1) valor predefinido y 2) valor propio. Se valida este campo de la misma manera, pero puede introducirse valores fraccionarios.

Voltaje:

Se tienen ambas opciones que los anteriores; pero el valor, si es la segunda opción, debe ser entero.

Material magnético:

Solamente se puede escoger entre los mostrados, esto para mantener estandarización entre los diseños.

Eficiencia:

Valor comprendido entre 0.0 y 1.0.

Frecuencia:

Fijo en 60Hz para normalización del sistema de distribución americano.

Conexión:

Delta o estrella dependiendo del diseño.

Importante: No se podrán enviar los valores hacia el servidor si falta alguno de los anteriores. También debemos mencionar que la validación es hecha mediante java script y dependiendo de la versión del browser, soportara o no las validaciones.

Luego de enviar los datos y recibir la respuesta, solamente queda observar los datos de respuesta y no es necesario hacer ninguna acción.

La literatura necesaria para configuración del servlet estan incluidas en el CD, asi como los programas para la compilación de los archivos fuentes. Tambien se incluye las clases archivos fuentes ya compilados) a manera de referencia, pero que probablemente no funcionen adecuadamente por los cambios en las direcciones IP y los directorios de instalación, por lo que se requiera una recompilación.

CONCLUSIONES

- El trabajo de graduación se delimitó al diseño de las maquinas síncronas.
- Se presentan todos los lineamientos necesarios para el diseño de las maquinas asíncronas.
- El diseño de la maquina esta limitado en cuanto a dimensionamiento de parámetros tales como potencia, velocidad, voltajes, etc los cuales están definidos en los capítulos correspondientes.
- Por haberse desarrollado en un lenguaje de licencia libre cualquier persona puede acceder a los archivos fuentes permitiendo su modificación y mejoras.
- Se tiene una interfase de entrada de datos sencilla con el fin de facilitarle al usuario la introducción de datos.
- Se puede acceder de cualquier parte , siempre que el programa se encuentre en un computador con una dirección IP publica y conectado al Internet.
- El lenguaje de programación en el que se desarrollo el programa permite que este sea utilizado en cualquier plataforma de sistema operativo.
- De la forma en que se desarrollo el programa no es necesario descargar algún archivo ejecutable para que funcione, si no que la interacción es en tiempo real y en comunicación directa con el servidor que posee el programa.
- La relación que existe entre Java y Html permite que se pueda mejorar el entorno del programa.
- Es una herramienta que facilita el trabajo del diseñador , mostrando los parámetros de dimensionamiento necesarios para la construcción de la maquina.
- El usuario debe poseer conocimientos básicos de diseño de maquinas eléctricas que le permitan evaluar los datos obtenidos.

RECOMENDACIONES

- El programa es extensible para la aplicación de las maquinas asíncronas.
- El trabajo puede dársele seguimiento por medio de otros trabajos de graduación con el fin de perfeccionar el diseño en aspectos tales como termodinámicos ,resistencia de materiales etc. Los cuales no han sido cubiertos.
- Esta herramienta es el inicio del proceso que conlleva las diferentes etapas para la construcción de la maquina, en la cual están involucradas diferentes disciplinas de la ingeniería con el fin de desarrollar los lineamientos necesarios para la construcción en serie de estas.
- El usuario debe poseer conocimientos básicos de diseño de maquinas eléctricas que le permitan evaluar los datos obtenidos.
- El programa puede ser modificado para que el diseñador pueda interactuar con cálculos con el fin de personalizar el diseño.

BIBLIOGRAFIA

- JOHN H. KUHLMANN, Diseño de Aparatos Eléctricos. Compañía Editorial Continental S.A. México
- ING.J.SACCHI-ALFREDO RIFALDI, Cálculo y diseño de Maquinas Eléctricas.
- PUBLICACION IEC 34-1 (1983) Part 1: Rating and performance.
- PUBLICACION IEC 34-2 (1972) Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery.
- M. LIWSCHITZ - C.WHIPPLE "Máquinas de corriente alterna" C.E.C.S.A.
- G. REBORA "La construcción de máquinas eléctricas" HOEPLI- BARCELONA (1969).
- FRANCISCO JAVIER CEBALLOS "Java 2. Curso de Programación." EDITORIAL ALFAOMEGA. Abril 2001.
- <http://www.sun.com>
- Entorno de programación: FORTE for java, IBM visual age for java.
- Plataformas Windows y Linux.

ANEXOS

ANEXOS

NORMAS IEC STANDARDS

Series asynchronous motors of 5AM and 4AMN series of the main design and its modification answer the standards norm demands, as follows:

| MARK | STANDARDS of RF | PUBLICATION IEC |
|---|----------------------------|----------------------------|
| Rotational electric motors. The nominal dates and characteristics. | GOST 28173 | IEC 34-1 |
| Asynchronous electric machines with power of from 1 to 400 kW. Motors. The main technical demands. | GOST 28330 | |
| Rotational electric machines. Nominal rates of power, voltage and frequency. | GOST 12139 | IEC 38 |
| Rotational electric machines. Mounting-overall dimensions. | GOST 18709 | IEC 72 |
| Rotational electric machines. The classification according to protection-degree, provided with casing of rotational machines. | GOST 17494 | IEC 34-5 |
| Rotational electric machines. Ways of cooling. Marks. | GOST 20459 | IEC 34-6 |
| Rotational electric machines. Construction forms according to design. | GOST 2479 | IEC 34-7 |
| Rotational electric machines. Out-takes and rotational direction. | GOST 26772 | IEC 34-8 |
| Rotational electric machines. Noise-level permitted. | GOST 16372 | IEC 34-9 |
| Rotational electric machines. Built-in temperature protection | GOST 27895 | IEC 34-11 |
| Rotational electric machines. starting characteristics of one-speed three-phase asynchronous motors with squirrel-cage rotor, voltage up to 660V. | GOST 28327 | IEC 34-12 |
| Rotational electric machines. Vibration permitted. | GOST 20815 | IEC 34-14 |
| Insulation system. Heating-firmness and classification. | GOST 8865 | IEC 85 |

- Sery (5AM or 4AMN).
- "Sliding" modification(C).
- Frame size, mm.
- A mounting dimension according to the length of frame (S,M,L).
- Length of core with the preservation of mounting dimension (A,B).
- number of poles.
- A sign of power attachment to the mounting dimension according to the CENELEK norms (K).
- Climatic design.

DEVIATIONS

According to GOST 28173 (IEC 34-1) the nominal dates of electric motors, presented in the database, may have some deviations, as presented below:

| 1.1 PARAMETR | 1.2 DVIATIONS PERMITTED |
|--|--|
| <i>efficiency, n</i> | |
| for machines of with power up to 50kW, including | -0,15 x (1 n) |
| for machines with power more than 50kW | -0,10 x (1 n) |
| power factor, cos f | - (1 - cos f) 6 min: -0,02 max: -0,07 |
| <i>sliding, S</i> | |
| for machines with power up to 1kW | +30% of guaranteed |
| for machines with power of 1kW and more | +20% of guaranteed |
| The initial current | +20% of guaranteed |
| The setting point (if hammered rotor) | from -15% to +25% of guaranteed |
| The minimal rotational moment when setting | -15% of guaranteed |
| The maximum rotational moment | -10% of guaranteed, but no less then 1,5 of nominal moment |
| The dynamic moment of rotor inertia | +10% of guaranteed |

DESIGN

Motors of 5AM and 4AMN series are of different construction forms according to the design that depends on frame size. The design according to GOST 2479 (IEC 34-7). The initial figure - indicates the construction of the motors:

- 1-electric motors on feet with bearing shields;
- 2-electric motors on feet with bearing shields and a flange on a bearing shield.
- 3-electric without feet with bearing shields and with a flange on a bearing shield.
- 5-electric without frame, bearing shields and roller.

The second and third figure indicate the way of design of an electric motor (see the table below).

The fourth figure in indicate the construction of roller of a motor:

- 1-with one-cylindrical end roller;
- 2-with two-cylindrical end roller (produced by order)

| 1.3 Constructi on form | 1.4 Indicate | 1.5 Applicatio n rage according dimensions | 1.6 Constructio n form | 1.7 Indicate | Application rage according dimensions |
|---------------------------|--------------|---|---------------------------|--------------|--|
| 2 IM 1001 (IMB3) | | 3 80-315 | 4 IM1011 (IMV5) | | 5 80- 250 |
| 6 IM 1031 (IMV6) | | 7 80-250 | 8 IM1051 (IMB6) | | 9 80- 250 |
| 10 IM 1061 (IMB7) | | 11 80-250 | 12 IM1071 (IMB8) | | 13 80- 250 |
| 14 IM 2001 (IMB35) | | 15 80-315 | 16 IM2011 (IMV15) | | 17 80- 250 |
| 18 IM 2031 (IMB36) | | 19 80-250 | 20 IM2101 (IMV34) | | 21 80 |
| 22 IM 2111 (IMV15) | | 23 80 | 24 IM2131 (IMV36) | | 25 80 |
| 26 IM 3001 (IMB5) | | 27 80-180 | 28 IM3011 (IMV1) | | 29 80- 250 |
| 30 IM 3031 (IMV3) | | 31 80-250 | 32 IM3601 (IMB14) | | 33 80 |
| 34 IM 3611 (IMV18) | | 35 80 | 36 IM3631 (IMV19) | | 37 80 |

El Comité Electrotécnico Internacional (IEC) agrupa a los principales países del mundo y estudia periódicamente las Normas de comportamiento que deben cumplir los productos: Eléctricos, Electrodomésticos, Electrónicos y similares.

Estas Normas IEC, se envían a los países miembros y sirven de base para desarrollar nacionalmente las mismas por los Institutos de Normalización respectivos.

Las Normas abarcan aspectos tales como:

- Constructivos - (Materiales, tratamientos, etc.), etc.)
- De seguridad - (Condiciones de Uso Normales y Anormales).
- De performance (rendimiento).

NOTA: No abarca aspectos de Diseño Estéticos.

Estas Normas son una adaptación de las Normas internacionales IEC, y son en sus aspectos fundamentales una transcripción de las mismas. Las Normas Iram se renuevan periódicamente en la medida en que se reciben las Normas Internacionales IEC.

En las comisiones de estudio del instituto IRAM, la presencia de los intereses generales de la sociedad, representados por:

- Fabricantes
- Consumidores
- Instituciones Tecnológicas
- Dirección de Lealtad Comercial

Logra que la Norma IRAM se plasme como un equilibrio de los distintos intereses representados.

EJEMPLO NUMERICO:

DATOS:

25HP=18.65KVA, n=1200RPM, f=60Hz, 3 fases, 440V, Conexión Estrella, $\eta=90\%$

1. Calculo del numero de polos:

$$P=120f/n=120(60)/1200=6$$

2. Calculo de la constante de salida:

KVA/n = 18.65/1200=0.01554 con este valor se determina la constante de salida C, de la grafica 105

$$C=100 \times 10^3$$

Para 6 polos $l/\tau=0.9118$

$$D = \sqrt[3]{\frac{18.65 \times 6 \times 100 \times 10^3}{\pi \times 0.9118 \times 1200}} = 14.82 \text{ cm}$$

3. Calculo de τ

$$\tau = \frac{\pi D}{p} = \frac{\pi(14.82)}{6} = 7.759$$

para este τ tenemos $l=7.075$

4. Calculo del flujo

para $l=7.072$

$$\phi_t = \pi D l B g = \pi \times 14.82 \times 7.075 \times 6680 = 2200396.69.5 \text{ lineas}$$

para una constante de devanado $C_w = f_b * f_d * k_d = 1.036 * 0.966 * 0.9656 = 0.9663$

$$5. \quad N = \frac{E \times 60 \times 10^8}{n \phi_t k_p C_w} = \frac{254 \times 60 \times 10^8}{1200 \times 2200396.69 \times 1 \times 0.9663} = 597.297$$

$$N_{total}=3 \times 597.197=1791.891 \text{ aprox } 1800$$

$$N/\text{ranura}=50$$

Recalculo de del flujo con el nuevo valor N

$$\phi_t = \frac{E \times 60 \times 10^8}{nNk_p C_w} = \frac{254 \times 60 \times 10^8}{1200 \times 600 \times 1 \times 0.9663} = 2190486.046$$

6. Calculo de paso del diente t1

$$t_1 = \frac{\pi \times 14.82}{36} = 1.29 \text{ cm}$$

$$7. I = \frac{KVA \times 10^3}{E \times 3} = \frac{18.65 \times 10^3}{254 \times 3} = 24.47 \text{ A}$$

$$S_a = \frac{I}{aA_A} = \frac{24.47}{1 \times 6.288} = 3.892 \text{ mm}^2$$

Aa se toma de la grafica 133 de J.H .Kulhmann

8. Calculo Dimensiones de la Ranura

$$\text{Ancho} = \frac{t_1}{2} = 0.645$$

Profundidad

$$S = \pi D^2 / 4$$

$$D = \sqrt[2]{4 * S / \pi} = \sqrt[2]{4 * 3.892 / \pi} = 2.226 \text{ mm}$$

Se determina cuantos conductores se pueden introducir en paralelo según el ancho de esta , en nuestro ejemplo se pueden introducir dos en paralelo por lo que la profundidad es : $25 * 0.2226 = 5.565 \text{ cm}$.

9. Calculo de inclinación de las cabezas de las bobinas

$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{d}{t_1} = \frac{0.645 + 0.305}{1.29} = 0.736$$

$$\alpha = 47.39^\circ$$

$$\cos 47.39 = 0.677$$

$$La = \frac{\pi(14.85 + 5.565)}{6 \times 0.677} \times 1 + 4.45 + 5.565 + 7.075 = 32.879 \text{ cm}$$

$$Ra = \frac{LaNr}{aSa \times 10^4} = \frac{32.879 \times 600 \times 2.11}{1 \times 3.892 \times 10^4} = 1.069 \Omega / \text{fase}$$

$$Ga = LaNamSa \times 8.9 \times 10^{-3} = 32.879 \times 600 \times 1 \times 3 \times 3.892 \times 8.9 \times 10^{-5} = 20.50 \text{ Kg}$$

10. Calculo del flujo por polo

$$\phi = \frac{\phi_i fd}{p} = \frac{2200396.69 \times 0.966}{6} = 354263.85 \text{ lineas}$$

11. Calculo de las dimensiones de la zapata polar

$$dya = \frac{\phi}{l \times 0.93 \times 12400} = \frac{354263.85}{7.075 \times 0.93 \times 12400} = 4.34 \text{ cm}$$

$$C1 = lya = \frac{\pi(D + 2ds + 1/2ya)}{2p} = \frac{\pi(14.82 + 2 \times 5.565 + 0.5(4.34))}{2 \times 6} = 7.36 \text{ cm}$$

$$C2 = lyf = 0.5\tau = 0.5 \times 7.756 = 3.878$$

$$sp = \frac{\phi \lambda}{Bp} = \frac{354263.85 \times 1.2}{13200} = 26.86 \text{ cm}^2$$

$$wp = \frac{sp}{\tau} = \frac{26.86}{7.759} = 3.46 \text{ cm}$$

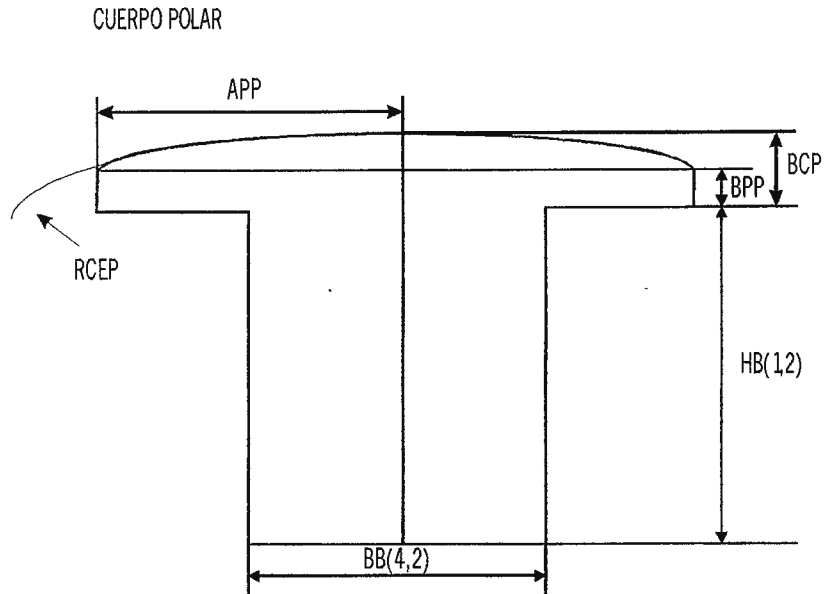
$$\frac{lp}{\tau} = 0.9 \Rightarrow lp = 0.9 \times 7.759 = 6.983 \text{ cm}$$

$$\frac{HB}{wp} = 1.5 \Rightarrow HB = 1.5(3.46) = 5.193 \text{ cm}$$

$$BCP = l_p - HB = 6.983 - 5.193 = 1.79\text{cm}$$

$$BPP = 0.4BCP = 0.4 \times 1.79 = 0.716\text{cm}$$

$$\frac{BPP}{APP} = 0.2 \Rightarrow APP = \frac{BPP}{0.2} = \frac{0.716}{0.2} = 3.58\text{cm}$$



12. Calculo de perdidas

$$W_A = RaI^2 \times m = 0.709 \times 24.47^2 \times 3 = 1273.6\text{Watts}$$

$$PERVEN = 0.35 \times 10^{-3} \times KVA \times \sqrt{RPM} = 0.35 \times 10^{-3} \times 18.65 \times \sqrt{1200} = 0.226\text{Kw}$$

$$Pin = \frac{Psal}{\eta} = \frac{18.65(0.90)}{0.90} = 18.65\text{KW}$$

$$Pperdida = P_{cobre} + P_{nucleo} + P_{vent}$$

$$P_{nucleo} = Pin - P_{sal} - P_{cobre} - P_{vent}$$

$$P_{nucleo} = 18.65 - 16.785 - 1.273 - 0.203 = 0.389\text{kw}$$

GLOSARIO

| Simbolo | significado |
|----------------|--|
| ϕ | : Flujo (Gauss) |
| k_{dn} | : Factor de distribución de la armónica considerada |
| k_{pn} | : Factor de acortamiento de la armónica considerada |
| a | : Número de conductores activos por fase |
| f_n | : Frecuencia de la armónica considerada |
| ϕ_n | : Flujo de la armónica considerada |
| m | : Número de fases |
| q | : Ranuras por polo y por fase equivalentes |
| θ_n | : el ángulo de acortamiento de la bobina |
| δ | : Entrehierro (mm) |
| a | : Número de vías de corriente |
| A_a | : Densidad de corriente (A/mm ²) |
| δ | : entrehierro |
| <i>APP</i> | : Semicuerda de la altura de la expansión polar |
| <i>BPP</i> | : altura de la expansión polar |
| <i>CRI</i> | : coeficiente de reacción de armadura |
| <i>Cw</i> | : El factor de Devanado |
| <i>D</i> | : Diámetro del entrehierro |
| <i>Deje</i> | : diámetro del eje |
| <i>DENC</i> | : densidad de corriente |
| <i>dya</i> | : profundidad del yugo |
| <i>E</i> | : Voltaje Inducido (V) |
| <i>ESPM</i> | : espira media del devanado de excitación |
| <i>f</i> | : Frecuencia (Hz) |
| <i>Fb</i> | : Factor de forma |
| <i>Femi</i> | : Fuerza electromotriz inducida |
| <i>g</i> | : Flujo disperso en la bobina |
| <i>Ga</i> | : Peso del cobre desnudo |
| <i>I</i> | : Corriente (A) |
| <i>Kd</i> | : Factor de distribución |
| <i>Kp</i> | : Factor de acortamiento |
| <i>Kr</i> | : factor para la parte restante de la ranura que aloja los conductores |
| <i>Ks</i> | : factor para la parte de la ranura que aloja los conductores |
| <i>KVA</i> | : Potencia relativa (Kva) |
| <i>L</i> | : coeficiente de autoinducción |
| <i>l</i> | : Largo ideal |
| <i>La</i> | : longitud aproximada de la cabeza de bobina |
| <i>lya</i> | : longitud de la trayectoria del flujo |
| <i>lyf</i> | : Longitud de la trayectoria del flujo en el yugo del campo |
| <i>n</i> | : Numero de armonica |
| <i>NESP</i> | : número de espiras necesarias |
| <i>p</i> | : Numero de polos |

| | | |
|-----------|---|---|
| r | : | resistencia del cobre |
| R_a | : | resistencia por fase del devanado de armadura |
| R_{cep} | : | radio de curvatura |
| RI | : | reacción de inducido |
| R_x | : | reluctancia del circuito |
| S | : | Numero de ranuras totales |
| S_a | : | sección bruta del conductor |
| SA | : | sección total neta |
| SBD | : | sección teórica disponible |
| SC | : | sección del conductor del devanado |
| SC | : | Seccion del conductor |
| SN | : | sección total necesaria |
| Sp | : | Seccion transversal del cuerpo de polo |
| t_l | : | Paso del diente |
| W_p | : | Ancho del polo |
| X | : | reactancia de dispersión total por fase |
| X_b | : | Reactancia de dispersión de cabeza |
| X_t | : | La reactancia de dispersión de entrehierro |
| η | : | eficiencia |
| μ | : | Permeancia |
| π | : | PI |
| τ | : | Paso polar (mm) |