

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



Diseño de Rebobinado de Motores de la Empresa

Minera S. P. C. E. Area - Toquepala

T E S I S

Para Optar al Título Profesional de

INGENIERO ELECTRICISTA

LUIS ALBERTO GONZALES GONZALES

Promoción 1979-I

Lima - Perú

1984

" D E D I C A T O R I A "

" A M I S A B U E L O S "

PRESENTACION Y AGRADECIMIENTO

Durante los años de estudio se deja sentir la necesidad de contar con informes sobre reparación y maniobras de motores eléctricos de carácter práctico que por su nivel y consición, pudiese ser de uso inmediato por aquellas personas que recién empiezan a contar con los conocimientos básicos de matemáticas y electricidad.

En estos tres años de continuo contacto con la labor que se realiza en el Taller de Rebobinados de Toquepala, ha motivado la realización de este trabajo, pretendiendo subsanar en parte esa sensible necesidad.

Es propicia la oportunidad para expresar un sincero agradecimiento a todas las personas que se distinguieron con sus valiosas sugerencias en especial a los técnicos extranjeros que se turnaron en la jefatura del taller, así como a los operarios del taller de rebobinados de Toquepala, pues sin su colaboración no hubiese sido posible la realización de este trabajo.

En especial al Ing. Fernando Godoy, por sus acertadas sugerencias y asesoramiento que han llevado a cabo un mejor desarrollo del presente trabajo.

C O N T E N I D O

=====

	Página
INTRODUCCION	
I DESCRIPCION DE LA EMPRESA MINERA TOQUEPALA	5
1.1 Historia	5
1.2 Ubicación del area y vias de acceso	5
1.3 Clima	7
1.4 Recursos	7
1.4.1 Recursos humanos	7
1.4.2 Agua	8
1.4.3 Energía Eléctrica	9
1.4.4 Víveres	10
1.5 Equipos	10
1.5.1 Operaciones	11
1.5.2 Reparación y mantenimiento	12
1.5.3 Servicios auxiliares	12
1.6 La concentradora	13
1.6.1 Planta Trituración Primaria	13
1.6.2 Cancha Intermedia de almacenamiento	13
1.6.3 Planta Trituración Secundaria	13
1.6.4 Molienda	14
1.6.5 Flotación	14
1.6.6 Espesamiento	14
1.6.7 Filtración-Desecación	14
1.7 Motores de la concentradora	15

	Página
II TALLER DE REBOBINADO ELECTRICO	21
2.1 Descripción	21
2.1.1 Sección Motores Monofásicos	21
2.1.2 Sección Motores Trifásicos	21
2.1.3 Sección Motores D.C.	22
2.1.4 Sección Automotriz	22
2.2 Equipo actual del taller de rebobinado	23
2.2.1 Equipo dedicado al quemado de motores y al curado del barniz	23
2.2.2 Equipo dedicado al proceso de reparación y rebobinado	27
2.2.3 Equipo de prueba y revisión final	31
2.2.4 Equipos auxiliares ó complementarios.	36
III PRUEBAS, REBOBINADOS, RECONEXION Y REDISEÑO DE MOTORES POLIFÁSICOS DE JAULA DE ARDILLA	39
3.1 Uso de la tabla AWG y determinación de calibres alternativos.	39
3.1.0 Generalidades	39
3.1.1 Mils y circular mils (CM)	39
3.1.2 Cuadrado mils	40
3.1.3 Ejemplos aplicativos	42
3.1.4 Tabla AWG es sistema métrico	44
3.1.5 Tabla circular mil por amperio	44
3.2 Conexiones básicas y tipo de bobinados	45
3.2.0 Conexión estrella	45
3.2.1 Conexión delta	48
3.2.2 Paso de una conexión a otra	49
3.2.3 Explicación de la tabla de conversión de estrella a delta.	50
3.3 Tipos de bobinados	52
3.3.0 Bobinado de dos capas ó en diamante	52
3.3.1 Bobinado en cadena	53
3.3.2 Bobinado concéntrico	54

	Página
3.3.3 Bobinado concéntrico en cadena	54
3.4 Número efectivo de espiras	55
3.5 Chequeo de bobinados para determinar las conexiones	57
3.6 Tipos de conexiones	61
3.7 Chequeo de conexiones de 6, 9 y 12 líneas sin datos	67
3.7.1 Motores de seis líneas	69
3.7.1.1 Seis líneas con arranque a bobina parcial	70
3.7.2 Motores de nueve líneas	71
3.7.2.1 Motor de 9 líneas conexión delta	73
3.8 Derivaciones en el bobinado de un motor	78
3.9 Cálculos durante la reparación de los devanados	81
3.9.1 Cálculo aproximado del devanado del estator	82
3.9.2 Cálculo de las características de devanado al modificar el motor a otra tensión	91
3.9.3 Cálculo de las características de devanado al modificar el motor de inducción para otras revoluciones.	92
3.9.4 Cálculo durante la sustitución de los alambres de bobinados de cobre por los de aluminio.	96
3.9.5 Talb de rediseño	99
3.9.6 Determinación de los HP a partir del Frame con las tablas Bore x Bore x Length (BBl)	103
 IV REPARACION POR PROGRAMA	
4.1 Generalidades	172
4.2 PERT (Program Evaluation and Review Technique)	172
4.3 Estructura del trabajo.	173
4.4 Sistema de flechas y Sistema roy	174
4.5 Cálculo de la duración de la actividad	174
4.6 Cálculo de holguras	177
4.7 Ruta crítica	178

	Página
4.8 Diagrama de Gantt	178
4.9 Cálculo de factor de aceleración	179
4.10 Determinación de las aceleraciones	179
4.11 Control del proyecto	179
4.12 Ventajas de la programación mediante redes	183
CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	203

INDICE DE CUADROS, FIGURAS Y GRAFICOS

CAPITULO I

Fig. 1.1	Perforadora Bucyrus Erie 50-R	Pág. 16
Fig. 1.2	Pala Eléctrica P&H 1800	Pág. 17
Fig. 1.3	Volquete Lectra-Haul	Pág. 18
Cua. 1.1	Distribución de motores en la Concentradora	Pág. 19
Gra. 1.1	Cantidad de motores en la Concentradora	Pág. 20

CAPITULO III

Cua. 3.1	Calibres AWG (American Wire Gauge) de alambres redondos y cuadrados.	Pág. 109
Cua. 3.2	Calibre de alambre y conexiones para 220V, 60 Hz	Pág. 110
Cua. 3.3	Equivalencia de calibre de alambres en paralelo	Pág. 111
Cua. 3.4	Calibres AWG en el Sistema Métrico	Pág. 112
Cua. 3.5	Velocidades trifásicas, polos y grupos por polo por fase	Pág. 113
Cua. 3.6	Bobinados para fases balanceadas, varios valores de ranuras	Pág. 114
Cua. 3.7	Circuitos posibles dado el número de polos	Pág. 115
Cua. 3.8	Calibre de alambre y conexión para 220V, 50 ó 60 Hz	Pág. 116
Cua. 3.9	Paso de bobinas más comunes	Pág. 117

Fig. 3.1	Circular mil y cuadrado mil	Pág. 118
Fig. 3.2	Diagrama Esquemático Conexión Estrella	Pág. 119
Fig. 3.3	Bobinado de una estrella de 4 polos	Pág. 119
Fig. 3.4	Conexión esquemática 2 estrellas 4 polos	Pág. 120
Fig. 3.5	Conexión esquemática 4 estrellas 4 polos	Pág. 120
Fig. 3.6	Diagrama esquemático delta	Pág. 120
Fig. 3.7	Diagrama de conversión, estrella a delta	Pág. 121
Fig. 3.8	Bobinado de dos capas	Pág. 122
Fig. 3.9	Comienzo de un bobinado de dos capas (Diamante)	Pág. 123
Fig. 3.10	Bobinas preformadas para traslape de un bobinado de dos capas	Pág. 124
Fig. 3.11	Bobinado Trifásico en cadena	Pág. 125
Fig. 3.12	Bobinado trifásico concéntrico en cadena	Pág. 126
Fig. 3.13	Bobinado de tres capas, conexión polo saliente	Pág. 127
Fig. 3.14	Diagrama de pasos para motor de 4 polos	Pág. 128
Fig. 3.15	Bobinado Esparcido	Pág. 129
Fig. 3.16	Desiguales ranuras bases del hierro "BSI"	Pág. 130
Fig. 3.17	Conexión para doble voltaje	Pág. 131
Fig. 3.18	Conexión para doble voltaje	Pág. 132
Fig. 3.19	Bobinado trifásico 4 polos	Pág. 133
Fig. 3.20	Conexión estrella usando puentes largos	Pág. 133
Fig. 3.21	Conexión 4 polos, 2 estrellas y 1 delta	Pág. 134
Fig. 3.22	Varios tipos de conexiones, de uniones estrellas	Pág. 135
Fig. 3.23	Anillo de conexión de las uniones estrellas	Pág. 136
Fig. 3.24	Equalizadores en un motor con diferentes vueltas por grupos	Pág. 137
Fig. 3.25	Equalizadores que no deben realizarse	Pág. 137

Fig. 3.26	Bobinado de un generador monofásico con equalizadores	Pág. 138
Fig. 3.27	Conexión interna estrella o delta de 9 líneas	Pág. 139
Fig. 3.28	Arranque a bobinado parcial de 4 polos 6 líneas conexión estrella-estrella	Pág. 140
Fig. 3.29	Arranque a bobinado parcial de 4 polos, 6 líneas conexión delta-delta	Pág. 140
Fig. 3.30	Arranque a bobinado parcial conexión 3 estrellas	Pág. 141
Fig. 3.31	Conexión arranque parcial con 9 líneas	Pág. 141
Fig. 3.32	Máquina 4 polos 6 líneas conexión estrella o delta	Pág. 142
Fig. 3.33	Chequeo de un motor de 9 líneas conexión estrella	Pág. 143
Fig. 3.34	Chequeo de un motor de 9 líneas conexión delta	Pág. 144
Fig. 3.35	Detalles de una fuente de poder	Pág. 145
Fig. 3.36	Chequeo del número de polos con tensión DC	Pág. 147
Fig. 3.37	Señalización de un estator usando tensión DC	Pág. 148
Fig. 3.38	Método de prueba de la brújula con voltage DC	Pág. 149
Fig. 3.39	Detalles para la prueba de un bobinado de 6 líneas	Pág. 150
Fig. 3.40	Chequeo de un 2 estrellas para hallar conexión correcta	Pág. 151
Fig. 3.41	Chequeo de un motor de 9 líneas sin datos	Pág. 152
Fig. 3.42	Voltages resultantes para varias conexiones de prueba	Pág. 153
Fig. 3.43	Determinación de líneas y esquinas en delta de 9 líneas	Pág. 154
Fig. 3.44	Prueba de continuidad en delta de 9 líneas	Pág. 154
Fig. 3.45	Resultado de la prueba de un motor de 9 líneas	Pág. 155
Fig. 3.46	Voltages a través de grupos, bobinas y vueltas	Pág. 156
Fig. 3.47	Derivación en la bobina	Pág. 156
Fig. 3.48	Derivación en circuitos paralelos	Pág. 157
Fig. 3.49	Derivaciones en conexión estrella 9 líneas	Pág. 157
Fig. 3.50	Derivaciones en una conexión delta 9 líneas	Pág. 158

Fig. 3.51	Derivación por bobinado separado	Pág. 158
Fig. 3.52	Tensiones trifásicas y monofasicas obtenidas sin "tap" de un motor de 9 líneas conexión estrella	Pág. 159
Fig. 3.53	Tensiones trifásicas y monofásicas obtenidas sin "taps" de un motor de 9 líneas conexión delta	Pág. 160
Fig. 3.54	Manera de hallar el alambre adecuado	Pág. 160
Fig. 3.55	Señalización y soldadura de alambres de la derivación	Pág. 161
Gra. 3.1	Sección de Circular mil para alambre cuadrado	Pág. 162
Gra. 3.2	Circular mil por amperio Vs. Amperio por pulgada cuadrada	Pág. 163
Gra. 3.3	Circular mil por amperio Vs. Amperio para varios calibres	Pág. 164
Gra. 3.4	Calibre y número de vueltas al pasar de delta a estrella	Pág. 167
Gra. 3.5	Nomograma para hallar valores BxBxL	Pág. 168
Gra. 3.6	Nomograma para hallar factor de cambio de vueltas a bobinados	Pág. 169
Gra. 3.7	Curva de saturación para series de Frame	Pág. 170

CAPITULO IV

Fig. 4.1	Diagrama de flujo de materiales	Pág. 184
Fig. 4.2	Diagramación de flujo, locomotora EMD	Pág. 185
Fig. 4.3	Sistemas de precedencias	Pág. 186
Fig. 4.4	Diagrama de Flechas	Pág. 187
Fig. 4.5	Diagrama en el Sistema Roy	Pág. 188
Fig. 4.6a	Diagrama en el Sistema Roy, primera aceleración	Pág. 189
Fig. 4.6b	" " " " " segunda aceleración	Pág. 190

Fig. 4.6c	Diagrama en el Sistema Roy, tercera aceleración	Pág. 191
Fig. 4.6d	" " " " " cuarta aceleración	Pág. 192
Fig. 4.6e	" " " " " quinta aceleración	Pág. 193
Fig. 4.6f	" " " " " sexta aceleración	Pág. 194
Gra. 4.1	Perfil de recursos	
Gra. 4.2	Costo del Proyecto	Pág. 196
Cua. 4.1	Estructura del Trabajo	Pág. 197
Cua. 4.2	Cuadro de Precedencias	Pág. 198
Cua. 4.3a	Diagrama de Gantt	Pág. 199
Cua. 4.3b	Calendario de avance de obra	Pág. 200
Cua. 4.4	Cuadro de aceleraciones	Pág. 201

INTRODUCCION

Los tiempos modernos han presenciado el desarrollo de métodos para producir proporcionalmente con menos trabajo, mayor cantidad de productos, conllevando con esto el empleo de mejores y mayores maquinarias eléctricas, ya sea en la extracción, transporte o transformación de las materias primas.

El costo de mantenimiento se ha convertido en la mayor parte del costo total de producción y el taller de mantenimiento en una unidad importante de la compañía.

La dependencia de la producción de la empresa, en el taller de mantenimiento aumenta con la complejidad del equipo que se usa en la minería moderna.

Elemento importante en el taller de mantenimiento es el operario, cuyos conocimientos son a base de sus años de experiencia pero lamentablemente sin una base teórica que justifique sus inquietudes de saber porqué hace determinada reparación.

Se espera que este trabajo sea utilizado, por aquellas personas que se dediquen al área de mantenimiento eléctrico, como un manual de consulta directa y práctica, sobre los métodos más eficaces y rápidos para llevar a cabo satisfactoriamente y sin pérdida innecesarias de tiempo las diversas operaciones de detección, localización y reparación de fallas.

La descripción detallada de estas labores, constituyen una excelente ayuda

da para la pronta solución de los problemas que puedan plantearse.

Se considera oportuno y necesario que todo egresado comparta las experiencias recogidas en su centro de labor con su Alma Mater.

Considerado como una sensible necesidad, en los años de estudio, de contar con un manual práctico sobre las diferentes pruebas, conexiones, rebobinado y rediseño de los motores eléctricos más usados en la industria, se ha querido aprovechar la basta experiencia de los operarios y técnicos extranjeros del taller de rebobinados, para realizar este trabajo. Es intención de este trabajo el servir de ayuda al reparador eléctrico y al estudiante que se inicia en la Ingeniería Eléctrica, con las diferentes conexiones y problemas de los motores polifásicos de jaula de ardilla y sus bobinados.

Hay muchos libros sobre conexiones de motores eléctricos pero muy pocos contienen detalles de las variadas conexiones que son de uso muy común en los talleres de reparación o fabricantes.

DESCRIPCION DEL TRABAJO

Para conseguir el objetivo propuesto, el trabajo consta de cuatro capítulos, en los cuales se ha desarrollado toda una gama de actividades, sino científicas, realizadas al menos con un criterio altamente técnico, que, obviamente, permiten sustentas fehacientemente la intención de este trabajo.

A modo de preámbulo se presenta esta breve introducción don se muestra los fines y objetivos del contenido y el desarrollo temático del trabajo. El primer Capítulo denominado "DESCRIPCION DE LA EMPRESA MINERA SPCC AREA TOQUEPALA", permite presentarles el espacio físico en el cual se desenvuelven las actividades y sobre el cual se desarrolla la tarea de investigación, en relación directa con la ubicación del area, el clima, los recursos y los equipos de que se dispone en la labor de minería a tajo abierto.

El segundo Capítulo "TALLER ELECTRICO DE REBOBINADOS" sirve para dar a conocer las generalidades y especificaciones de los diferentes equipos de prueba, control y trabajo que se utilizan en la labor de todos los días.

Así como las direrentes secciones con que cuenta el Taller de Rebobinado En el tercer Capítulo "PRUEBAS, REBOBINADOS, RECONEXION Y REDISEÑO DE MOTORES POLIFASICOS DE INDUCION", se discute las formas de rebobinas y los problemas para determinar las direrentes conexiones. Se muestran deta-

lles sobre las conexiones Delta y Estrella de 2 a 24 polos con todos sus posibles circuitos en paralelo.

Se analizan los diferentes tipos de bobinados como Concéntricos, en Cadena, de una Capa, de dos o tres, etc. Igualmente los métodos de colocación y acabado del bobinado, para su conexión y las pruebas a las que se somete antes de proceder a barnizarlo.

En el cuarto Capítulo "REPARACION POR PROGRAMA", se esboza los principios generales de Mantenimiento Preventivo en íntima relación con los conceptos de planificación, que van a permitir mediante la codificación de datos, la elaboración del formato de mantenimiento, la implementación de las órdenes de trabajo, la elaboración del historial de máquinas, la organización del archivo de catálogos, selección de partes de la máquina, la prioridad de trabajo la perfecta utilización de los almacenes, stock mínimos de repuestos, el local, el herramental y el personal, la elaboración o planificación de un buen sistema de mantenimiento preventivo, susceptible de alcanzar objetivos concretos relacionados con la producción y con la adecuada eficiente utilización, mantenimiento y servicio de las máquinas.

Con la mención de las "CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES", así como de la Bibliografía correspondiente, se cierra el presente trabajo, que con todo el respeto que merece vuestra digna posición y benevolencia se somete a la excelente apreciación y mejor criterio de los Señores miembros del Jurado.

CAPITULO I

DESCRIPCION DE LA EMPRESA MINERA S. P. C. C. AREA TOQUEPALA

1.1 Historia

En el año de 1,900 el Ing. Pelarde menciona por primera vez el yacimiento cuprífero de Toquepala en sus estudios sobre minería en el Perú, publicados por el Cuerpo de Ingenieros de Minas.

Posteriormente, en 1,918, Carlos Basadre cita a Toquepala y Quellaveco, como yacimientos cupríferos de baja ley en su informe "Estado actual y porvenir de la industria minera en los Departamentos del Sur".

En 1,930 el geólogo alemán Steimann, menciona Toquepala y Quellaveco en su estudio sobre Geología Peruana. El 11 de Noviembre de 1,954 la Empresa Southern-Perú Copper Corporation, firmó con contrato bilateral con el gobierno del Perú para la explotación de la Mina de Toquepala, estableciendo los deberes y derechos de la Empresa de acuerdo con el Código de Minería vigente.

El 1º de julio de 1,956 se iniciaron en Toquepala los trabajos de minado-preparación de la mina y obras civiles; tres años más tarde, en julio de 1,959 se inició la producción. La inauguración oficial se realizó con el primer mineral que llegó a la Concentradora, efectuándose la ceremonia inaugural el 9 de Febrero de 1,960.

1.2 Ubicación del Area y Vías de Acceso

"Southern Perú Copper Corporation es una Empresa Minera, creada

el 12 de Diciembre de 1,952 para desarrollar proyectos y concesiones mineras en el Perú.

S. P. C. C. opera exclusivamente en el Perú y sus actividades se desarrollan en cuatro centros o áreas de trabajo:

- a) TOQUEPALA: Ubicada en Tacna. Sus operaciones consisten en la extracción y concentración de sulfuros de cobre y molibdeno, (molibdenita). Produce concentrado de mineral que son enviados a la Fundición de Ilo.
- b) CUAJONE: Pertenece al departamento de Moquegua. De su mina se extraen sulfuros de cobre y molibdeno, que después de ser procesados en la Concentradora, son enviados también a la fundición de Ilo.
- c) ILO: Está ubicado en la costa peruana, en Moquegua. Produce planchas o barras de cobre ampoloso o "blister".
- d) LIMA: Las oficinas administrativas y legales de la Empresa se ubican en la Avenida Caminos del Inca, 171 Chacarilla del Estanque, en el distrito de Surco, provincia y departamento de Lima"

(1)

Toquepala está situada en el distrito de Ilabaya, en la provincia de Tacna y el departamento del mismo nombre. Geográficamente Toquepala se encuentra entre los 2600 y 3600 metros sobre el nivel del mar en el flanco occidental de la cordillera de los Andes, a 17°13' de Latitud Sur y a 70°31' de Longitud Oeste. En línea recta dista de Tacna 92 kilómetros; de Ilo, 85 kilómetros y de Moquegua 35 kilómetros. Desde el cruce de Camiara, en la carretera Panamericana, se llega a Toquepala por una carretera afirmada de 57.3 kms.

Otra carretera de 80 kms. en afirmado une Toquepala y Cujone pasando por el yacimiento de Quellaveco.

Otra carretera afirmada de 60 Kms. une Toquepala y Moquegua.

Debido a que se ubica, como mencionamos anteriormente en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes, es una región accidentada de profundas quebradas. el área cercana a la mina presenta elevaciones que varían entre los 3,000 y los 3,600 metros sobre el nivel del mar.

1.3 Clima

El clima predominante de la región puede dividirse en dos tipos:

- a) En verano, a pesar de ser seco, se presentan lluvias esporádicas que empiezan en Diciembre.
- b) En invierno, el clima de la estación es completamente seco.

La región es asimismo, desértica, del tipo y características de las vertientes occidentales andinas.

1.4 Recursos

1.4.1 Recursos Humanos

Debido al gran número de operaciones que tienen que desarrollarse para lograr el eficiente funcionamiento de los complejos minero-metalúrgicos de S. P. C. C. existe una considerable fuerza laboral que llega a sobrepasar los 6,440 trabajadores entre obreros, empleados y funcionarios en las cuatro áreas de trabajo de la Empresa.

En el siguiente cuadro presentamos la organización de Southern Perú Copper Corporation, incluyendo el Directorio cuya sede es la ciudad de Lima.

- * Presidente del Directorio.
- * Vice Presidente de Asuntos Administrativos y Financieros.
- * Vice Presidente y Gerente General de Operaciones (Toquepala).
- * Vice Presidente de Asuntos Corporativos y de Gobierno.
- * Gerencia General Administrativa.
- * Gerencias de Area: Toquepala, Cuacone e Ilo.

En Toquepala se encuentran las siguientes Divisiones:

- División Administrativa.
- División Concentradora.
- División Electricidad.
- División Geología.
- División Ingeniería.
- División Mecánica.
- División Médica.
- División Mina.
- División Relaciones Industriales.

1.4.2 Agua

El campamento minero de Toquepala, se abastece de agua desde la laguna de Suches, ubicada a 4,450 metros sobre el nivel del mar y a 84 kilómetros de Toquepala. En este lugar se cuenta con una estación de bombeo, desde la cual a través de una tubería de 42" de diámetro, se lleva el líquido elemento

(1) "¿QUIEN SOMOS?", Publicación del Departamento de Comunicaciones de S. P. C. C., Página 2. - 1980.

hasta un reservorio artificial denominado Pampa de Vaca, de donde mediante tuberías de fierro de 30", 24" y 18" de diámetro, se abastece al campamento y a la concentradora, de toda el agua necesaria para sus operaciones y consumo respectivo.

En la Concentradora se ubican 2 tanques con capacidad de 1'500,000 galones, en los cuales se almacena agua recuperada que ha sido previamente usada en el tratamiento metalúrgico del mineral, y que se recupera para utilizarla nuevamente en el siguiente proceso. También existen 2 tanques de la misma capacidad para almacenar agua procedente del reservorio de Pampa de Vaca, que sirve para el abastecimiento de la concentradora y de los campamentos.

1.4.3 Energía Eléctrica

La energía eléctrica es transportada mediante torres de alta tensión desde Ilo (Planta de Fuerza), y llega directamente a una Sub-Estación ubicada en el Area de MillSite, cercana a la Concentradora, de donde se distribuye a las diferentes zonas de consumo.

Igualmente, en Toquepala se cuenta con una Planta de Fuerza (Motores Diesel), la misma que es utilizada en casos de emergencia. Del mismo modo, se cuenta también con la energía que produce ElectroPerú através de la Central Hidroeléctrica de Aricota, ubicada en la provincia de Tarata en el Departamento de Tacna, En caso de faltar energía el sistema es interconectado entre Ilo, Toquepala y Cujone.

1.4.4 Viveres

El aprovisionamiento de víveres y otros artículos de vital necesidad para la población de Toquepala se realiza a través de Mercantiles, estratégicamente ubicadas en el campamento (Plaza y Staff), como asimismo por medio de un pequeño mercado y de una feria semanal, donde la población puede satisfacer sus requerimientos alimentarios.

1.5 Equipos

La operación de una mina a tajo abierto como la de Toquepala, tiene por objeto la extracción del mineral del depósito para su posterior tratamiento, y recuperación, para lo que es necesario remover el material estéril que yace encima de dicho depósito.

Es por ello que el conjunto de actividades que se realizan en la mina, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- * Operaciones.
- * Reparación y Mantenimiento.
- * Servicios Auxiliares.

1.5.1 Operaciones

Están constituidas por:

1.5.1.a Perforación y Disparos

- Perforadoras BUCYRUS ERIE, modelo 50R para la perforación primaria. (Ver figura Nº1.1)
- 2 perforadoras JUMBO de un solo brazo para la perforadora secundaria.
- 2 camiones tolva para el transporte de ni-

trato de amonio (ANFO)

- 2 retroexcavadoras.

1.5.1.b Excavación, Carguio y Transporte

- 10 palas eléctricas P & H Modelo 1800 de 9½ yardas cúbicas de capacidad (Ver fig. Nº1.2)
- 1 pala mecánica
- 1 cargador frontal
- 14 camiones Lectra-Haul; 6 de 100 TM de capacidad y 8 de 85 TM de capacidad (Ver fig. Nº 1.3).
- 11 Locomotoras EMD 1750 HP
- Vagones mineros de 70 TM de capacidad.

1.5.1.c Mantenimiento de Vías.

- 1 tractor caterpillar Modelo D-8
- 2 tractores caterpillar Modelo D-9
- 1 motoniveladora

1.5.1.d Construcción

- 3 tractores caterpillar Modelo D-8
- 7 tractores caterpillar Modelo D-9
- 1 tractor caterpillar modelo D-96
- 2 motoniveladoras

1.5.1.e Operaciones Mina

- 2 tractores caterpillar D-8
- 6 motoniveladoras
- 6 tractores.

1.5.1.f Ferrocarril Industrial

- 8 locomotoras de 1800 HP - ALCO

1.5.2 Reparación v Mantenimiento

Todos los equipos que se utilizan en la mina de Toquepala, deben ser mantenidos y reparados, tanto mecánica como eléctricamente para garantizar su eficiente operatividad.

Ahora bien, por la gran cantidad de equipos y por la importancia del trabajo que realizan, el mantenimiento y la reparación, mecánica y eléctrica, funcionan en forma separada de las operaciones y se llevan a cabo o se ejecutan por medio de unidades móviles implementadas convenientemente, o en lugares acondicionados exprofeso, como es el caso de los talleres donde se cuenta con todos los elementos requeridos para brindar asistencia mecánica y eléctrica a los diferentes equipos de S. P. C. C. permiten que sus operaciones se desarrollen con buen promedio de eficiencia operativa.

1.5.3 Servicios Auxiliares

Hasta aquí, solamente se han contemplado aquellas funciones íntimamente relacionadas con la producción y mantenimiento, existiendo, además, otras, que forman parte del conjunto de labores de la mina y que son conocidas como "Servicios Auxiliares". De esta manera se cuenta con:

- Bombas eléctricas y mecánicas para drenaje de agua.
- Almacenes que suministran insumos y repuestos. Telecomunicaciones, taller de radio, control de tránsito, oficina de control remoto.
- Control y evaluación que se realiza a través de los Departamentos de Geología, Contabilidad y Seguridad.

Todos ellos, indudablemente, cuentan con el equipo indis

pensable para posibilitar el desarrollo normal de las operaciones en la mina.

1,6 La Concentradora

También conocida como área de molinos (Mill Site), diseñada para una operación continua de 30,000 TMS por 24 horas diarias.

Las principales secciones de esta área son:

1.6.1. Planta de Trituración Primaria

Aloja una chancadora giratoria de 60 pulgadas con una capacidad de 3,000 toneladas por hora constante, o rangos más altos por pequeños periodos.

Esta chancadora reduce el mineral a un promedio de 7 a 9 pulgadas y la descarga a dos cuencas alimentadoras de 72 pulgadas de ancho, que a su vez entrega el mineral a una faja transportadora de 60 pulgadas y de allí a la cancha intermedia de almacenamiento.

1.6.2 Cancha Intermedia de Almacenamiento

Esta cancha de almacenamiento tiene una capacidad de 1,000 toneladas.

El mineral es retirado de esta cancha de almacenamiento por seis fajas dobles de 54 pulgadas a un promedio de 2,000 toneladas por hora en total.

1.6.3 Planta de Trituración Secundaria

Cada una de estas fajas transportadoras alimentan a una sección de tres chancadoras cónicas de 7 pies, la cual reduce el mineral a 3/4 de pulgada en dos etapas, cada etapa es precedida de una zaranda.

El mineral fino es entonces transportado a tres fajas trans-

portadoras de 54 pulgadas en serie hacia 14 almacenes de acero con una capacidad de 1,800 TM situados a lo largo de la pared este de la estructura de la concentradora.

El mineral de 3/4 de pulgada es sacado del almacén por fajas transportadoras a la sección de molienda.

1.6.4 Molienda

Consta de siete secciones conteniendo cada una un molino de barras (10 pies de diámetro por 13 pies de largo) un clasificador primario de rastrillo y dos secundarios.

Cada sección es diseñada para moler 4285 toneladas secas por 24 horas de 3/4 de pulgada a aproximadamente 48 mesh.

Los clasificadores cobrinados por rebalse llegan a la sección de flotación de gravedad.

1.6.5 Flotación

El área de flotación está dividida en 3 secciones de molienda.

La pulpa obtenida en la molienda se distribuye a los diferentes circuitos de celdas de flotación, en donde se concentran los sulfuros de cobre separándolos de esta manera del material estéril.

1.6.6 Espesamiento

El producto final de la flotación pasa a los tanques espesadores en donde se elimina la mayor parte del agua que acompaña a los concentrados.

1.6.7 Filtración - Deseccación

Una vez eliminada la mayor parte del agua del concentrado, este se bombea a la planta de filtros donde se extrae el res

to del agua que contiene. Este producto luego se pasa por las desecadoras para ser posteriormente cargado en vagones del ferrocarril y transportado en esta forma a la fundición.

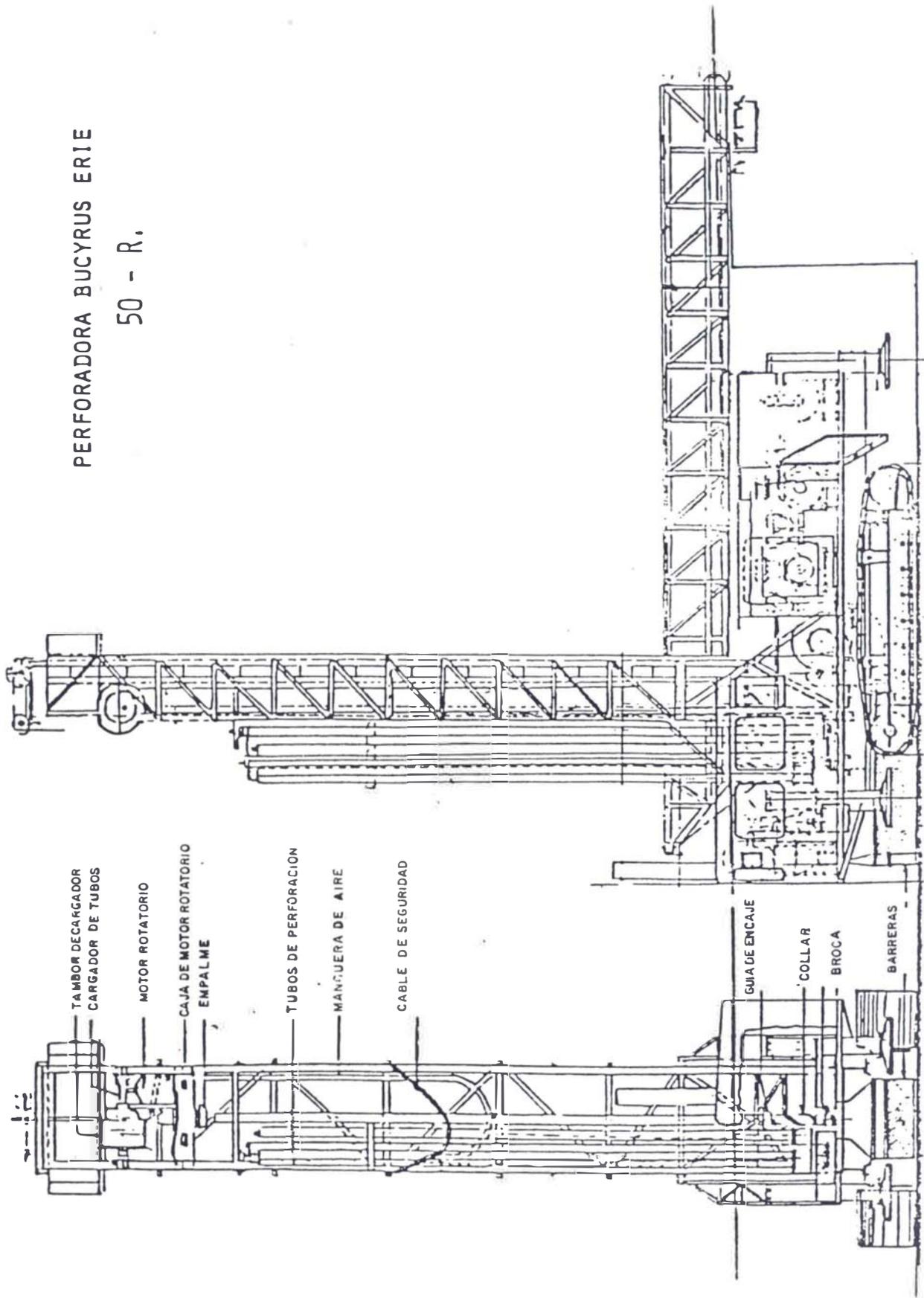
1.7 Motores de la Concentradora

Para darnos una idea del volúmen de motores que debemos tener a cargo en la sección de mantenimiento y por ende la posibilidad de que vengan a ser reparados, hemos realizado un gráfico de la cantidad de motores por su caballaje; con que se trabaja en la concentradora.

La concentradora es el área de donde nos llegan la mayor cantidad de motores a reparar en lo que se refiere a motores trifásicos de jaula de ardilla.

Del área mina generalmente nos llegan motores de corriente continua como son los motores de tracción de locomotoras, palas y perforadoras. (Ver Cuadro 1.1 y Gráfico 1.1)

PERFORADORA BUCYRUS ERIE
50 - R.



FRENTE

PERFIL

Fig. 1.1

LECTRA HAUL

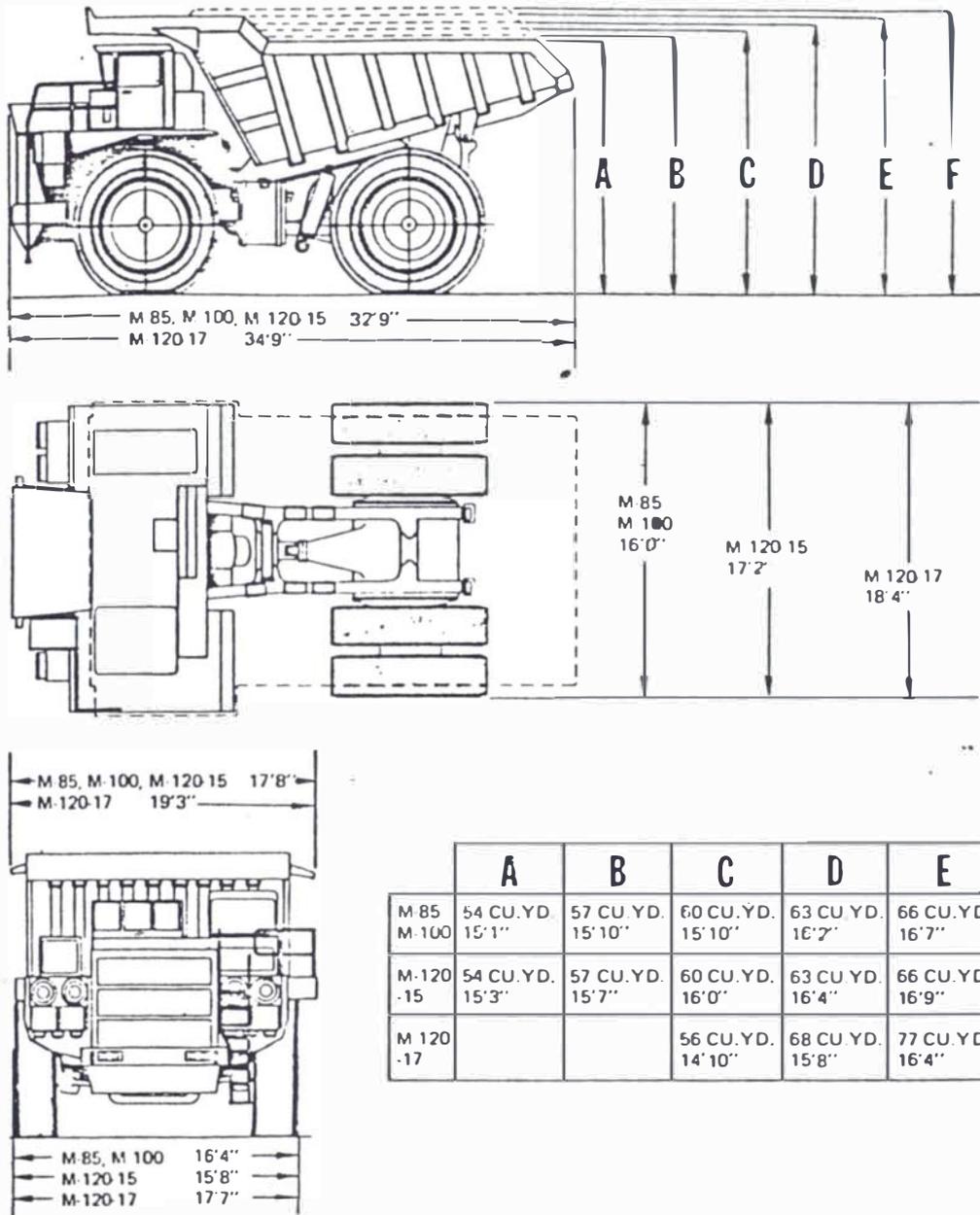


Fig. 1.3

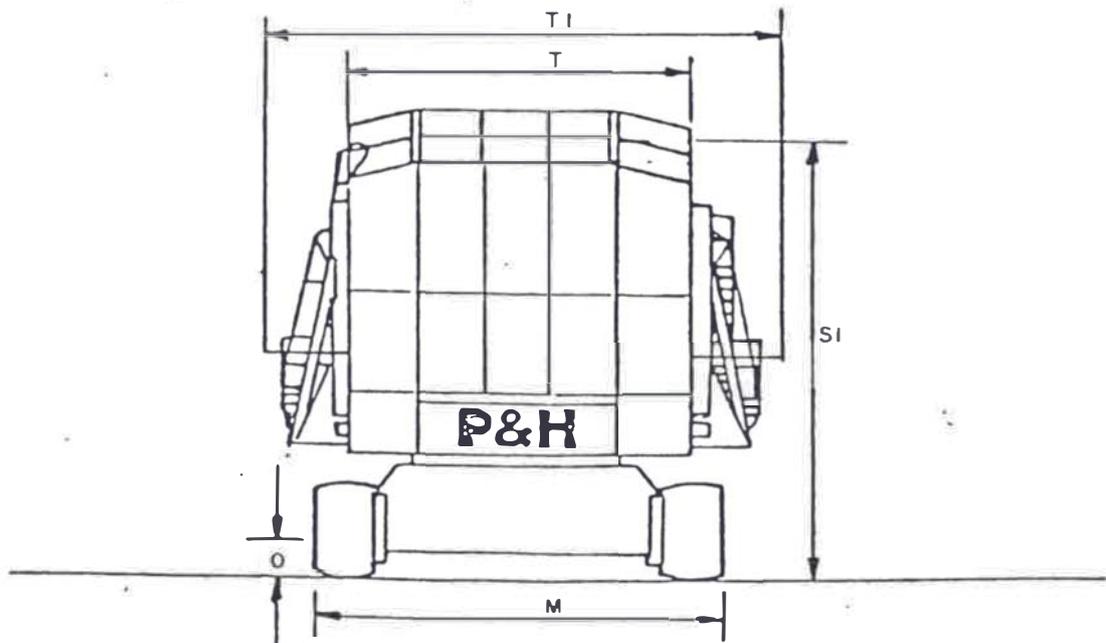
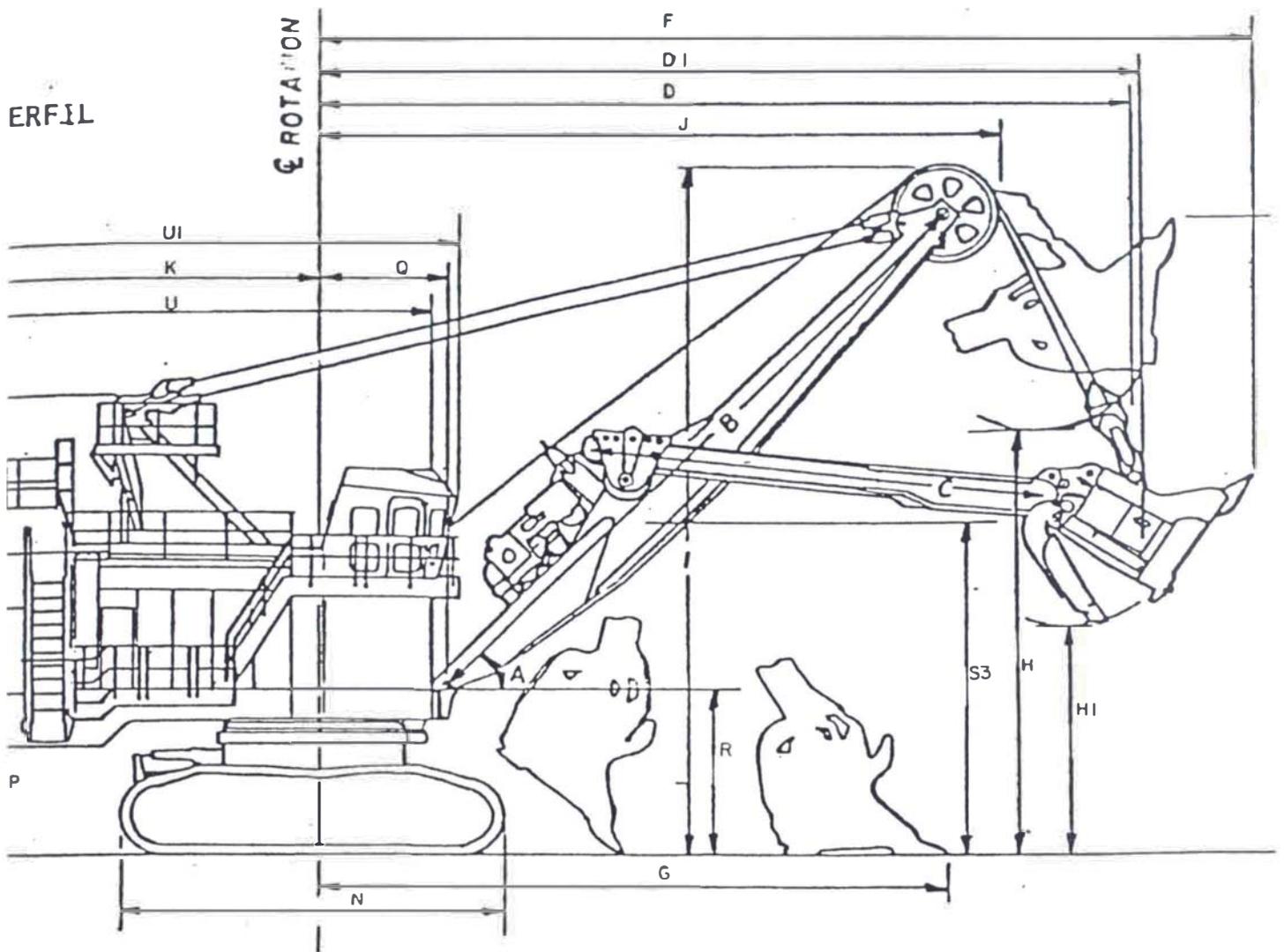


Fig. 1.2

CAPITULO II

TALLER DE REBOBINADO ELECTRICO

2.1 Descripción

Se encuentra ubicado en la zona de Mill Site ó Area de Molinos (Concentradora) a 3,200 metros sobre el nivel del mar.

Está construido sobre una área de 800 m², dividido en cuatro ambientes definidos.

2.1.1 Sección Motores Monofásicos

Esta sección cuenta con seis operarios y un capataz.

Es la encargada de la reparación de todos los motores monofásicos así como de las máquinas herramientas como taladros, sierras, esmeriles. Igualmente de transformadores monofásicos y de los equipos domésticos del campamento.

Los equipos con que cuenta son, un pequeño torno, un horno de secado, taladro de pie, equipo de soldadura autógena y un banco de prueba de corriente alterna.

2.1.2 Sección Motores Trifásicos

Esta Sección cuenta con ocho operarios y un capataz.

Es la encargada de la reparación de todos los equipos trifásicos de más de 1 HP de potencia así como los transformadores de más de 1 KVA como son los de distribución que son de 37 KVA.

Siendo el motor de mayor dificultad en su rebobinado el motor

de molienda de 800 HP, que es un motor síncrono de 4160 voltios, para el cual se dispone de una estructura metálica semi-esférica de 6 metros de altura por 12 metros de diámetro, en cuyo interior en las paredes se han instalado resistencias y focos infrarrojos para el proceso de rebobinado.

Para su trabajo, cuentan con un tablero de prueba de 60/120/440/4160 voltios y un grupo motor-generador para la corriente directa.

Igualmente se tiene un torno para poner bandas a las armaduras, un dinamómetro, tanque de inmersión para barnizado, horno para el curado del barniz y un horno para el quemado de motores. Máquinas cortadoras de bobinas, etc.

2.1.3 Sección Motores D.C.

Esta sección cuenta con 7 operarios y un capataz. Se encarga de la reparación de todos los motores de corrientes directa de las locomotoras, palas, perforadoras y camiones eléctricos.

Para su trabajo cuentan con los equipos usados en la sección de motores trifásicos.

2.1.4 Sección Automotriz

Esta sección cuenta con 4 operarios y un capataz.

Es la encargada de la reparación de los alternadores, arranadores, generadores y en general toda la parte eléctrica de los equipos de transporte.

Para su labor cuenta con un banco de prueba, dinamómetro, horno, taladros de pies, etc.

2.2 Equipo Actual del Taller de Rebobinados

En esta sección se hace una descripción de los equipos con que cuentan las cuatro secciones para el trabajo diario.

La descripción se hará en base a sus características, funcionamiento y fabricante.

Se hace una recopilación de los catálogos de las principales máquinas, así como de su precio (donde sea posible).

Como la mayoría de los equipos son americanos se mantendrá el nombre original y en algunos casos el nombre genérico en castellano.

2.2.1 Equipo Dedicado al Quemado de Motores y al Curado del Barnizado

a) Horno Eléctrico Grieve Hendry Modelo VB-500

Fabricante: The W.W. Sly Manufacturing Co.

Características: Este horno es especialmente diseñado para un prolongado y duro uso.

- No hay contacto de metal a metal.
- La temperatura de la cámara de trabajo es uniforme, no es por calor radiante.

Alto volumen de aire regulable.

- Elementos resistivos de Nichrome.
- Enclavamiento eléctrico (electrical Interlock) para cortar la alimentación a los elementos en caso de falla del motor ventilador.

Ventiladores accionados mediante fajas para mayor vida del motor.

- El aire caliente es impulsado uniformemente através de la cámara de trabajo mediante un motor soplador

de alta presión. Este previene cualquier disturbio debido al calor radiante.

Dimensiones: 36" de ancho por 38" de profundidad por 68" de altura.

Máxima Temperatura: 500°F

Capacidad: 600 CFM

Motor: $\frac{1}{2}$ HP, 440V, trifásico, 60 Hz.

KW: 6

Precio: Aproximadamente \$8,000.00 Dls.

Se encuentra en la sección automotriz debido a que su tamaño y rango de temperatura es el más adecuado para el tipo de equipos que se necesitan secar, como son los alternadores, arrancadores y pequeñas armaduras.

b) Horno Eléctrico de Curado Modelo 333-E

Fabricante: Steelman Industrial Bake Ovens.

Características: Opera hasta un máximo de temperatura de temperatura de 500°F.

Las paredes están construidas de acero rolado en frío de 16 gauge, el piso de acero de gauge pesado. Paredes y piso con un aislamiento de alta temperatura.

La circulación del aire es constantes para prevenir los puntos fríos o calientes.

Puertas a prueba de explosión.

Poseen interruptor de presión de aire para cortar la corriente en caso de falla del ventilador.

Dimensiones: 5' 4" de largo por 4' 10" de ancho por 4' 5" de altura.

27 pies cúbicos de capacidad.

9 KW de potencia.

2 motores sopladores de 1/3 HP, 240/3/60

6 elementos de 1500 watts.

Es utilizado en la sección de motores monofásicos, apropiado debido a su tamaño pues los motores y máquinas en general no son de gran dimensión. El rango de temperatura es el adecuado para el secado del barniz.

Tiene un precio aproximado de \$ 4,000.00 dólares.

c) Horno Eléctrico de Curado Modelo 6712 ETC.

Fabricante: Steelman Electric Co.

Características: Opera hasta un máximo de temperatura de 600°F

- Paredes y piso de acero rolado en frío

- Aislamiento de alta temperatura.

Circulación del aire caliente para prevenir puntos fríos o calientes.

- Puertas a prueba de explosión.

Switch de presión de aire para prevenir cualquier falla en los sopladores.

Dimensiones: 5' 6" de ancho por 7' de alto por 12' de longitud, (Cámara de trabajo).

462 pies cúbicos de espacio.

KW: 74

30 elementos de 2450 vatios (240 voltios).

Un motor de $\frac{1}{4}$ HP y dos de $\frac{3}{4}$ HP.

Utilizado en la sección trifásica y D.C. debido a su gran

capacidad de espacio y rango de temperatura ideal para secado, de grandes motores y armaduras.

d) Horno Quemador Bayco Modelo BB-150

Fabricante: Bayco Industries of California

Características: Este horno quemador está diseñado para cumplir un ciclo de 4 horas de calor, quemado y enfriamiento.

- La limpieza por quemado tiene la ventaja de que, los trabajos de emergencia pueden ser realizados con rapidez.
- El quemado controlado protege sobre las distorsiones de la temperatura.
- La limpieza del estator por calor (quemado del bobinado) se hace rápidamente, rara vez se necesita el arenado final.
- No es necesario un control continuo.
- Este horno es aprobado por el control de polución de los Estados Unidos (USA).
- Construido en acero rolado en caliente.
- Sistema de encendido por chispa eléctrica.
- Protección electrónica por rayos ultravioleta.

Dimensiones: 5' de ancho por 5' de largo por 5' 10" de altura.

Máxima carga de 3200 libras.

Capacidad de Quemado: Primario, 970 MBTU/Hr

Secundario, 970 MBTU/Hr.

Utilizado en la sección trifásica, para el quemado de

estatores (aquellos que son permitidos) para sacar el bobinado. Sobre todo en los motores grandes, donde sacar bobinas a mano puede requerir de 2 hombres durante dos días, esta labor se reduce a 2 ó 3 horas-hombres una vez quemado el bobinado.

Piezas de aluminio así como los motores de Frame "T" pueden ser quemados sin temor a ser deformados.

2.2.2 Equipo Dedicado al Proceso de Reparación y Rebobinado

a) Extractor Hidráulico de Poleas de 60 Ton.

Fabricante: Industrial Engineering Sales Co.

Características: Este extractor de poleas es del tipo hidráulico, es portátil y de fácil operación, para extraer cualquier copla o polea del eje.

Construido en forma robusta, cuenta con un control a distancia y cadenas de seguridad.

La presión es suministrada por una bomba eléctrica.

Está construido todo de acero duro, partes irrompibles.

Ideal para extraer, piñones, poleas, coplas o pistas exteriores de rodajes así como rodajes.

Opera para un diámetro máximo de polea de 34 pulgadas.

Se utiliza mayormente en el taller grande (30 y DC) para la extracción de grandes poleas y piñones de los motores. Algunas veces se aplica fuego a la pieza a extraer.

b) Portable Commutator Slotting Tools (Type 62)

Fabricante: Electric Service Manufacturing Co.

Descripción: Máquina portátil cortar o limpiar mica de los conmutadores.

Este tipo de cortador se usa para conmutadores horizontales hasta de 30" de diámetro o planos hasta de 11" de diámetro.

De peso ligero y fácil manejo. Tiene acoplado un soplador interior de amplia capacidad para disipar el polvo de la mica y dar buena visibilidad.

Es utilizado en todas las secciones, generalmente en armaduras grandes como las de los generadores principales de locomotoras, que no son posibles colocarlas en los cortadores de mica de banco o pedestal.

c) Commutator Slotting Tools (Bench Type 10)

Fabricante: Electric Service Manufacturing Co.

Características: Este tipo de cortador de mica es diseñado para pequeños motores DC y armaduras de generadores.

Es del tipo de banco (Bench) con un rango de armadura hasta de 6 ½" de diámetro y un largo de eje hasta 17".

Utilizada en la sección de motores chicos y automotriz para cubrir el rango de tamaño de armaduras que llegan a esperarse en estas secciones.

Precio aproximado de 2,000.00 dólares.

d) Industrial Undercutter - Model HA-2

Descripción: Cortadora de mica del tipo industrial, con un rango de trabajo en armaduras de hasta 44" de diámetro y 10,000 lbs. El soporte que sirve de base se puede alargar hasta unas 58" entre soportes de rodillos.

El motor de accionamiento es de ¼ HP; 3,450 RPM, pudién-

dose aumentar a 6,900 RPM mediante fajas y poleas, cuando se utilizan sierras de Tungsteno-Carburo.

Posee un colector de polvo, que sirve para absorber la mica durante el corte.

Es utilizado mayormente por la sección DC en las armaduras de los motores de tracción, de giro y avance de palas, perforadoras y locomotoras.

Tiene un precio aproximado de 10,000.00 dólares.

e) Peerless Band Wire Tension Machine

Fabricante: Electric Service Manufacturing

Descripción: Dispositivo del tipo portátil para poder tensar los alambres de las bandas de las armaduras.

Se utiliza en unión de cualquier torno.

Consiste en un tambor de fricción diseñado de tal forma que neutraliza la tendencia del cable a deslizarse.

La cantidad de tensión está bajo perfecto control del operador. Los engranajes, frenos y embragues se encuentran dentro de la carcasa.

Cada libra aplicada al tambor de freno es multiplicada mediante el engranaje a 3 libras en el tambor de enbandado.

Es utilizado en la sección de motores grandes para colocar bandas a las distintas armaduras.

Es utilizado como acoplamiento del torno.

Precio aproximado de 3,000.00 dólares.

f) Type WV Winding Stand

Es una máquina para formar bobinas, posee un motor de

2HP, 900 RPM y tambor con interruptor de reversa.

Se pueden formar bobinas "Random" para motores fraccionarios y hasta de 600 HP, bobinas de bucle hasta 7000 HP y de transformadores hasta de 25,000 KVA.

Se le puede adaptar cabezales para distintos tipos de bobinas.

Una variación de esta máquina es la Auto-Stop Winding, la cual se puede programar para un determinado número de vueltas.

g) Type FF Winding Stand

Máquina muy versátil. Ofrece un amplio rango de velocidad de bobinado, desde 30 hasta 2000 RPM. a baja velocidad y con los engranajes enganchados prevee el torque suficiente para el bobinado de bucle, se pueden realizar bobinas de campo y pesadas bobinas magnéticas. A Altas velocidades se usa con el cabezal tipo GC bobinas trifásicas.

h) Type FA Extra Heavy Duty Machine

Es la máquina para colocar bandas. Tiene un amplio rango de velocidad de 7 a 375 RPM.

Posee una adecuada potencia de tracción ideal para trabajos fuertes.

Tiene un suave y facil arranque con transmisión positiva y perfecto control bajo cargas pesadas.

Posee 120" de separación entre centros.

Se utiliza además para rebobinar los magnetorques de las palas.

i) Lancer Coil Cutter

Esta máquina es utilizada para cortar las cabezas de las bobinas de los estatores, previamente a su extracción.

Utiliza unos discos de material abrasivo de varios diámetros de acuerdo al estator.

Este disco al girar dentro del estator se le hace cortar las cabezas de las bobinas sobre el núcleo del estator, extrayendo las bobinas por el lado contrario.

2.2.3 Equipos de Prueba y Revisión Final

a) Universal Stator and Rotor/Armature Tester

Fabricante : Prufex

Descripción: Este equipo tiene un amplio campo de aplicación, en la prueba de rotores y estatores de motores trifásicos para localizar fallas de cortocircuito entre bobinas o circuitos abiertos, así como defectos en la carcasa o en la Jaula de Ardilla de rotores así como en las armaduras de los motores de corriente continua.

El magneto localizador se encuentra bien apantallado en el cabezal del instrumento.

El magneto excitador localizado entre el magneto localizador y el tubo interruptor produce una potente inducción con picos de alto voltaje que permiten la prueba de bobinados en grandes máquinas.

Posee una exactitud tal que puede detectar una simple falla de cortocircuito de una bobina en un alambre de 0.1 mm. de espesor.

Es utilizado también para probar pequeños motores AC y

DC una vez rebobinados.

Con este instrumento se puede probar además del cruce de bobinas o bobinas abiertas, si las conexiones han sido hechas en forma correcta o hay cruce de delgas.

b) Insulation Tester Type H18

Fabricante: Prufex

Descripción: Es un probador de aislamiento o detector de fallas en el aislamiento, produciendo una perforación donde el aislamiento es débil. ←

Mediante una switch-llave se logra una variación de 0 a 5,000 voltios.

Al localizar la falla, se abre un interruptor de seguridad, desconectando el circuito.

Se utiliza este equipo para probar el aislamiento a tierra, ya sea en las armaduras como en las bobinas de campo sobre todo en los motores de más de 440 voltios.

c) DM-600 Motor Testing Dynamometer

Es una unidad compacta diseñada para probar los motores bajo carga dentro de un rango de 5 a 200 HP.

Contiene una unidad de absorción de potencia del tipo hidráulico turbo-cerrado, con una capacidad de absorción de 200 HP continuos de 1750 a 400 RPM

Sus características principales son:

- Medición directa y exacta de la velocidad, torque y potencia.
- Excepcional suave potencia de absorción.
- Amplio rango de potencia controlable.

Excelente control sobre el rango completo.

- El operador realiza una variación fácil y rápida de la carga.
- Operación continua a su máxima potencia nominal.

El torque es constante y mantenido sin ningun reajuste.

c) Surge Comparison Winding Testers

Fabricante: Baker Instrument Company

Descripción: Es el mejor instrumento de prueba y el que dice la última palabra.

Toda máquina que sale del taller es previamente chequeada con este instrumento.

Se trata de un Generador de Onda y es extremadamente efectivo como una herramienta de diagnóstico para evaluar y detectar cualquier falla que pueda existir en el bobinado, pudiendo detectar y ayudar a localizar cortocircuitos entre espiras, entre bobinas o entre fases, igualmente conexiones inversas de bobinas, bobinas abiertas o a tierra inclusive un aislamiento defectuoso.

Su precio es aproximadamente de 10,000 dólares. Por ser este instrumento poco conocido, se hace un resumen del principio de funcionamiento.

El Surge Tester (Probador de Onda) utiliza el principio del balance de impedancia.

La mayoría de los bobinados eléctricos estan hechos de muchas bobinas o fases idénticas.

El probador de Onda compara la impedancia de estas bobi-

nas para detectar fallas. El instrumento aplica una breve onda a dos bobinas acopladas, mediante la descarga de un capacitor la onda resultante de voltaje de las dos bobinas son mostradas en una pantalla de rayos catódicos. Si las dos bobinas no tienen ninguna falla y están balanceadas en su impedancia, las dos ondas serán idénticas y superpuestas lo que originará que se vea una sola onda. Ahora bien si alguna de las dos bobinas tiene alguna falla, su onda no será igual a la de la otra bobina en comparación, por lo que se proyectará una doble onda en la pantalla, y de acuerdo al tipo de falla se presentará distintas formas de onda.

Este Generador de Onda puede imprimir un relativo alto voltaje en el bobinado debido a la alta frecuencia de la onda de voltaje amortiguada. La frecuencia de esta onda es dada por la siguiente ecuación.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

donde:

f= frecuencia

l= inductancia de la bobina

c= capacitancia del generador de onda

La frecuencia para estas pruebas en la mayoría de los probadores de comparación de onda se encuentran en el rango de los 300 a 1000 kilohertz.

A esta frecuencia un relativo alto voltaje se obtiene sin alcanzar niveles de corrientes destructivos.

Al incrementar la frecuencia se eleva la tensión con un mínimo de corriente, según la ecuación siguiente:

$$E = 2 \pi f l i$$

donde:

E = voltaje

i = corriente

Otro factor que influye en la energía total de la prueba, es el capacitor de descarga. A un voltaje de prueba dado, la energía de la prueba es determinada enteramente por este valor.

La energía se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{2} C E^2 ; \text{ donde } P \text{ es la energía.}$$

la relación entre estos factores frecuencia, corriente y energía total, permite que las armaduras puedan ser probadas a niveles de voltaje mucho más alto que los de funcionamiento.

Esto significa que grandes fallas de resistencia tanto como las pequeñas pueden ser detectadas de esta forma.

d) Tablero de Prueba AC - DC Westinghouse.

Fabricante: Westinghouse

Descripción: El tablero de prueba del taller de rebobinados consiste en cuatro paneles:

- La línea de entrada y los circuitos de alimentación para la prueba de los motores.
- Panel para prueba en baja tensión.
- Panel de prueba en DC

- Panel para pruebas en alta tensión.

Sus dimensiones son, largo de 166", el ancho de 30" y la altura de 90".

La alimentación al panel de prueba DC es dado por un grupo motor-generador siendo las características de este grupo:

Motor Westinghouse de 75 HP, 1768 RPM, trifásico, 60 Hz y 90 amperios.

El motor es del tipo CSP.

Generador Westinghouse de 50 KW y 200 amperios, de 125/250 voltios y 1750 RPM.

El panel de prueba de baja tensión tiene salidas de tensión de 60/120/240/ y 480 voltios a 180 amperios.

Los medidores están capacitados para medir voltajes y corrientes en las tres fases.

El panel de prueba de alta tensión tiene salidas de tensión de 1200/2400 y 4160 voltios a 200 amperios.

El autotransformador que alimenta este panel es de 750 KVA tipo OA, trifásico, 60 HZ.

El precio aproximado es de unos 100,000.00 dólares.

2.2.4 Equipos Auxiliares o Complementarios

a) Steam Cleaner

Fabricante: Clayton INC.

Descripción: Es una máquina lavadora, que combina los tres elementos de agua caliente detergente y vapor para la limpieza de uso general.

Mediante una manguera y pistola a presión, se provee de

la mezcla de agua caliente, detergente y vapor a presión para una eficaz limpieza.

b) ICM Superhone

Fabricante: Industrial Cleaning Machines

Descripción: Es una máquina arenadora, con la cual se limpia (arena) piezas no muy grandes. Sólo para trabajos rápidos en las cuales una limpieza superficial sea suficiente.

c) Stator Coil Puller

Fabricante: SW Enterprises

Descripción: Es un extractor de bobinas de estatores, es del tipo neumático.

Una vez cortada la cabeza de bobinas de un lado del estator, mediante una pinza ó alicate se extraen las bobinas. Previamente se ha dejado remojar el estator en el tanque descarbonizador.

Opera hasta un máximo de estatores de 19" de diámetro utilizando una presión de aire de 80 a 120 Lbs.

d) Tri-Clo Stripping Tank

Fabricante: SW Enterprises

Descripción: Máquina descarbonizadora por vapor. Los vapores químicos calientes, suavizan el barniz del bobinado previa a su extracción.

Utiliza como solvente el Tri-Cloroetileno.

El calentamiento es por resistencia.

e) Tanque Descarbonizador

Fabricante: Hecho en el taller

Descripción: Cilindro de dos metros de diámetro por cinco metros de altura, con solvente químico (CTD-99) que ayuda a remover el barniz de los motores que se van a rebobinar. Este solvente es hecho a base del ácido crésico.

f) Tanque de Barnizado

Fabricante: Hecho en el taller

Descripción: Es un tanque empotrado en el piso del taller con unas dimensiones de: 11" de diámetro por 10' de profundidad.

Se utiliza para el barnizado de grandes motores, debido a su tamaño.

El barniz utilizado es el cementante aislante "Therm-O-Clad V61VLpl.

g) Induction Heating Coil

Fabricante: National Coil

Descripción: Es un calentador de piñones por medio de inducción magnética.

Tensión de 440 voltios a 300 amperios, tiene una capacidad para piñones hasta de 8 5/8" de diámetro.

CAPITULO III

PRUEBAS, REBOBINADOS, RECONEXION Y REDISEÑO DE MOTORES POLIFASICOS DE JAULA DE ARDILLA

3.1 Uso de la Tabla de la American Wire Gauge (AWG) y Determinación de Calibres Alternativos.

3.1.0 Generalidades

Todo rebobinador debe acostumbrarse a esta tabla y memorizar ciertos valores. Ver Cuadros 3.1 y 3.2 .

Básicamente a números menores corresponde mayor sección.

Añadiendo tres números a cualquier calibre, resultará que la sección del alambre queda reducida a la mitad.

Ejemplos:

Sección del # 10 AWG > Sección del # 20 AWG

Sección del # 17 AWG = (Sección del # 14 AWG) $\frac{1}{2}$

Por lo que si asumimos que el # 14 es lo suficiente para conducir 10 amperios entonces el # 17 lo será para 5 amperios.

3.1.1 Mils y Circular Mils (CM)

Los alambres son medidos en Mils donde un Mil es una milésima de pulgada.

1 Mils = 0.001 pulgada.

El circular mil es una medida de la sección del alambre. En un círculo con un diámetro de un (1) mil Fig. 3.1. Ahora bien por cada 10 números en aumento o disminución, la sección en:

circular mil es dividida o multiplicada por diez (10).

Esto es el #10 tiene una sección 10 veces mayor que la del # 20 y el # 30 tiene una sección diez veces menor (en circular mil) que el # 20.

El alambre # 10 tiene 10,000 C.M. (10,380 por lo que el # 20 tiene 1,000 C.M.

El alambre # 10 tiene 101.9 mils de diámetro, se aproxima el valor a 100 mils.

El area en circular mils de un alambre, es su diámetro en mils multiplicado por si mismo (el diámetro en mils al cuadrado).

El número de milésimas es usado como un número total.

Por ejemplo, un alambre que medido con un micrómetro indica 0.021 a 21 milésimas de pulgadas de diámetro dará una sección de : $21 \times 21 = 441$ C.M.

3.1.2 Cuadrado Mils

Un cuadrado mils es un cuadrado que tiene un (1) mil por lado. Por lo que un circular mil es inscrito en un cuadrado mil Ver Fig. 3.1

Un alambre cuadrado # 9 es 0.114 x 0.114, multiplicado nos da 13,000 cuadrado mils dividiéndolo entre (π) $\frac{1}{4}$ ó 0.7854 da en circular mil.

Un valor aproximado de conversión (cuadrado mil a CM) se puede obtener multiplicando el valor en cuadrado mil por 10 y dividiéndolo entre 8.

Para encontrar el equivalente # AWG en redondo del cuadrado, se debe usar un número más alto, esto es: El # 10 en cuadrado es igual al # 9 en redondo.

El gráfico 3.1 da en circular mil, directamente cuando se conoce las dos medidas de un alambre rectangular.

Volviendo a la table AWG, tenemos que 1,000 pies del alambre # 10 (redondo) pesa alrededor de 31.4 Lbs. Una forma de recordarlo es que equivale a 10 veces el valor de

π (Pi).

También 1,000 pies de alambre # 10 tiene alrededor de 1 ohmio de resistencia a 77°F.

Otro número necesario de recordar es ohmio por pie.

Este valor puede usarse con confianza en el cálculo de la caída de voltaje, ó valor de una resistencia limitadora de corriente al motor.

En el rebobinado de motores un valor no muy pocas veces usado es el de amperios por pulgada cuadrada, en lugar de circular mil por amperio. El gráfico 3.2 nos permite una rápida conversión de un valor a otro.

Una necesidad que se presenta a menudo es buscar el equivalente de la sección de un alambre con dos o más alambres en paralelo, esto se hace necesario por cuatro razones:

- a) La ranura es muy angosta para permitir que un alambre más ancho entre facilmente, o no entre totalmente.
- b) El alambre es muy rígido para ser maniobrado facilmente.
- c) El alambre mayor deja mucho espacio entre bobinas en la ranura, y por lo tanto contraviene a la cantidad necesaria de cobre por ranura.
- d) Por último, no se tiene el alambre requerido.

Generalmente esta última razón es la mas común.

El cuadro 3.3 indica los calibres de alambres alternativos. En esta tabla la letra "X" se usa para el calibre, AWG que se tiene. Por ejemplo si el alambre del cual queremos formar paralelos es # 13, entonces "X" es 13. El valor $X + 4$ significa 13 mas 4 ó # 17.

Esto es si tres números se añaden a cualquier calibre, el calibre resultante es la mitad de la sección en circular mil del alambre original.

Tenemos que si "X" es igual al # 17, entonces 17 más 3 igual # 20 esto es 2 # 20 son iguales en sección a un # 17.

3.1.3 Ejemplos Aplicativos

a) Al sacar las bobinas de un motor, se halla que eran rectangulares de sección de 6,600 CM.

Del cuadro 3.1 se encuentra que 6530 CM. corresponde al # 12 redondo. Este es un alambre muy rígido para manio-
brar y no se contaba en stock además.

Tres alambres en paralelo parece lo más razonable con respecto a la sección para rebobinar.

La tabla indica que para tres alambres en paralelo: $X + 4$, $X + 5$, y $X + 5$ puede ser usado.

Como tenemos que $X = 12$, los otros alambres serán 16, 17 y 17.

Por lo que en lugar del # 12, se usó el # 16 y dos del # 17

La tabla nos indica que esta combinación produce un 2½% sobredimensionado.

Como 2½% = 0.025 entonces:

$0.025 \times 6530 (\#12) = 163 \text{ CM.}$

Por lo que $6530 + 163 = 6,693$ CM. bastante cerca de los 6,600 CM.

- b) Tres alambres en paralelo, # 12, # 13, # 14, fueron hallados en un bobinado quemado.

La bobina de prueba quedaba muy rígida, por lo que se decide usar seis alambres en paralelo.

Esto hacía la bobina más suave y más fácil de embobinar y a su vez permite formar una bobina más corta y por lo tanto prevenir el movimiento de bobinas durante la onda de arranque.

Los valores en circular mil de los alambres son:

12 tiene 6,530 CM

13 tiene 5,180 CM

14 tiene 4,110 CM

Total..... 15,820 CM

El cuadro 3.1 indica que el # 8 tiene 16,510 CM y el # 9 tiene 13,090 CM.

Por lo que el alambre es bastante cercano al # 8, esto es una equivalente de los tres alambres originales.

Tomado $X = 8$, la tabla indica un juego de seis bobinas en paralelo que es alrededor de 2% menor en sección (CM).

Por lo que se usará un $X + 7$ y cinco $X + 8$ por lo que:

15 tiene 3,260 CM

16 tiene 2,580 CM

En total se tendrá $5 \times 2,580 = 12,900$

3,260

16,160 CM.

Se necesitan 15, 820 por lo que el nuevo bobinado está bastante cerca siendo alrededor del 2% sobredimensionado. Ocupará menos espacio en la ranura que los alambres originales. El nuevo bobinado será ciertamente un bobinado "suave".

Muchas combinaciones pueden ser hechas, cualquier alambre simple puede ser reemplazado por dos más pequeños con solo agregar 3 números al calibre.

La experiencia indica cuál es la mejor combinación que se adapta a cada necesidad.

3.1.4 Tabla AWG en Sistema Métrico

Muchas veces se necesita los alambres en el sistema métrico el Cuadro 3.4 da los calibres AWG en el sistema métrico.

Una fórmula muy usada cuando se tiene el diámetro en mm. y se necesita la sección en circular mil, es:

$$CM = mm^2 \times 1,550$$

Por ejemplo un alambre de 2mm. de diámetro tiene:

$$2 \times 2 \times 1,550 = 6,200 \text{ CM.}$$

3.1.5 Tabla de Circular Mil por Amperio

Otra necesidad frecuente es: Teniendo un determinado alambre se necesita saber los circular mils por amperios para un valor dado de amperaje.

En los Gráficos 3.3 (a,b,c) mediante el conocimiento de dos datos podemos hallar el tercero.

Ejemplo:

Un motor con conexión en estrella tiene alambre # 17. Su capacidad es de 6.2 amperios, se desea saber los circular mil

por amperios.

Con el valor de 6.2 en la escala de la izquierda de la tabla se intercepta la curva correspondiente al alambre # 17, con una vertical al eje horizontal se encuentra el valor de 320 circular mil por amperios.

El procedimiento de uso de esta tabla es sencillo esto es si se tiene un alambre y se quiere saber sus circular mils por amperios para un valor dado de amperios, se intercepta con horizontal desde el valor de amperios hasta la diagonal del alambre deseado. Una vertical trazada de este punto da el valor de los circular mils por amperios.

Esta tabla es muy usada para muchos tipos de bobinados, particularmente si se mantiene un record de los circular mils por amperios de los bobinados que se realizan.

3.2 Conexiones Básicas y Tipos de Bobinados

En los motores trifásicos las conexiones más frecuentes son la de estrella y delta.

Es necesario saber las relaciones entre estas conexiones antes de proceder a algún rediseño, reparación o rebobinado de los motores trifásicos de inducción.

3.2.0 Conexión Estrella

En este tipo de conexión, la corriente nominal (de placa) circula por cada fase por lo que se simplifica el cálculo del calibre del alambre.

Un diagrama esquemático se muestra en la Fig. 3.2

El diagrama de conexión con cada grupo por polo y por fase se muestra en la Fig. 3.3

Por ejemplo si la corriente de placa es de 20 amperios esto quiere decir que en cada fase circulará 20 amperios.

Si se asume por ejemplo alrededor de 500 CM por amperios, $20 \times 500 = 10,000\text{CM}$ serán necesarios.

En el Cuadro 3.1 indica un alambre # 10 para esta corriente.

Por supuesto que no será práctico rebobinar con un alambre # 10 por ser muy rígido y de difícil maniobrabilidad.

Para este caso se presenta dos posibilidades:

1) Usar un número determinado de alambres en paralelo también llamada "en mano".

2) Usar un número determinado de circuitos en paralelo.

(Los frames o carcasa modernos requieren menos circulars mils por amperios).

Primera posibilidad:

Usando los alambres de calibre apropiado para facilidad de maniobrar, se debe obtener en total los 10,000 CM (# 10).

Del Cuadro 3.1 :

2 # 13 igual $5,000 + 5,000 = 10,000$ CM aproximadamente, 3

15 igual $3,260 \times 3 = 9,780$ CM aproximadamente. Generalmente

es mejor que se exceda el valor deseado y luego ir disminuyendo; pero teniendo en cuenta que cada 500 CM significa un amperio en su capacidad.

2 # 15 y 2 # 17 equivalen a 10,600 CM

4 # 16 equivalen a 10,332 CM.

Cualquiera de estas combinaciones son aceptables en lo que respecta a la capacidad de corriente.

Como sea que en muchos casos la elección la determinará la

capacidad física de las ranuras; para muchos motores la combinación de 2 # 13, será muy dificultoso para rebobinar.

Por regla práctica para un fácil bobinado la abertura de la ranura debe permitir el paso de 2 a $2\frac{1}{2}$ alambres juntos.

Del Cuadro 3.1, el # 13 tiene 0.072 pulgadas de diámetro (desnudo), y tres veces sería 0.216 pulgadas ó sea entre $\frac{3}{16}$ y $\frac{1}{4}$ de abertura de ranura será necesario. Esto significa un motor muy grande. Además el # 13 es un poco rígido para un motor pequeño además podría el bobinado sobresalir lo que impide un adecuado ensamblaje.

Otra dificultad es el espacio no utilizado entre los alambres o el cruce de alambres. Con alambres gruesos esto constituye un inconveniente importante, sobre todo en ranuras estrechas. Probablemente 4 # 16 en mano sea lo más adecuado para rebobinar con dos circuitos en paralelo. Ver Fig. 3.4.

Segunda Probabilidad:

Se tiene que el motor es de 12 vueltas de los 4 # 16, por bobina serán 48 alambres y estén conectado en un circuito estrella. Para convertirlo en dos circuitos estrellas, las bobinas deben ser hechas con 24 vueltas y dividida entre dos el calibre del alambre.

Como sea que con el cambio, el total de CM por bobina (y por lo tanto por ranura) se debe conservar este valor se debe usar como un chequeo constante de la exactitud del diseño.

De acuerdo con el ejemplo, si el motor tiene 4 polos ó un múltiplo de 4, se puede usar 4 circuitos, estrellas.

Luego los datos correctos son:

Cuatro (4) circuitos estrellas

48 vueltas del # 16 (Ver Fig. 3.5).

Nótese que con una estrella, hay 4 # 16 en paralelo y 12 vueltas equivalen a 48 alambres por bobina del # 16.

Con 2 estrellas, 24 vueltas de 2 # 16 en paralelo lo que da nuevamente 48 alambres.

Con 4 estrellas, usaremos 48 vueltas de # 16.

El valor constante de 48 vueltas de alambre # 16 de la bobina es el chequeo que se debe hacer para cualquier rediseño.

4.2.1 Conexión Delta

En este caso la corriente nominal (placa) es dividida en dos caminos, pero cada fase debe tener suficiente cantidad de cobre para conducir más de la mitad de la corriente nominal. (Ver Fig. 3.6).

Del ejemplo anterior: el alambre debe conducir al menos el 58% de esta corriente (20 amp.) es decir:

$$0.58 \times 20 = 11.6 \text{ amp.}$$

Con la misma condición de alrededor de 500 CM. por amperios:

$$11.6 \times 500 = 5,800 \text{ CM.}$$

Del Cuadro 3.1, esto corresponde a un # 12 ó # 13 ó para mayor exactitud a un # 15 y un # 16 en paralelo. (El total del paralelo corresponde a 5,840 CM y se necesita 5,800 CM).

Es prácticamente imposible la conversión de estrella a delta o viceversa de acuerdo al calibre del alambre. El calibre del alambre siempre coincide entre dos números de alambre.

Esto se puede ver, del Cuadro 3.4. El lado derecho de la tabla da la conversión directa de acuerdo al calibre de una co

nexión a otra. De este cuadro: si el # 10 es requerido para una conexión estrella, se puede ver que para una conexión delta (la mitad derecha del cuadro) un alambre entre el # 12 y el # 13 será el adecuado.

Practicamente se puede considerar la conexión delta como una conexión de 2 circuitos, esto requiere de alambre más delgado, por lo que facilitará el bobinado de un motor grande.

Se debe tener cuidado en el bobinado de grupos no balanceados con los circuitos paralelos delta de cualquier conexión y, aun con un circuito simple delta.

3.2.2 Paso de Una Conexión a Otra

Se puede realizar el paso de una conexión a otra con tan solo multiplicar ó dividir por el factor $\sqrt{3}$ ó (1.73).

El factor 58% utilizado anteriormente es el mismo.

En el motor conectado en estrella del ejemplo se tenía 12 vueltas. Para convertir en delta, más vueltas serán necesarias, porque en la conexión, en estrella, dos fases están practicamente en serie através de las líneas, y ya que en la conexión delta cada fase está entre líneas.

Como se debe mantener (para igual velocidad) los voltios por vuelta siempre; es obvio que la conexión delta requiere de más vueltas. (Ver Fig. 3.7). Para la conversión a delta, las 12 vueltas deben ser multiplicadas por 1.73, lo que viene a ser más o menos 21 vueltas. Como se había dicho anteriormente, la totalidad de cobre se debe mantener, esto quiere decir que un incremento en el número de vueltas ocasiona un decremento en el calibre del alambre.

Por lo que, el calibre del alambre en la conexión delta se obtiene dividiendo por $\sqrt{3}$ el calibre en la conexión estrella. Esto se realiza con los circular mil de los alambres. Una forma práctica de hacerlo es usando el Nomograma del Cuadro 3.4, teniendo cuidado de convertir ambos: vueltas y calibre de alambre en cada caso.

3.2.3 Explicación de la Tabla de Conversión de Estrella a Delta

Muchas veces para chequear datos existentes ó para rebobinar con alambre más conveniente, es deseable convertir una estrella a delta ó viceversa.

El Nomograma del Cuadro 3.4 dá el cambio en forma practica y con gran exactitud.

Se demostrará su uso mediante algunos ejemplos.

Ejemplo A) Supongamos una bobina de 19 vueltas alambre #15 conectado con dos estrellas. Se necesita dos deltas. En la escala de las estrellas vueltas, indican que son necesarias 33 vueltas en la escala deltas vueltas. El alambre # 15 en la escala calibre de alambre estrella corresponde al # 17 (aprox.) en la escala calibre de alambre delta. Este valor es sobredimensionado, se preferiría el # 20 y # 21 en paralelo, aunque no hay inconveniente en el uso del # 17.

Ejemplo B) Un motor doble delta de 85 vueltas # 23, se desea conectar en doble estrella.

Como en el ejemplo anterior en la escala delta vueltas: para 85 corresponde $49 \frac{1}{2}$ en la escala

estrella vueltas. A continuación en la escala calibre de alambre estrella.

Estas escalas pueden usarse para cualquier conversión de 1, 2, 3, ó cualquier cantidad de circuitos, teniendo en cuenta que el número de circuitos no se cambian esto es la conexión triple delta se cambia a conexión triple estrella y no a doble estrella ó simple estrella.

La escala de conversión para ser más exactos, se se pueden utilizar para obtener otros circuitos, pero en cada caso la conversión debe ser la que se lleve a los circuitos deseados.

Se tiene un motor:

Conexión	Triple estrella
Vueltas	36
Calibre	# 18

Se desea una conexión Doble Delta.

Se procede:

Se divide las 36 vueltas entre 3 (número de circuitos), esto da 12.

Esto indica que para un simple estrella se deben usar 12 vueltas.

Por igual razonamiento en un circuito doble estrella, dos veces 12 señalan que son necesarias 24 vueltas.

Ahora bien 24 vueltas estrella corresponde a 41 vueltas delta (igual número de circuito - 2).

La conversión del calibre de alambre se realiza mejor utilizando los circular mil. El # 18 tiene 1,624 CM, por 3 (número de circuitos) da 4,872 CM para un simple estrella. Para la do-

ble estrella, 4,872 entre 2 da 2,436 CM (# 16 aprox.).

Luego mediante la tabla de conversión en la escala calibre de alambre estrella, el # 16 corresponde al calibre entre el # 18 y el # 19 en la escala delta. Se recomienda el número 18.

3.3 Tipos de Bobinados

Las diferentes maneras en que las bobinas están colocadas en las ranuras, determinan los tipos de bobinados. Hay muchos tipos de bobinados con varias formas de bobinas. Los más usados se describen en este capítulo.

3.3.0 Bobinado de Dos Capas ó en Diamante

Este bobinado se caracteriza por tener tantas bobinas como ranuras tiene el estator.

Cada lado de bobina ocupa la mitad de la ranura donde está alojada. Ver Fig. 3.8

Este tipo de bobinado es muy usado y fácilmente rebobinable, pues todas las bobinas son iguales, en tamaño y forma. Todas llenan las ranuras de igual forma. Hay dos formas de colocar las bobinas en este tipo de rebobinado.

En el primer método, ambos lados de la primera bobina son colocados en las ranuras, y así con las demás bobinas. Por lo que la primera bobina y algunas otras ocupan la mitad inferior de las ranuras con ambos lados de bobina.

El mismo número de bobinas ocupa la mitad superior en ambos lados de bobina, hasta que la última bobina sea colocada.

Ver Fig. 3.9

En el segundo método, solo se coloca el lado de bobina que va

en la mitad inferior de la ranura, dejando el otro lado de bobina fuera de la ranura. Ver Fig. 3.10

Cuando el paso es alcanzado, ambos, tapa y base son colocadas juntas (bobina completa) y así sucesivamente hasta alcanzar el primer paso de bobina. Todas las bobinas están ahora en el estator. Pero el primer grupo de bobinas, aún tienen un lado de bobina fuera de las ranuras. Es costumbre, para facilidad en el bobinado, el dejar levantadas algunas bobinas más que las que corresponde al primer grupo, pues de otra forma las últimas serán muy dificultosas de introducir.

Estas bobinas son ajustadas y tiradas hacia atrás para permitir el último grupo de bobinas sean colocadas. Por ejemplo, en un estator de 36 ranuras, 4 polos, paso 1-8, alrededor de 10 ó 11 bobinas son colocadas en las ranuras. Estas 10 ó 11 bobinas son las llamadas "pitch coil" ó bobina de avance, con un lado de bobina fuera. Ver Fig. 3.10.

3.3.1 Bobinado en Cadena

Es un bobinado hecho de bobinas simples, cada bobina ocupan generalmente dos ranuras. Las bobinas son a menudo dos o tres medidas para un fácil instalado en las ranuras y parecen cadenas una vez colocadas en el estator. Ver Fig. 3.11

Este bobinado se utiliza generalmente en generadores grandes y de alto voltaje, debido a la facilidad de aislar las bobinas y separarlas unas de otras. Esta separación incrementa la refrigeración de las bobinas. La apariencia final del bobinado puede ser de una, dos ó tres capas o rangos, el número de capas no es determinado por el número de fases. La mayoría de

las bobinas en cadena trifásico son de polo consecuente, excepto para el tipo de tres capas que puede ser de polo saliente ó consecuente.

3.3.2 Bobinado Concéntrico

Como su nombre lo indica, una bobina es hecha dentro de la otra. Inicialmente se usó en los motores monofásicos pero ahora es muy común en los trifásicos por la facilidad de ser hechos a máquina.

Cuando se le usa en los trifásicos es una combinación de concéntrico y en cadena. Ver Fig. 3.12

3.3.3 Bobinado Concéntrico en Cadena

Es usualmente de polo consecuente. Esto es hay más polos que grupos de bobina concéntrica. Ver Fig. 3.13 .

La conexión mostrada de tres capas no es siempre de polo saliente.

Muchos bobinados concéntricos en cadena tienen dos lados de bobina por ranura.

Otra razón para usar este tipo de bobinados en máquinas de alta potencia, es poder separar el estator en varias partes para permitir su traslado sin alterar ninguna bobina. Algunos puentes solo son necesarios reemplazar.

Un rebobinador acostumbrado al bobinado concéntrico en cadena, puede hacer las bobinas y rebobinar en menos tiempo que le tomaría rebobinar con el tipo de Diamante de dos capas. Enseñar al rebobinador para cambiar a este método no es muy fácil.

Lo que si es evidente es que: el bobinado de dos capas en

diamente tiene ciertas ventajas en lo referente al calor, torque, etc.

Por lo que el bobinado concéntrico no es recomendable cuando de motores de alta potencia se trata.

3.4 Número Efectivo de Espiras

Otro concepto básico a tener en cuenta en el rediseño es el de "Espiras Efectivas".

Este número difiere del número de espiras reales de una bobina. La razón es que este número depende del paso de bobina.

Las bobinas de paso completo son el 100% efectivas; las que tienen un paso inferior al completo, son menos efectivas. Ver Fig. 3.14, se observa que cada polo del arrollamiento de trabajo está formado por cuatro bobinas, de paso diferente.

Por lo que se dijo anteriormente, la bobina exterior de cada polo es más efectiva que las demás, por ser de paso mayor. El grado de efectividad depende del número de grados eléctricos abarcados por sus lados. El paso máximo que pueden poseer las bobinas de un polo abarcan un ángulo central de 180 grados eléctricos.

$$k_E = \frac{90^\circ E}{90^\circ G / P}$$

$90^\circ E$ = grados eléctricos

$90^\circ G$ = grados geométricos

P = paso de polos.

Para evaluar la efectividad de las bobinas de un polo, se vuelve a la Fig. 3.14. Puesto que cada polo abarca 9 ranuras, y puesto que estas ranuras deben corresponder a un ángulo central de 180 grados eléctricos es evidente que cada par de ranuras contiguas abarca un ángulo de 20 grados eléctricos.

La bobina exterior de cada polo posee un paso 1 a 9, es decir, abarca 8 ranuras, cuyo equivalente son: $8 \times 20 = 160^\circ E$

El grado de efectividad que corresponde a un determinado ángulo central viene dado por el llamado "factor de paso", que equivale numéricamente al valor del seno de la mitad del ángulo abarcado por la bobina.

Se adjunta una tabla con valores de factores de paso correspondientes a los pasos y números de ranuras por polos más usados en la práctica. Multiplicando el número de espiras reales de una bobina por el factor de arrollamiento se obtiene el número de espiras efectivas de la misma.

Del ejemplo anterior, donde el número de ranuras por polo es 9 y los pasos de las bobinas de cada paso son: 1-9, 1-7, 1-5, y 1-3 respectivamente, los factores de paso que les corresponde son 0.98, 0.87, 0.64 y 0.34. El número efectivo de espiras de cada bobina se calculará multiplicando su número de espiras reales por el factor de paso respectivo.

Paso en ranuras	Paso en grados Elect.	Número de espiras reales por polo	Factor de Paso	Número de Espiras efectivas por polo
1 - 9	160	30	0.98	29
1 - 7	120	30	0.87	26
1 - 5	80	18	0.64	12
1 - 3	40	20	0.34	7

3.5 Chequeo de Bobinados para Determinar las Conexiones

Uno de los problemas más a menudo encontrados en el taller de rebobinados es encontrar un método rápido y efectivo para identificar las conexiones de un estator trifásico que debe ser rebobinado.

Los siguientes pasos deben seguirse rigurosamente, cuando un estator va a ser rebobinado:

a) Leer cuidadosamente los datos de placa, para tener una idea de lo que se puede esperar ó que buscar en las conexiones. Se debe copiar todo lo que está impreso. Chequear si la placa es original ó ha sido reestampado.

b) No se debe cortar ninguna línea ó alambre ó desconecte alguna línea.

c) Se hace una nota en la hoja de datos, del número de terminales que salen del estator y cuantos están unidos entre sí.

Por ejemplo en un doble voltaje, hay 9 terminales, si tres grupos de tres líneas cada uno, son conectadas, esto indica que probablemente la conexión sea del tipo delta para voltaje.

Se debe anotar los números de las líneas y las que van unidas.

d) De los datos de placa se obtiene la velocidad.

Para 60 ciclos: Se divide 7,200 entre la velocidad lo que nos dá el número de polos.

Este número por 3 dá el número de grupos por polo por fase (sistema trifásico).

Cuente los grupos y vea si corresponde con el valor correcto de la tabla del Cuadro 3.5; si no corresponde es que los datos de placa son incorrectos.

e) Cuente las ranuras y divídalo entre el número de grupos del Cua-

dro 4.23; si no dá un número entero, un número desigual de bobinas por grupo será necesario, el paralelo será difícil a menos que se chequee cuidadosamente.

Ver Cuadro 3.6

- f) Mentalmente haga una nota de los circuitos posibles. Esto es no trate de rebobinar una conexión de 4 circuitos en máquina de 6 polos.

El Cuadro 3.7 muestra los circuitos posibles cuando las vueltas por grupo son exactamente iguales, ó fases balanceadas. Cuente los puentes y los puntos de estrella u otras conexiones de líneas en el estator; estas conexiones no son las de las bornera.

El paso final es el recuento y examen de los puentes luego de que el chequeo eléctrico se ha hecho. Examine la posición de los puentes, si están los finales de grupos uno al lado del otro ó hay tres bobinas simples separadas cerca del final de ciertos grupos. Ver Fig. 3.15.

- g) Chequee el calibre del alambre, sin cortarlo, para ver si el motor fué rebobinado para un voltaje diferente que el que indica la placa. Ver Cuadro 3.8.
- h) Las siguientes precauciones deben ser tomadas cuando se rebobina:
- 1) No intente formar paralelos con bobinas desiguales ó vueltas por grupo.
 - 2) Cuando sea posible ó cuando haya duda del voltaje balanceado, use la conexión en estrella aun si va a rediseñar el bobinado.
 - 3) Tenga cuidado de no cambiar la velocidad al rebobinar motores con asimetría mecánica en el "Frame", como algunos de los frames de la westinghouse. Ver Fig. 3.16

Ejemplo A)

El estator de un motor es llevado al taller de rebobinado. Muchas de las conexiones ó puentes están quemadas totalmente. El bobinado no está completamente quemado y las líneas en la bornera están intactas.

Las tres salidas fueron cortadas a unas 6 pulgadas de donde estaban encintadas las conexiones.

Los datos de placa se lee en parte:

5 HP, 220/440V., 1,750 RPM

No hay diagrama de conexiones. Los terminales de las líneas son cuidadosamente descintados y cada alambre(los de 6 pulgadas de largo) va a tres terminales de oreja.

No hay número de identificación en las líneas del motor.

Esto es, hay 9 líneas en la caja terminal y todos estan conectadas en grupos de 3 cada uno a un alambre sólido (salida).

De la Fig. 3.17 esto indica un conexionado delta para bajo voltaje. Generalmente solo la conexión para baja tensión de uno ó dos deltas tendrá tres líneas unidas juntas. La Fig. 3.17 muestra una conxión estrella de nueve líneas, que no puede tener tres juegos de tres alambres unidos juntos a menos de ser incorrecta.

Por lo tanto se está seguro que fué una conexión de doble delta.

Como es que se quemó el motor completamente?.

No se encontraron huellas de rozamiento del rotor con el estator (malos rodajes). Un record del motor puede ser muy útil, se debe examinar el estator con más detalle.

El paso "G" menciona un chequeo de alambre. Usando un calibre de alambre y sin cortar ningún alambre, indica que fué bobinado con alambre # 15 AWG.

De acuerdo al Cuadro 3.8, para 5 HP, el calibre del alambre debe ser (para una conexión delta) # 17 ó 18 y en motores más modernos quizás el # 19. Esto indica que algo anda mal. Si el dato de placa es original, luego el calibre del alambre es correcto para dos estrellas y no para dos deltas. Ya que algunas vueltas menos son usadas para la conexión estrella (58% de las vueltas en delta) el motor tomará muchos amperios y se quemará rápidamente sin carga. Una consulta con el usuario nos dará la respuesta; el motor fué conectado por un breve tiempo antes de quemarse. Por lo que cuando se rebobine este motor debe ser conectado, con 1 ó 2 circuitos estrellas y las líneas deberán ser marcadas.

Como sea, es esencial el verificar los datos de rebobinados, ó sea vueltas por bobinas, paso de bobina, etc. antes de intentar el rebobinado. Un chequeo con algún motor similar es recomendable.

Ejemplo B)

Al traerse un motor para ser rebobinado, se nota un sobrecalentamiento uniforme, como si fuese sobrecarga. Los datos de Placa indican un cambio en los datos originales. Fué reestampado para 1,200 RPM, pero cual fué la velocidad original?

Los otros datos son 5HP, 220 voltios. Cuando se examinó el estator, el aislamiento de fase (entre grupos) parece indicar que el motor fue originalmente de 4 polos, 1,800 RPM, un che

queo del paso lo prueba:

El motor de 36 ranuras tiene un paso de 1 - 8 y debe ser 1 - 6 ó como máximo 1 - 7 para 6 polos (1,200 RPM).

Cuadro 3.9. Los grupos de bobina fueron cortados internamente para formar una agrupación de 6 polos.

Pero ordinariamente una máquina de 4 polos tiene las 2/3 partes de las vueltas necesarias para uno de 6 polos. Esta fue la causa de que se quemara. Como sea, antes de rebobinar es necesario averiguar que velocidad es la que necesitan, si es para 1,800 ó 1,200 RPM.

Si es para 1,200 se debe informar al usuario que solo dispondrá de 3 HP a esta velocidad y no 5 HP. Si 5 HP se necesitan a 1,200 RPM el "Frame" no lo permitiría.

Si 5 HP a 1,800 RPM se necesitan, se le puede rebobinar luego de determinar los datos.

3.6 Tipos de Conexiones

I - La conexión "Y" ó estrella es la más simple y fácil de hallar en un motor trifásico. Ver Fig. 3.13. Las líneas de entrada van hacia una simple bobina en el estator, no hay derivación alguna.

Claro es que si el motor fue rebobinado con más de un alambre en mano (2 ó mas alambres en paralelo), por ejemplo, 2 # 16 en lugar de 1 # 13, se considerará como un solo alambre. La unión de la estrella debe ser hallada, esta es tres alambres unidos.

Algunas veces un "spagueti" (manguito de fibra) oculta ó cubre dos alambres de los tres, cuando la unión de la estrella entra entre bobinas adyacentes. El punto de unión de la estrella debe ser hallada ya que algunos motores monofásicos con derivaciones

de voltaje tienen bobinados que parecen trifásicos.

En la Fig. 3.19 se muestra un motor trifásico de 4 polos con los 12 grupos colocados, nótese que el punto "I" es el inicio de cada grupo de polo por fase y F es el final, a, b, y c indica las tres fases.

La Fig. 3.20 muestra la conexión estrella con otro método de conexionado, usando polos semejantes en serie.

(Método de grupos por polo alternado).

II.- Las conexiones 2Y y 1 delta son facilmente confundidas, aunque los efectos en el torque, potencia y corriente no son parecidas.

En ambas conexiones ("2Y" y 1 Δ ", dos alambres llegan a cada línea terminal que sale del motor (motor de tres líneas) con cada alambre entrando a diferente bobina ó ranura.

Ver Fig. 3.21a y 3.21b.

En este caso es de suma importancia el saber si existe ó no la unión de la estrella.

Esta será dos uniones de estrella separadas, esto es tres alambres unidos en dos sitios diferentes, sin ningún alambre común entre ellos ó seis alambres unidos juntos. Ver fig. 3.22.

Los seis alambres deben ser unidos a un anillo común que va completamente alrededor del bobinado. Ver Fig. 3.23

Pero si no es posible hallar la unión de la estrella esto indica que el motor fué conectado en un Delta.

Muchas veces, cuando el circuito indica 2Y ó un Delta, el punto de unión de la estrella se encuentra unida a un cuarto alambre. Estos son los puentes compensadores (equalizing jumpers), de necesidad en ciertos motores con propósito de balanceo, reducción de ruidos y des

balance eléctrico ó mecánico.

Los compensadores no son usados en circuitos simples. Los compensadores son a menudo hallados en pequeños motores por debajo de los 5 HP y alta velocidad, rara vez se le encuentra en los motores grandes.

Pero se usan y a veces es la única solución para un rebobinado apropiado a un motor ruidoso o que calienta sin motivo.

Cuando se vaya a rebobinar un motor que haya usado compensadores esté seguro de usarlos también, asegurándose de que las fases correspondientes y equipotenciales son unidas, para evitar un corto circuito. Ver Fig. 3.24. En la Fig. 3.25 es imposible la compensación debido a que las vueltas (que son proporcionales al voltaje) no son iguales en dos ramales que fueron unidos.

Los compensadores son hallados en motores monofásicos y generadores por igual propósito.

En generadores los compensadores son muy usados para asegurar una distribución equilibrada de carga a través de los polos en paralelo de la máquina. Estos generadores son frecuentemente rebobinados como un estator trifásico, pero solamente dos fases de las tres son rebobinadas en el tipo de dos capas. Ver Fig. 3.26. Para ayudar a balancear la corriente en todos los circuitos, los compensadores (líneas punteadas) son colocados.

Nótese también el " 2/3 " unión de estrella, la tercera fase es dejada para uso monofásico.

Al incrementar el número de circuitos, 4, 6, 8, etc. las uniones de estrella son mas evidentes, pero se debe cuidar del anillo de conexión.

Se debe volver a chuequear las líneas de alimentación y atar el número de alambres que llegan a cada terminal para descubrir los circuitos en paralelo. Esto no será siempre posible. Si las tres líneas tienen un número impar de alambre unidos a ellos, 1, 3, 5, etc. esto indica que una conexión estrella es posible. Pero si es número par luego cualquier conexión estrella ó delta puede ser posible.

III.- Motores con Doble Voltaje.

Hay tres tipos básicos de conexiones de este tipo usadas, las de 9 líneas (Υ ó Δ) y de 6 líneas.

Hay también de 12 salidas pero es muy poco usada.

Nueve Líneas:

En los motores antiguos, un exámen de las líneas en la placa terminal ó bornera a menudo indica el tipo de conexión de acuerdo al calibre de las líneas. Si tres de las líneas son más gruesas que las otras seis, el motor fué probablemente conectado en delta. Estas líneas de mayor calibre van a las esquinas de la delta. Ver Fig. 3.27a.

Al inspeccionar las líneas se pueden ver cuantos alambres estan unidos a cada línea. Si cada línea tiene el mismo número de alambre unidos, el motor tiene conexión estrella.

Puede ser: 1Y para el voltaje mayor, ó 2Y para la menor tensión ó 2Y/4Y, pero es conexión estrella. Un chequeo en detalle, de ser posible, es chequear las nueve líneas para ver si tienen continuidad. Si la inspección muestra 3 pares de líneas separadas de las otras tres también chequeadas, entonces es definitivamente una conexión estrella. Fig. 3.27b. La confirmación la da el hallar la unión (es) de la estrella.

Delta con 9 Líneas:

Esta conexión tendrá tres juegos de líneas para ser chequeadas juntas; tres, tres y tres. Ver Fig. 3.27a

Estas podrán ser: 1 Δ mayor voltaje, 2 Δ bajo voltaje ó 2 Δ / 4 Δ ó 3 Δ / 6 Δ , etc. Como se indicó anteriormente uno de los terminales de cada juego de tres que se chequean juntos debe ser más grueso que los otros dos en el mismo grupo. En la Fig. 3.21 estos terminales están numerados T_1 , T_2 , T_3 . En un delta simple el terminal grueso tendrá dos alambres que van a diferentes ranuras y bobinas, teniendo en cuenta que los otros dos alambres delgados del mismo grupo tendrá un alambre en ellos.

6 Líneas:

Los motores trifásicos con seis líneas pueden ser de varios tipos, de acuerdo a la necesidad y tiene diferentes conexiones. Los más comunes tipos son:

- a) Motores con Arranque parcial; pueden ser Y-Y o $\Delta - \Delta$
- b) Motores con arranque estrella-triángulo, muy común en los motores europeos y ahora en América.
- c) Motores de dos velocidades de varios tipos.

Arranque a Bobinado Parcial:

Se requiere tener cierta idea de lo que se espera tener, Ver Fig. 3.28 y 3.29. Los datos de placa deben ser leídos cuidadosamente, muchas placas llevan inscrito "arranque a bobinado parcial", junto con el diagrama de conexión usado en el bobinado.

A propósito, hay algunos motores con arranque parcial que tienen 9 líneas como se muestra en la Fig. 3.30.

Si la conexión del bobinado de arranque parcial es Y-Y el bobinado se-

rá sencillo de chequear; para probar si es Y-Y, se utiliza el método de continuidad, dos grupos de bobinas deben ser hallados, serán chequeados dos grupos de tres terminales (Fig. 3.28) con dos uniones de estrellas, usualmente separadas.

Se debe tener mucho cuidado con este tipo de motores, la posición de las conexiones entre grupos deben anotarse en las ranuras y dibujarse en un papel, pues al rebobinarle se debe dejar en la misma forma. Esto es muy importante pues las conexiones van a determinar si va a funcionar igual que antes.

Mucho de estos motores no arrancan cuando la primera mitad del bobinado es colocada a través de las líneas, y solo empieza a girar cuando el segundo grupo del arranque es energizado.

Algunos motores arrancan a velocidad baja como primer paso.

Si la conexión es delta; hay dos métodos de conexión. El primero es un doble delta, donde el primer delta está aislado del otro como en la conexión Y-Y dicho anteriormente. Ver Fig. 3.29.

Este puede ser chequeado, encontrando los dos grupos de líneas de los tres chequeados juntamente.

El mismo método de la conexión Y-Y. La diferencia es que no hay unión de Y interna, y cada línea de salida tiene al menos dos alambres, dos deltas tienen 4 alambres tres deltas tienen 6 alambres, etc.

En muchos motores esta conexión no será beneficiosa.

Otro método de la conexión delta en este tipo de motores, es el resultado de la conexión para dos voltajes con nueve líneas.

En este tipo de conexión, tres líneas tienen tres veces el número de alambres unidos a ellos así como los otros tres. Ver Fig. 3.31.

Si se hallan estas relaciones, se puede estar seguro de estar frente

a una conexión delta de nueve líneas cambiado para operar como motor de arranque a bobinado parcial.

El segundo tipo de motor de 6 líneas, es un bobinado tal que todas las fases son sacadas mediante líneas, el inicio y final de cada fase. Ver Fig. 3.32

Desafortunadamente, los números en las líneas, si están marcados, no indicarán si es el inicio ó el final de cada fase.

Nota : Antes de tocar nada, ver si las líneas están unidas de alguna forma, si las líneas están emparejadas, dos, dos, dos, el motor probablemente será de un solo voltaje, con conexión delta y nunca usado en estrella.

Numere estas líneas con una clave particular si no están numeradas. Si es que tienen número, se debe ver la placa que números deben ser unidos y para que.

En estos tipos de motores de 6 líneas la conexión delta siempre es la de trabajo a bajo voltaje, y la conexión Y se usa para el arranque.

La conexión estrella será lo suficientemente capaz para operar a una intensidad 1.73 veces mas que la conexión delta.

3.7 Chequeo de Conexiones de 6, 9, y 12 Líneas sin Datos

Un bobinado se le encuentra muy a menudo completamente quemado y aún así permitir una respuesta a la prueba en DC ó al del transformador AC. Ambas pruebas son hechas con bajo voltaje y a menudo da una idea del tipo de conexión en pocos minutos.

Antes de hacer algún chequeo ó prueba, separe cualquier puente quemado ó desnudo. Aplique papel aislante y cinta para evitar que los puentes se toquen uno a otro. No se debe asumir que los datos de

placa son correctos.

El pensar ó creer que los datos de placa son correctos es un error común y predispone a cualquier juicio que uno quiere dar.

Las líneas terminales, ó lo que queda de ellas, puede indicar un 9 líneas standard-doble voltaje, ó también un motor de varias velocidades, un motor de 6 líneas de arranque parcial ó del tipo estrella-triángulo. Si no todos los puentes están quemados, se le puede aplicar bajo voltaje de una fuente monofásica al bobinado. Este bajo voltaje no debe ser mayor del 10% del nominal. Por ejemplo si el motor funcionaba con 440 voltios, en la prueba no debe usarse más de 40 voltios, lo más aconsejable sería 25 voltios, algunas veces cuando está sumamente quemado aun este voltaje es muy elevado.

Uno puede saber si el voltaje aplicado es muy elevado si el motor jala mucha corriente ó se produce chispas entre bobinas. Es posible obtener los resultados requeridos con 5 voltios pero requiere mayor cuidado.

Se escoge cualquiera de dos terminales y se le aplica el bajo voltaje AC. Mediante la medida del voltaje inducido en las otras dos fases ó en las derivaciones del bobinado se puede tener alguna idea.

Se usa un voltímetro de escala reducida. Ver Fig. 3.33 y 3.34.

Otro y algunas veces método más efectivo, es usar una fuente de tensión DC. como se muestra en la Fig. 3.35. El rizado es necesario para la prueba que se desea realizar y puede ser reducido muy cerca a la onda DC, mediante un filtro ó capacitor mostrado en la Fig. 3.35. Por lo tanto esta fuente puede dar tres salidas diferentes todas ellas muy util: AC variable, DC variable con gran rizado y DC pura.

Aplicando el voltaje DC con gran rizado al bobinado y con una hoja de sierra se procede como sigue: Fig. 3.36. Colocada la hoja de sierra sobre cada ranura, marcar el punto donde se produzca la mayor vibración de la hoja. Estas marcas dará el número de polos visualmente, se debe tomar nota del número. Se hace la prueba utilizando marcadores de colores para cada par de líneas en un motor de tres líneas, y comprobando el número de polos en cada fase, de ser posible. Los colores deben seguir una secuencia. Ver Fig. 3.37. Los polos indicarán los RPM del motor. Para un verificado más de tallado, se puede aplicar una fuente DC a cada par de terminales como en el caso anterior y marcar los polos utilizando una brújula, debe dar el mismo número de polos é igual secuencia. Ver Gif. 3.38 Es raro encontrar estatores tan quemados tal que no se le pueda aplicar la prueba DC.

Los datos para la fuente de poder dados en la Fig. 3.37 son suficientes para motores de hasta 50 HP. Si se necesita mayor potencia, serán necesarios un transformador más grande así como diodos de mayor potencia y condensadores de mayor capacidad.

Se debe tener cuidado con los motores de 2 polos con las conexiones entremezcladas; con los de 4 polos ó más con los circuitos en paralelo, tomar nota si tiene compensadores. También si la unión de la estrella existe y si existen más de una unión estrella en el circuito.

3.7.1 Motores de Seis Líneas

Se encuentra en este tipo varias conexiones. Cada una resulta en 6 líneas terminales incluyendo las de varias velocidades. Ver Fig. 3.39

Si el motor tiene 3 juegos de dos líneas conectadas juntas en la bornera, el resultado es indudable, Fig. 3.39a. Se procede a numerar las líneas en pares, # 1, y # 4, # 2 y # 5, # 3 y # 6.

Se une # 4 + # 2 y se aplica 115 voltios monofásicos a las líneas # 1 y # 5.

Se usa un amperímetro de pinzas en la línea y coloca un voltímetro de rango de $\frac{1}{4}$ de la línea de entrada entre # 3 y # 6 (voltímetro de 25 voltios AC).

Se aplica el voltaje al motor en solo 2 de las 3 fases se lee los amperios y voltios rápidamente y corta la tensión. Una el # 5 + # 4 y use el # 1 y # 2 como líneas. Nuevamente se lee el amperímetro y voltímetro rápidamente.

En un caso (conexión incorrecta) el voltímetro no tendrá lectura alguna, y el amperímetro registrará menos corriente que en la otra conexión, donde el voltímetro leerá $\frac{1}{6}$ a $\frac{1}{20}$ del valor de entrada. Esta es una prueba sencilla, si el voltímetro lee cualquier voltaje, uno sabe que la conexión es correcta (para conexión delta y errada para la estrella) Ver Fig. 3.39.

3.7.1.1 Seis Líneas con Arranque a Bobinado Parcial

Se verá primero la conexión Y-Y. En esta conexión hay dos juegos de líneas que se prueban juntas, tres líneas y tres líneas.

Se numera en forma arbitraria 1, 2, 3 y 7, 8, 9 (los # 4, # 5 y # 6 no se usan en motores modernos) Fig. 3.40.

Se aplica tensión trifásica al # 1, # 2, y # 3, se une cualquier línea ya sea # 7, # 8 ó # 9 a alguna de número menor por ejemplo el # 1 al # 7.

De ser posible se debe usar 110 voltios trifásico.

Se une el # 2 al # 8, se lee el amperímetro, se debe hacer una tabla de amperios y puentes.

Si el # 2 con el # 8 provoca amperios excesivos, se debe tratar el número 2 con el número 9, u otras secuencias, como indica la Fig. 3.40. El motor puede tratar de arrancar con alguna de las combinaciones.

Con la conexión DELTA la solución es similar.

Los deltas separados están conectados interiormente.

Una fuente trifásica debe ser usada para las pruebas.

La conexión Delta-Delta no es muy usada en el bobinado a arranque parcial, pues se requiere una conexión interna especial.

3.7.2 Motor de Nueve líneas

Hay varios métodos de prueba con los motores de 9 líneas. Con la conexión Estrella, la Fig. 3.41 muestra un diagrama interno esquemático ya numerado.

El esquema muestra que el # 7, # 8 y # 9 se probarán juntos y habrá 9 pares más de líneas que se probarán juntas (con un ohmímetro ó lámpara serie) el # 1 con # 4, # 2 con # 5 y el # 3 con el # 6.

Se marca los juegos en forma arbitraria, un juego # 1 y # 4, otro # 2 y # 5 y el tercero # 3 y # 6.

Se prueba el motor con 208-240 voltios trifásico con la alimen

tación aplicada al # 7, # 8 y # 9. El motor puede ser ruidoso ó baja velocidad.

En cualquier caso, se lee los amperios en vacío en cada rama y se anota. Algunas veces los valores de corriente son comparables a los valores en la otra mitad del bobinado cuando se ha asumido la numeración correcta. Es mejor realizar la prueba a pleno voltaje. Esto es en un motor de 440 voltios, se usa 220 voltios para probar cada mitas. A menudo a bajo voltaje el motor no alcanzará plena velocidad que es la deseable de prueba. El problema es conseguir los grupos # 4, # 5 y # 6 y conectar propiamente al bobinado # 7, # 8 y # 9. El único método simple y positivo, es tomar una bobina, por ejemplo # 1 al # 4 y conectarlo a cualquiera de las estrellas numeradas internamente ya sea # 7 ó al # 8 ó al # 9.

Luego se arranca el motor (preferible a pleno voltaje) se lee la tensión en las dos ramas desconectadas con los finales de las ramas # 1 y # 4 como muestra la Fig. 3.41c. Tan pronto como la tensión entre el # 8 y # 4 y entre el # 7 y # 4 son cercanamente iguales y alrededor de 1.5 veces la tensión de entrada, se debe tratar de unir # 1 al # 7 (y leer entre # 8 y # 4 y entre # 9 y # 4 ó al revés # 1 y # 4 y unir # 4 al # 7 ó # 8 al # 9) eventualmente se leerá dos tensiones cercanamente iguales de los terminales de las líneas desconectadas y los terminales del # 1 y # 4 y alrededor de 1.5 veces la tensión de entrada. Estos valores pueden variar en unos 10 voltios. La Fig. 3.42 muestra unas pruebas actuales de un motor con conexión 2Y.

En el Cuadro adjunto se muestra el voltaje aproximado que puede esperarse de la aplicación de una entrada trifásica, cuando la conexión es correcta, para un motor de 9 líneas con conexión estrella. Una vez hallado el voltaje correcto en un ramal, se deja conectado y numerado correctamente. Luego se procede con el otro par de ramales, hasta obtener el doble voltaje. En cada caso se deja la línea conectada y numerada correctamente de acuerdo a la Fig. 3.41a.

Entrada Trifásica Voltios	Voltaje Correcto para los Terminales desconectados (E_1 y E_2 Fig.3.42a).
115	176
150	230
175	268
200	306
250	383

Todos estos valores con una aproximación de $\pm 5\%$

Valores correctos para la Fig. 3.42

3.7.2.1 Motor de 9 Líneas Conexión Delta

Este motor tiene 3 juegos de líneas como se muestra en la Fig. 3.43.

Se puede descubrir con el ohmímetro ó con un probador de bajo voltaje de 60 ciclos que línea es "esquina" ó línea de entrada.

Por el ohmímetro, la línea de entrada es aquella que tiene igual ohmio que las otras dos líneas. Las Líneas terminales tienen el doble de este valor. Cuando mayor es el motor la prueba del ohmímetro se hace

más difícil, pues los valores de ohmiaje son más bajos.

Usando bajo voltaje AC como en la Fig. 3.44a se puede hallar fácilmente la línea de entrada. Usando una lámpara de prueba el brillo nos indicará los dos terminales y la esquina.

Un amperímetro en la línea también mostrará diferencia. Los dos terminales como en la Fig. 3.44b requerirá menos amperios que de la esquina.

Se numera los terminales y líneas como indica la Fig. 3.43 el # 1, # 2 y # 3 (líneas) serán los correctos, todos los otros serán probablemente parcialmente correctos. No hay un método 100% exacto de encontrar la correcta conexión.

La práctica, luego de ver varios motores específicos dará una idea de lo que se espera tener. La conexión Delta tiene una ventaja, una fuente trifásica puede ser aplicada y utilizar un amperímetro por línea, uno puede decir si la conexión es correcta. Fig. 3.45.

Los valores dados, aún para pequeños motores, dá una idea de los porcentajes que se pueden esperar. Por ejemplo, la corriente a plena carga de un motor es 1.2 amperior a 440 voltios. Se puede ver que se tiene corriente de una 10 veces más que la de la plena carga, cuando una de las fases fue mal conectada.

Los valores de voltaje son de poco uso para la conexión delta. Voltajes balanceados se pueden obtener y aun de

los valores correctos con todas las fases incorrectas.

El nivel de ruido nos indica a menudo que hay un error de conexión.

Usualmente una completa inversión de todas las partes como en la Fig. 3.45d puede impedir al motor alcanzar su velocidad usual; pero el ruido indicará inmediatamente una conexión incorrecta. Luego de obtener tres corrientes balanceadas y de valor razonable en un Delta, se numera en forma correcta las líneas y luego se conecta el motor para dos circuitos Deltas, usando los números ya aplicados.

Esta prueba final (las tres líneas con igual amperaje y menos que la plena carga) dará alrededor de $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{3}$ de la corriente de placa.

3.8 Derivaciones en el Bobinado de un Motor

El estator de un motor trifásico de inducción actúa como el primario de un transformador, el rotor sería el secundario.

Las vueltas del estator tienen una cantidad definida de voltios por vuelta, de la cual si es necesario se pueden realizar algunas derivaciones. Muchos motores requieren una pequeña fuente auxiliar de voltaje para lámpara, luz piloto, bobinas de freno, bobina de embrague, etc.

La potencia necesaria es generalmente pequeña, pero el voltaje debe ser de un valor requerido. Es a menudo dificultoso de determinar mediante el conteo de vueltas, donde se debe realizar la derivación.

Este problemático valor, es causado por el tipo de conexión y el número de circuitos. Para poder usar el método de vueltas por voltio, se debe tener un solo circuito.

Esto es, un solo circuito debe ser una fase ó un ramal de un circuito paralelo.

Se tiene un motor de 460 voltios conexión delta. Cada fase es a través de la línea. Esto es cada fase recibe 460 voltios. Si se asume una máquina de 36 ranuras, 4 polos, trifásico, los grupos de fase por polo consisten de 3 bobinas cada uno, 12 bobinas por cada fase. Si más adelante se asume 15 vueltas por bobina, se puede ahora determinar los voltios por vuelta. $15 \text{ (vueltas)} \times 12 \text{ (bobinas)} = 180$ vueltas por fase (460V.), $460 \div 180 = 2.55$ voltios por vuelta Ver Fig. 4.60.

Esta es la clave: voltaje por vueltas.

Muchos Ingenieros de diseño usan este valor, ya que no varía, sin tener en cuenta que conexión se haga para esta misma velocidad y frecuencia. Entonces, si se forma circuitos en paralelo para operar en 230 voltios, el valor de voltios/ vueltas no varía. Aun más no cambiará, así el motor sea rebobinado a una conexión Y, mas, un cambio de fase si afecta este valor. Ahora bien si se supone que se necesita una fuente de 24 voltios de corriente alterna. Se puede tener esta fuente mediante una derivación en el bobinado.

10 vueltas dará $10 \times 2.55 = 25.5$ voltios; cerca del valor requerido. Las derivaciones se realizan: bobinando las primeras 10 vueltas y soldando una derivación y continuar rebobinando. (para soldar una derivación, sacar una línea flexible fuera del final del bobinado). Algunos rebobinadores colocan un manguito (spagueti) al alambre antes de rebobinar y usan este para cubrir la derivación. Ver Fig. 3.47. Se debe tener mucho cuidado con este método, ya que la derivación es parte de la vuelta y debe mantenerse unida ó la bobina es

tará abierta. El inicio de esta bobina y la derivación deben estar identificadas.

No se puede tomar mucho amperaje de la derivación a menos que se incremente el calibre del alambre. El motor necesita la corriente de carga. Generalmente no más del 5 % de la corriente nominal por bobina se puede tomar.

Si el motor es de un solo circuito, con 10 amperios de corriente a plena carga, $\frac{1}{2}$ amperio puede tomarse de una derivación. Si son dos circuitos, solamente $\frac{1}{4}$ de amperios puede ser derivado Ver Fig. 3.48.

Muchos motores de 9 líneas, conexión estrella tienen derivaciones para mitad de voltaje (120 ó 125V.). Esto es fácil de derivar ya que no se necesita una bobina ó derivación interna. Ver Fig. 3.49.

En un motor conectado en Delta, para obtener 115 voltios, el centro de una mitad de fase debe ser derivada. Ver Fig. 3.50.

Se debe tener cuidado si se encuentra con una cuarta línea extra.

No es usual ver una décima línea en un motor de 9 líneas (u once) ó una séptima u octava en un motor de 6 líneas, ya sea delta, estrella ó de arranque a bobina parcial. En cada caso se determina el voltaje requerido y se prueba, si se dispone del motor completo.

Si sólo se dispone del estator, un voltaje muy bajo se le debe aplicar, monofásico ó trifásico, y el voltaje en la derivación se obtiene con la relación de voltajes. Esto, si se asume que se tiene el estator de un motor de 440 voltios y debe ser rebobinado y probado para un voltaje en derivación.

Cuando se aplica 20 voltios al estator, el bobinado parece tomar un amperaje tal que se puede tomar lectura en la derivación. Se halló que fueron 4 voltios:

$$\frac{440}{20} = \frac{X}{5} \quad \text{ó} \quad X = \frac{5(440)}{20}$$

X = 110 voltios en la derivación con 440 de entrada.

Este cálculo se puede hacer mentalmente.

Los 20 voltios aplicados son a veces el voltaje medido en la derivación, en otras palabras el voltaje en el tap es la quinta parte de la tensión de líneas. Luego si 440 es la entrada, la tensión en la derivación será 110 voltios.

En algunos casos especiales, la derivación en el bobinado es una bobina extra ó juegos de bobinas aisladas del bobinado principal. Esto se hace por razones de seguridad. El resultado es una tensión segura no conectada al voltaje principal ó es puesto a tierra.

Ejemplo Nº1: Una alimentación independiente de 62 voltios, $\frac{1}{2}$ amperio A.C. es necesaria en una máquina de 6 polos, 54 ranuras, 15 HP, 480/240 voltios 1 + 2 circuito, 7 vueltas por bobina, Ver Fig. 3.51. El bobinado puede ser colocado en cualquier ranura ó cualquier fase, pero no debe sobreponer dos fases. Esto para tener un bobinado efectivo, deben estar en las mismas ranuras, como si esa fase fuera la derivada.

54 ranuras divididas entre 3 fases = 18 ranuras/ fases.

18 veces 7 vueltas = 126 vueltas por fase.

Desde que esta es una conexión estrella y la mitad de la fase es 240 voltios, 58% de 240 = 0.58 X 240 = 139 voltios, es el voltaje en cada fase ó rama. Ver Fig. 3.51B.

Las vueltas por media fase es 9 ranuras X 7 vueltas =

63; 139 voltios entre 63 = 2.2 voltios por vuelta.

62 voltios divididos entre 2.2 = 28.6 vueltas (29)

Por cada $\frac{1}{2}$ amperio, se debe usar 250 C.M. (# 26 AWG).

¿Como se debe rebobinar esta bobina?

Se rebobina en la misma forma de las bobinas principales. Tantas vueltas como espacio disponible se tenga en la ranura. En este caso 15 vueltas fueron puestas en cada una de dos ranuras adyacentes, aisladas del bobinado principal. Se debe tener el cuidado de empezar por el principio de un grupo de polo por fase (no se debe continuar en el siguiente grupo por polo por fase de la misma fase).

Usando el método de voltios/vuelta y el de derivaciones, se puede a menudo obtener el voltaje necesario de un bobinado existente, sin que ningun cambio se haga en el bobinado. Si se examina un motor de 9 líneas conectado en estrella ó en Delta, es posible obtener voltajes monofásicos y trifásicos de varios valores, especialmente si el bobinado es conectado en el circuito (440-480 voltios) Ver Fig. 3.52.

Por ejemplo: los tops de 133 voltios disponibles en ambas conexiones pueden operar equipos de 115 voltios y puede ser usado para alimentar un rectificador monofásico y obtener 110 voltios D.C. de salida.

De los puntos 5,6 y 7 se puede obtener 113 voltios trifásicos, en una simple estrella. Para un rectificador (entrada trifásica) esto puede dar 175 vol

tios D.C.

Para la conexión delta de un motor de 9 líneas Ver la Fig. 3.53

En motores de 3HP es posible obtener una derivación luego que el motor ha sido rebobinado.

Este se puede realizar, conociendo la relación entre el voltaje deseado y el voltaje total, usando un voltímetro de punta. Ver Fig. 3.54 para su uso apropiado.

Se empieza usando un voltímetro de un rango de acuerdo al voltaje de entrada del estator.

Ejemplo Nº2: Si se puede aplicar 30 voltios sin provocar un sobrecalentamiento, se debe usar un voltímetro para un valor máximo de 30 a 50 voltios, como se muestra en la Fig. 3.54. Trate dejando la punta de prueba en su sitio y cambiando de fase, entre la fase "A" y el probador, la "B" y el probador y la "C" y el probador.

Se podrá hallar el voltaje de valores cercanos al que se necesita. Por ejemplo: Si se supone que la entrada es 208 voltios y se necesita una derivación de 48 voltios, $208 \div 24 = 8.6$

Este número es la relación de voltaje que se necesita. Si se usa 30 voltios trifásico para la entrada; $30 \div 8.6 = 3.5$

Entonces se necesitará 3.5 voltios, se puede encontrar una bobina cercana a este valor. Luego cuidadosamente se jala los alambres en esta bobina sin cortarlos con el probador y se encontrará el alambre

deseado. Luego se marca la línea de entrada. Fig.3.55a

El siguiente paso es un poco más dificultoso.

Se debe soldar un alambre al alambre encontrado.

Algunas veces resulta más fácil cortar este alambre

y luego puntearlo como en la Fig. 3.55b.

3.9 Cálculos Durante la Reparación de los Devanados

La realización de un cálculo, completo y suficientemente preciso, de la máquina eléctrica, constituye un problema bastante complicado y requiere un volumen bien grande de conocimientos especiales y de experiencia. Dichos cálculos se llevan a cabo normalmente, por el ingeniero electricista que se especializa en la esfera dada. Existen muchos, libros técnicos, incluyendo guías y manuales donde se trata el problema del cálculo de las máquinas eléctricas.

No obstante hay casos cuando el electricista, especialista en devanados, se ve obligado a solucionar independientemente algunos problemas relacionados con la reparación del devanado los que requieren ciertos cálculos preliminares. Con más frecuencia esta necesidad surge al reparar las máquinas eléctricas del tipo más divulgado, es decir, los motores trifásicos de inducción con rotor jaula de ardilla, cuyos estatores tienen devanados rellenos y son calculados para la alimentación del circuito de 60 Hz de frecuencia.

El presente trabajo está dedicado a la realización de algunos cálculos aproximados más sencillos vinculados con este tipo de máquinas eléctricas. Se examinará métodos aproximados del cálculo para determinar las características del devanado del estator y algunos parámetros de los motores de inducción en aquellos cuando los mismos no aparecen en los datos de placa de la máquina, cuando requiere la reconstrucción del

motor para otra tensión, otra velocidad de rotación y otra frecuencia de la red de alimentación, así como en el caso de sustitución del alambre del bobinado de cobre por el de aluminio.

3.9.1 Cálculo Aproximado del Devanado del Estator.

Normalmente, primero hace falta solucionar el problema acerca del número de los polos del motor. Es posible determinarlo con cierta aproximación partiendo de la proporción de las dimensiones geométricas de la máquina.

El número mínimo posible de los polos se determina por la fórmula:

$$2p = 0.5 (D_i / h_c) \dots\dots\dots(1)$$

siendo:

$$h_c = \frac{D_e - D_i}{2} - h_r \dots\dots\dots(2)$$

- donde: D_e : es el diámetro exterior del núcleo del estator
- D_i : es el diámetro interior del núcleo del estator
- h_c : es la altura del dorso del núcleo del estator
- h_r : es la altura de la ranura.
- p : es el número de pares de polos

el resultado obtenido de la fórmula (1) es reducido al próximo número par máximo.

El número de los polos de la máquina puede definirse basándose en la proporción entre los diámetros exterior D_e e interior D_i del núcleo del estator al utilizar los datos de la siguiente tabla:

Dependencia entre el número de los polos y la proporción D_e / D_i

Número de Polos $2p$	2	4	6	8	10
	1.7	1.55	1.4	1.35	1.3
Proporcioón $D_e /$ D_i	a	a	a	a	a
	1.9	1.65	1.5	1.4	1.35

No obstante, es de subrayar que en algunas máquinas de serie, siendo iguales los diámetros del núcleo el número de los polos puede ser diferente, por ejemplo 4 y 6, 6 y 8, 8 y 10.

En los casos de duda el número de polos de la máquina puede comprobarse por la proporción del número de ranuras del rotor y del estator de los motores conocidos porque el número de ranuras del rotor, durante el diseñado del motor, se elige en función del número de renuras y el número de polos del estator. Ello se explica por el hecho de que siendo desfavorable la proporción entre el número de ranuras y el número de polos del estator y del rotor se pone más difícil el arranque del motor, ya sea que no empieza a girar ó se traba a baja velocidad el rotor. Se puede comprobar el número de polos del motor a reparar utilizando los datos acerca de la rotación del mecanismo que gira bajo la acción de este motor, en este caso, puede utilizarse la fórmula:

$$N_{ac} \approx 0.95 N \approx 0.95 \times \frac{60 f}{p} \dots\dots\dots (3)$$

donde:

N_{ac} : es la frecuencia de rotación del arbol del mecanismo conectado al motor, en r.p.m.

- N : es la frecuencia sincrónica de rotación del motor en r.p.m.
- f : es la frecuencia de la red alimentadora en Hz.
- p : el número de los pares de polos del motor.

El número de espiras conectadas en serie en todas las secciones de la fase del motor (cuando se trata del devanado con el paso diametral y la tensión fásica 220V), puede encontrarse por la fórmula:

$$Wf'' = \frac{10^4}{\emptyset} \dots\dots\dots (4)$$

siendo:

$$\emptyset = \frac{D_i \cdot l \cdot B_d}{p} \dots\dots\dots (5)$$

donde:

- Wf'' : número de espiras conectadas en serie
- \emptyset : es el flujo magnético en Weber
- l : es la longitud axial del núcleo del estator en cm.
- B_d : es la inducción magnética en el espacio de aire, en Tesla (1T = 10⁴ Gauss)

Al seleccionar los valores de "B" para los cálculos según la fórmula (5) se puede aprovechar los datos de la tabla siguiente:

Paso Polar	Bd (T) Para la Máquina									
	de trabajo protegido, siendo el número de polos.				de trabajo cerrado ventilado, siendo el número de polos.				pequeñas siendo el número de polos	
	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4
4	-	-	-	-	-	-	-	-	0.50	0.60
6	-	-	0.70	0.72	-	-	0.65	0.67	0.51	0.65
8	-	0.69	0.72	0.73	-	0.64	0.66	0.68	0.52	-
10	0.63	0.7	0.73	0.76	0.59	0.65	0.67	0.685	0.53	-
20	0.67	0.74	0.76	0.79	0.62	0.66	0.65	0.70	-	-
30	0.72	0.77	0.79	0.82	0.64	0.68	0.70	0.72	-	-
40	0.75	0.79	0.81	-	0.65	0.69	0.71	-	-	-

El número de las espiras conectadas en serie Wf'' , hallado según la fórmula (4) en aquellos casos cuando la tensión fásica V_f es diferente a 220 V. vuelve a calcularse por la fórmula:

$$Wf' = Wf'' \frac{V_f}{220} \dots\dots\dots (6)$$

donde:

Wf' : es el número de espiras conectadas en serie en la fase del devanado para una tensión V_f , siendo el devanado diametral

Si es utilizando el devanado con el paso corto, el número de espiras será mayor. En este caso se puede aprovechar la siguiente proporción:

$$Wf = \frac{Wf''}{k_{dev}} = \frac{Wf''}{0.92}$$

En el devanado de una capa el número total de las secciones en la fase es igual a $z_1 / 6$ (z_1 es el número de ranuras del núcleo) mientras que en el devanado de dos capas, $z_1 / 3$. Por lo tanto, el número de espiras en una sección del devanado que no tiene derivaciones paralelas será:

Para el devanado de una capa

$$W_s = \frac{6W_f}{z_1} \dots\dots\dots (8)$$

Para el devanado de dos capas

$$W_s = \frac{3W_f}{z_1}$$

Si el devanado tiene "a" derivaciones paralelas el número de espiras en la sección debe ser "a" veces mas.

Haciendo los cálculos según las fórmulas (4), (6), (7) y (8) el número correspondiente a la cantidad de espiras puede ser fraccionario. En realidad, no puede existir el número fraccionario de espiras. Por lo tanto, el valor W_s obtenido por el cálculo debe ser redondeado al entero próximo.

Para la comprobación repetida del número de espiras obtenido, puede utilizarse la fórmula:

$$B_d = \frac{10^4}{2F_d W_f''} \dots\dots\dots(9)$$

siendo:

$$F_d = h_d \cdot K_{fe} \cdot l \dots\dots\dots(10)$$

donde:

- B_d : es la inducción magnética engendrada en el dorso del núcleo del estator, en Tesla.
- F_d : es el área de la sección transversal del dorso del estator, en cm^2
- l : es la longitud axial del núcleo del estator, en cm.
- K_{fe} : Es el coeficiente de relleno del hierro que se toma igual a 0.95, siendo el espesor de las láminas del paquete del estator de 0.5 mm. y con recubrimiento de barniz.

El valor de B_d que se obtiene de la fórmula (9) debe estar dentro de los límites de 1.2 a 1.7 para las máquinas bipolares y de 1.0 a 1.5 para las máquinas en las cuales el número de polos sobrepasa 2. Se determina el diámetro del alambre, primero, se halla el número de espiras reales en la ranura del núcleo N_r , es decir, partiendo de la suposición que las secciones son bobinadas de una capa. Para los devanados de una capa el número de espiras reales en la ranura es igual al número de espiras reales en la ranura es igual al número de espiras en la sección y para los de dos capas, 2.

A continuación se determina la sección sumaria de todos los conductores en la ranura partiendo del coeficiente de relleno de la ranura.

Valores del Coeficiente de Relleno de la Ranura Kr

Forma de la Ranura	Tipo del Devanado	Kr
Trapezoidal o rectangular.	De una capa	0.36 a 0.43
	De dos capas	0.30 a 0.40
Ovalada con Configuración a lo largo del arco de la circunferencia en el fondo y en el pico.	De una capa	0.40 a 0.48
	de dos capas	0.36 a 0.43

Por la fórmula se halla la sección de un conductor efectivo (real) S , mm^2 :

$$S = \frac{S_r K_r}{N_r} \dots\dots\dots(11)$$

Donde S_r es el área total de la sección transversal de la ranura.

Conociendo la sección "S" se puede determinar el diámetro de la espira d .

En aquellos casos cuando el diámetro de la espira de la bobina supera 1.81 mm., el devanado es bobinado con varios alambres en paralelo.

Ahora, después de obtener los datos de devanado de la máquina, se puede calcular con aproximación su potencia.

$$P \approx \frac{3 V_f \cdot I_f \cdot \cos\phi \cdot N}{1000} \dots\dots\dots(12)$$

siendo:

$$I_f = J (Sa) \dots\dots\dots(13)$$

donde:

I_f = es la corriente de fase

J es la densidad de corriente en amp./mm²

V_f = es la tensión de fase

$\cos \phi$ = es el factor de potencia

N = es el rendimiento del motor

a = es el número de circuitos en paralelo

Nota: Los valores de "J" en los alambres de cobre en máquinas con ventilación radial, normalmente se encuentra dentro de los límites de 3.5 a 4.5 amp./mm² y en las máquinas semiprotegidas entre 4.5 a 6.5 amp./mm².

Los valores de $\cos \phi$ y N se pueden tomar de la siguiente tabla

Rendimiento y Cos ϕ para los Motores de Inducción trifásicos de trabajo Protegido

Potencia en KW	Rendimiento Siendo en Nº de Polos				Cos ϕ Siendo el Nº de Polos			
	2	4	6	8	2	4	6	8
0.6	--	0.74	--	--	--	0.76	--	--
1.0	0.79	0.785	0.77	--	0.86	0.79	0.72	--
1.7	0.81	0.81	0.79	--	0.87	0.82	0.75	--
2.8	0.84	0.80	0.82	--	0.88	0.84	0.78	--
4.5	0.85	0.85	0.84	0.83	0.88	0.85	0.80	0.76
7.0	0.87	0.87	0.86	0.85	0.89	0.86	0.81	0.78
10	0.875	0.875	0.865	0.85	0.89	0.88	0.82	0.80
14	0.875	0.88	0.87	0.87	0.89	0.88	0.83	0.81
20	0.885	0.89	0.88	0.88	0.90	0.88	0.84	0.82
28	0.89	0.90	0.89	0.89	0.90	0.88	0.85	0.83
40	0.90	0.90	0.90	0.90	0.91	0.88	0.86	0.84
55	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.89	0.87	0.84
75	0.91	0.915	0.92	--	0.91	0.89	0.87	--
100	0.915	0.92	--	--	0.92	0.89	--	--

3.9.2 Cálculo de las Características de Devanado al Modificar el Motor de Inducción a otra Tensión

La reconstrucción del motor para otra tensión mediante el cambio de conexiones en el esquema del devanado, es decir sin el rebobinado del estator, con frecuencia, requiere a la vez la modificación del esquema de conexiones de las fases, la conmutación de las derivaciones paralelas y el cambio en la conexión de los grupos de bobinas en las derivaciones paralelas.

Al realizar modificaciones de esta índole hace falta lograr que el cociente de la división de la tensión por fase en el número de espiras conectadas en serie en la fase (el número de voltios correspondiente a una espira) antes de la reconstrucción y después de la misma quede inmutable, ó sea,

$$\frac{V_{fn}}{W_{fn}} = \frac{V_{fv}}{W_{fv}} \dots\dots\dots (14)$$

donde:

- n : nuevo
- v : viejo

Al conocer las características viejas del devanado de la máquina, correspondientes a la tensión anterior no es difícil determinar también las características del devanado correspondientes a la nueva tensión. Al hacer los rebobinados de éste género, muy a menudo dejan intocables el tipo del devanado y su esquema cambiando solamente el número de espiras en la sección y la sección sumaria del alambre de bobinado.

El nuevo número de espiras en cada sección W_{vn} del devanado puede determinarse según la fórmula:

$$W_{vn} = W_{vv} \frac{V_{fn}}{V_{fv}} \dots\dots\dots(15)$$

La sección sumaria del alambre se determina por la fórmula:

$$S_n = S_v \frac{V_{fn}}{V_{fv}} \dots\dots\dots(16)$$

Luego según la tabla de las dimensiones tipo de los alambres de bobinado se precisa la magnitud S_n y se halla el diámetro respectivo.

Durante el rebobinado correcto del motor para la otra tensión, su potencia practicamente no varía.

3.9.3 Cálculo de las Características de Devanado al Modificar el motor de Inducción para otras Revoluciones

La modificación de un motor de inducción trifásica para otras revoluciones (otra frecuencia de rotación) está vinculada con el cambio del número de polos y de la potencia de la máquina. Al mismo tiempo, varía también el paso del devanado, el número de espiras en la sección, el área de la sección transversal de los conductores del devanado.

El número de polos requerido de la máquina se determina de la proporción:

$$p = \frac{60 f}{n} \dots\dots\dots(17)$$

donde:

p : pares de polos

f : frecuencia en Hz

n : frecuencia sincrónica de rotación en RPM

Al aclarar la posibilidad de modificar un motor para nuevas revoluciones, hace falta comprobar si es favorable ó no la producción entre el número de ranuras de rotor y estator para el nuevo número de polos de la máquina, porque ello puede provocar el "trabado" ó el "enganche" del rotor durante el arranque de la máquina, es posible aclarar dicha circunstancia comparando los números de ranuras de la máquina a modificar con los datos respectivos para las máquinas ya modificadas, o también guiándose por las tablas proporcionales de los números ranuras recomendadas en los manuales.

En la primera aproximación se puede considerar que la potencia "P" del motor modificado para nuevas revoluciones variará proporcionalmente a las revoluciones n, ó sea:

$$P_n \approx P_v \frac{n_n}{n_v} \dots\dots\dots(18)$$

Debido a que siendo constante la tensión en el devanado la corriente que circula en el mismo es aproximadamente proporcional a la potencia del motor, la sección "S" de los conductores efectivos del devanado también varía aproximadamente proporcional a las revoluciones n:

$$S_n \approx S_v \frac{n_n}{n_v} \dots\dots\dots(19)$$

Podemos considerar con aproximaciones que si el tipo del devanado (de una capa, de dos capas) no cambia durante la modificación, entonces el número de espiras en la sección debe variarse inversamente proporcional a las revoluciones, es decir:

$$W_{vn} = W_{vv} \frac{N_v}{N_n} \dots\dots\dots (20)$$

No obstante, es de destacar que las fórmulas (18), (19) y (20) brindan los resultados aún muy aproximados los que deben precisarse en cada caso concreto guiándose por varias consideraciones.

Así, el número de espiras determinado por la fórmula 20, en la sección del devanado debe de precisarse a causa de que el nuevo devanado tendrá el paso y el número de ranuras correspondiente al polo y a la fase diferentes, por lo tanto, variará su factor de paso. La corrección del número de espiras debe llevarse a cabo inversamente proporcional a las modificaciones del factor de paso. Durante la modificación del motor para revoluciones más altas la inducción magnética en el dorso del estator crece y puede expresarse en magnitudes excesivamente grandes lo que provocará un incremento brusco de la corriente en vacío del motor convirtiéndolo inapto para el trabajo. A fin de comprobar la admisibilidad de la magnitud de la inducción magnética B_v en el dorso del estator se puede aprovechar las fórmulas (5), (9), (10) y la tabla de la página así como las magnitudes de B_v expuestas anteriormente. Para

evitar el incremento excesivo de la magnitud B_v surge la necesidad de aumentar el número de espiras en la sección del devanado, comparando con el devanado calculado por la fórmula (20). Así modificando un motor cuadripolar para un bipolar hace falta aumentar el número de espiras calculado por la fórmula (20) un 25 a 30%. Al considerar la capacidad limitada de la ranura, se debe al mismo tiempo, disminuir, la sección de los alambres en comparación con la calculada por la fórmula (19). Todo lo expuesto conlleva el que la potencia del motor modificado aumentará no dos veces según lo indicado en la fórmula (18) sino algo menos.

La modificación para la velocidad de rotación menor de un motor, cuyo enfriamiento se basa en la autoventilación, empeora las condiciones del enfriamiento por lo cual la potencia del motor disminuye mucho más de lo que resulta de la fórmula (19).

Al modificar los motores para revoluciones más altas, se debe comprobar la velocidad circunferencial del rotor y convencerse de que ésta no sobrepasa valores admisibles (40 a 60 m/s en función de la estructura del rotor). La velocidad circunferencial del rotor V_r , m/s, puede definirse por la fórmula:

$$V_r = \frac{\pi D_r N}{60 \times 1000} = \frac{3.14 D_r N}{60,000} \dots\dots\dots(21)$$

Aquí D_r es el diámetro del rotor, mm.

Es necesario, al mismo tiempo, comprobar si la nueva velocidad es admisible para los rodamientos.

Además, el rebobinado del motor para revoluciones más altas es

tá vinculado con el aumento del paso del devando y del saliente de sus partes frontales.

3.9.4 Cálculo Durante la Sustitución de los Alambres de Bobinado de Cobre por los de Aluminio

La ejecución de los devanados del estator del motor utilizando alambres de aluminio sustituyendo los de cobre, por regla general, constituye una solución obligada que se debe en algunos casos a la falta de cobre. El aluminio como un material de bobinado cede al cobre en varias características, la conductividad específica, capacidad térmica y temperatura de fusión son inferiores, es más frágil y menos resistente a la rotura.

En realidad, el peso específico del aluminio es menor por lo cual la masa de la máquina con alambres de aluminio es menos que de la con alambres de cobre. Además, el aluminio es más suave y por eso la colocación del alambre de aluminio resulta menos laborioso.

Si sustituimos en el motor el devanado de estator de cobre por el de aluminio permaneciendo intocable el esquema y el diámetro de los alambres de bobinado, la tensión de arranque del motor también permanece invariable. Se mantiene prácticamente invariables las inducciones magnéticas en los núcleos del conducto magnético (circuito de hierro) y las pérdidas en el acero del motor.

No obstante, la resistencia óhmica del devanado del estator resulta mucho más grande porque la resistencia específica del aluminio es de $0.028 \text{ por mm}^2 \text{ por m}$ ó sea 1.63 veces mayor

que la del cobre que es 0.0178 por mm² por m.

Como es sabido, la potencia nominal del motor se determina, en lo fundamental, por su calentamiento el que se encuentra en dependencia directa de las pérdidas que surgen en la máquina durante su funcionamiento. Para que el calentamiento de la máquina se mantenga en el mismo nivel una vez sustituido el devanado de cobre por el de aluminio, las pérdidas de calor originadas por la corriente que circula en el devanado deben ser iguales en ambos casos:

$$3 I_{fa}^2 r_{fa} = 3 I_{fc}^2 r_{fc} \dots\dots\dots(22)$$

siendo:

$$\frac{r_{fa}}{r_{fc}} = \frac{I_{fc}^2}{I_{fa}^2} = 1.63 \dots\dots\dots(23)$$

donde:

- I_f : es la corriente de fase
- r_f : es la resistencia ohmica de fase

Nota: el índice "a" indica del aluminio y el de "c" del cobre.
De la fórmula 23 se desprende:

$$I_{fa} = \sqrt{\frac{I_{fc}^2}{1.63}} = \frac{I_{fc}}{\sqrt{1.63}} = 0.78 I_{fc} \dots\dots(24)$$

De tal modo, en el caso considerado, cuando el devanado de cobre del estator es sustituido por el devanado idéntico de alam

bre de aluminio, la corriente nominal debe disminuirse en el 22% y, por consiguiente, la potencia del motor también disminuirá el 22 %.

En algunos casos por ejemplo, al rebobinar los motores viejos y al sustituir en los mismos el alambre de bobinado de cobre por el de aluminio con aislamiento de esmalte, se logra conservar la potencia de los motores. Ello se obtiene a cuenta del aumento del diámetro de la parte conductora de alambre de aluminio porque el aislamiento de esmalte es mucho más fino y el espesor del aislamiento de ranuras durante el rebobinado también puede disminuirse al utilizar materiales aislantes modernos.

Ahora se examina la siguiente cuestión: Cuanto hace falta aumentar el diámetro del alambre de aluminio en comparación con el de cobre para que la potencia del motor no varíe. Se supone, al mismo tiempo, que tampoco varíe la transferencia de calor del devanado al medio ambiente.

Para conservar la potencia antigua del motor, tampoco debe sufrir cambios su corriente nominal como las pérdidas de calor en el devanado. A fin de que se observen estas condiciones, es necesario, según la ecuación (22) que sean iguales las resistencias de los devanados de cobre y de aluminio, en otras palabras:

$$r_{f_a} = r_{f_c} \dots\dots\dots (25)$$

Pero la resistencia específica del aluminio es 1.63 veces mayor que la del cobre, por lo cual la condición (25) se observará só

si la sección del alambre de aluminio es 1.63 veces mayor que la del alambre de cobre. Debido a que la sección del alambre redondo es proporcional al cuadrado de su diámetro, entonces el diámetro del alambre de aluminio, en este caso, es decir, para conservar la potencia antigua del motor debe ser aumentada en $\sqrt{1.63}$ ó 1.28 veces ó el 28% en comparación con el alambre de cobre.

3.9.5 Tabla de Rediseño

La tabla de rediseño es un resumen de los efectos de algunos cambios.

Leyendo cuidadosamente esta carta, para los cambios que se tratan de hacer se verá si es posible dicho cambio.

EFECTO EN CAMBIO	TORQUE	CORRIENTE DE ROTOR BLOQUEADO (L R A)	HP	CORRIENTE SIN CARGA (N L A)	LIMITACION DEL DISEÑO
VOLTAJE	El torque varía con el cuadrado del voltaje aplicado	El LRA es proporcional al voltaje	Los HP se incrementan con el incremento del voltaje.	Los NLA varían con el cuadrado del voltaje hasta alcanzar la saturación.	Debido a la saturación del hierro. Los valores de tensión son elevados. Los datos de cambio no son válidos en saturación
VUELTAS	Varía inversamente con el cuadrado del número de vueltas.	Los LRA varía inversamente con el cuadrado del número de vueltas.	Los HP varían con el cuadrado del número de vueltas.	Los NLA varían inversamente con el cuadrado del número de vueltas	Unas pocas vueltas pueden causar saturación, con un excesivo aumento de las corrientes sin y a plena carga.
CALIBRE DE ALAMBRE	No es afectado en forma directa por el calibre del alambre.	No son afectados directamente por el calibre del alambre.	No son afectados directamente por el calibre del alambre	No son afectados por el calibre del alambre	El tamaño de la ranura y el calibre del alambre pueden desperdiciar espacio al no ser el más adecuado.
A UNA MAYOR VELOCIDAD	El torque disminuye en forma proporcional	Los LRA se incrementan directamente con un moderado cambio de velocidad	Los HP se incrementan en forma proporcional al cambio de velocidad. El enfriamiento puede causar el incremento de HP en exceso.	Los NLA se incrementan en forma proporcional a la velocidad.	La calidad del hierro puede limitar la capacidad de incrementar los HP. El anillo determinales del rotor puede resultar muy pequeño para el incremento de la velocidad.
A UNA MENOR VELOCIDAD	El torque se incrementa en forma proporcional	Los LRA disminuyen en forma proporcional.	Los HP disminuyen mas por un decremento de la velocidad debido al menor enfriamiento a baja velocidad	Los NLA disminuyen en proporción a un cambio moderado de la velocidad. Grandes cambios de velocidad no causa gran decremento de los NLA	El enfriamiento es muy importante para obtener los HP deseados. El anillo terminal del rotor puede ser excesivo para el torque.

Para continuar se debe explicar lo que se quiere decir con: "no afectado directamente por el calibre del alambre". Si el calibre del alambre se escoge por el circular mil asignado a tal motor, el calibre del alambre tendrá poco efecto.

Pero indudablemente, si se trata de usar un alambre 20AWG para un circuito simple estrella de 5HP a 220 voltios, el calibre del alambre ciertamente tendrá efecto. Pero ¿como?.

El motor tomará alrededor de 4 amperios ó más sin carga, por lo que el bobinado se quemará.

Para un funcionamiento sin sobrecalentamiento, ó para una máxima salida, siempre se debe usar el calibre del alambre mayor posible. Esto tiene un pequeño efecto sobre la corriente en vacío pero es una ventaja cuando se requiere el máximo torque. Un calibre sobredimensionado puede también incrementar la corriente de empuje un poco.

Para grandes cambios de velocidad lea las recomendaciones en la parte derecha de la tabla de rediseño.

Bajo la columna "Corriente de Rotor Bloqueado para un Cambio de Vueltas" se lee: "varía inversamente con el cuadrado del número de vueltas" por ejemplo:

Si se tiene que el diseño indica que un cambio de vueltas por bobina bobina de 15 vueltas a 18 es necesario (sin otro cambio). Si el motor a 100 voltios toma 49 amperios a rotor bloqueado (a 15 vueltas), cuál será el nuevo valor a 18 vueltas?; 15 al cuadrado es $15 \times 15 = 225$. Ahora bien 18 al cuadrado $18 \times 18 = 324$. Inversa significa opuesta al cambio. Esto es si el cambio es un número mayor la inversa será un

menor efecto. Por lo tanto:

$$\frac{225 \times 49}{324} = 34 \text{ amperios}$$

El nuevo valor de la corriente de rotor bloqueado (LRA) será de 34 amperios. A mayor vueltas menos amperios. Esto también se puede trabajar a la inversa. Supóngase que se tiene un motor que es muy grande para un determinado trabajo y se desea reducir la corriente de empuje ó corriente de rotor bloqueado (LRA). El motor actualmente tiene 9 vueltas y toma bajo prueba a 75 voltios, trifásico, 300 amperios de corriente de rotor bloqueado.

Como la corriente de rotor bloqueado es proporcional al voltaje aplicado el motor está tomando ahora 900 amperios a 230 voltios trifásico. Se deseará tener alrededor de 650 amperios a 230 voltios. Los 75 voltios, de la prueba de rotor bloqueado son alrededor de 1/3 de 230 voltios, por lo que el motor deberá tomar 1/3 de los 650 amperios (para los 75 voltios) que es alrededor de 217 amperios.

Desde que las 9 vueltas originales deben ser cambiadas inversamente, para obtener menos LRA se deberá incrementar las vueltas, pero cuánto más?. Se debe hallar un factor de los cuadrados de los amperios de rotor bloqueado, los actuales y los deseados.

$$\frac{(300)^2}{(217)^2} = 1.91$$

Este número 1.91 es el factor requerido: $1.91 \times 9 = 17$ vueltas
El factor 1.91 será usado también para obtener menos circular mils, pues se deberá usar un alambre de menor calibre para el nuevo bobinado.

Los CM. originales deben ser divididos entre 1.91 para obtener los nuevos circular mils.

3.9.6 Determinación de los HP a Partir del Frame con las Tablas Bore X Bore X Length (BBL)

El nombre más apropiado en castellano sería "diámetro interno al cuadrado por la longitud". Estos valores han sido tomados de varias fuentes. Los datos que se muestran son el resultado de multiplicar el diámetro interno del estator por si mismo y por la longitud del paquete de láminas. Es decir un estator con un diámetro de 6 pulgadas interior y una longitud de láminas de 4 pulgadas, tendrá un factor BBL de $6 \times 6 \times 4 = 144$.

Los valores más grandes de BBL generalmente corresponden a los motores mas antiguos.

Estos valores deberán usarse a modo de comparación como se puede ver por el amplio rango que cada caballaje y velocidad cubre.

Estos no incluyen a los renormalizados (después de 1964).

Los renormalizados pueden ser a lo sumo 15% menor en BBL.

En muchos casos el BSI (Below Slot Iron) ó ranura del hierro inferior, es el factor determinante.

En la mayoría de las carcazas (frame) de motores, un gran cambio en la velocidad (a mayor velocidad) no es deseable, pues

el BSI puede ser inadecuado, requiriendo un gran número de vueltas para compensar la falta de hierro. Esto nos lleva a un diseño de bobinado con un pobre torque de arranque.

En los miles de frames examinados, sólo algunos pocos fueron mayores de 11.5 pulgadas de diámetro (29 cm) para motores de 2 polos a 60 HZ.

Estas 11.5 pulgadas a 3,450 RPM, nos da una velocidad perimetral de 10,000 pies/minutos (3048 m.).

Esta es generalmente la velocidad máxima de seguridad para los motores de jaula de ardilla a cualquier velocidad.

Un rotor bobinado rara vez excede de los 7,500 pies/min.

El nomograma del Cuadro 3.5 dará los valores de BBL directamente, colocando una regla através de las escalas marcadas Diámetro Interior, leyendo el valor ó resultado al centro de la escala.

Se debe tener cuidado de elegir la escala adecuada. El Cuadro de la página 105 muestra los actuales valores de BBL de cientos de frames originales de varios fabricante, todos antes de 1964 renormalizados. Ahora bien en lugar de multiplicar y obtener la raiz cuadrada para un cambio de HP etc., el nomograma del Cuadro 3.6 dará el factor necesario de inmediato.

Este nomograma puede ser usado de ambas formas: para incrementar ó reducir los HP actuales, como se verá más adelante un motor puede ser probado si es posible desarrollar mayor HP que el nominal. En cierto grado este sistema funciona a la inversa. Teóricamente uno puede disminuir los HP de un

frame, pero no se puede incrementar mucho que el diseñado.
El factor limitante es el punto de saturación del laminado.

HP	2 polos 3600 RPM	4 polos 1800 RPM	6 polos 1200 RPM	8 polos 900 RPM
1/4	15-22	26-36	36-46	36-65
1/3	16-26	21-30	35-54	42-66
1/2	19-36	27-46	38-68	55-88
3/4	25-36	28-54	41-68	56-92
1	29-54	35-62	59-83	71-116
1.5	35-65	56-110	60-130	93-165
2	39-68	58-120	99-170	125-185
3	54-100	75-100	120-190	160-255
5	76-135	100-170	155-252	230-350
7.5	90-160	160-260	200-360	350-480
10	100-200	190-130	310-450	440-580
15	135-240	265-500	370-675	500-790
20	200-350	320-550	370-675	625-1100
25	250-400	390-600	625-1100	850-1150
30	270-500	455-970	640-1350	900-1560
40	350-650	580-1050	860-1550	1080-1900
50	450-750	720-1400	1040-200	1260-2600
75	700-1520	1100-1600	1420-2150	2200-3700
100	750-1570	1270-2450	1600-3300	2400-3800

Nota: Estos valores son sólo con propósitos de chequeo.

Aun cuando el frame sea el adecuado para los valo

res del BBL un insuficiente enfriamiento a bajas velocidades puede causar un pobre diseño. Algunos fabricantes usan un valor definido del BBL por lo que para un fabricante es el adecuado para otro talvez sea muy pequeño. La cantidad de flujo magnético (línea/pulg² ó gauss ó weber/m²) es determinado principalmente por dos factores:

- 1) La calidad del acero (una medida de las pérdidas, calentamiento, del acero con un flujo AC).
- 2) La cantidad de pulg² ó cm² disponible para el flujo.

Por supuesto que el enfriamiento y otros factores afectan el calentamiento, pero el punto de saturación depende de los dos factores mencionados.

La capacidad (HP) de cualquier motor puede ser determinado (en un grado práctico), aplicando el voltaje nominal al motor y notando la corriente en vacío a esta tensión.

Luego midiendo un voltaje creciente por etapas hasta que un "súbito" incremento en la corriente en vacío es notado.

Realmente el incremento no es "súbito" pero es como indica en la curva del Cuadro 3.7a y b. En el gráfico se plotea el voltaje vs. corriente en vacío.

Pero, qué valor es el razonable?

Para un motor ordinario de inducción de 8 polos ó menos, con 50 ó 60 Hz., la corriente en vacío rara vez excede el 75% de la corriente nominal para cualquier motor sobre los 3 HP.

Desde que la temperatura es el factor limitante en la vida de un motor, corrientes ó nominales más altas son posibles si se puede incrementar el enfriamiento.

Una regla práctica es tener 1.4 veces la corriente en vacío para el voltaje de saturación. Esto es: se mide la corriente en vacío para la tensión nominal, ahora observe cuanto es 1.4 veces la corriente y cuando la alcance aumentando el voltaje, se toma dato de este valor.

Este es el máximo voltaje para el cual se ha diseñado el bobinado.

Ahora que hemos determinado esta tensión, que se debe hacer? Lo mejor será verlo con un ejemplo: Se tiene un motor con los siguientes datos:

Voltios : 208

R P M : 1,800

Fases : 3

H P : 7.5 (abierto a prueba de goteo)

Este motor es usado para mover una faja transportadora a través de un engranaje directamente acoplado. La faja transportadora debe ser cargada más allá de su capacidad nominal en un 10 a 15%. El área del motor está muy cerca lo que imposibilita su reemplazo por otro de mayor potencia.

El motor es sacado para ver si es posible si puede ser rebobinado a una potencia mayor.

Con una fuente de tensión variable trifásica se encuentra que la corriente en vacío del motor a la tensión nominal es de 6.4 amperios

$$6.4 \times 1.4 = 9 \text{ amperios}$$

Este se presentó a 260 voltios.

$$\frac{260}{208} \times 100 = 125\%$$

Esto quiere decir que un 25 % sobre la potencia original es obtenible.

Como en este caso particular, la tensión no puede ser mayor de 208 voltios, se debe optar por rebobinarlo para un 20% más de potencia (HP).

$$20\% = 1/5 = \text{entonces } (1/5) \times 7.5 = 1.5 \text{ HP}$$

$$7.5 + 1.5 = 9 \text{ HP}$$

por lo que la relación es de 7.5 a 9; entonces $7.5/9$ nos da 0.91 como factor para la tabla del Cuadro 3.6

Si se asume conexión 2 deltas y 22 vueltas. Multiplique estas vueltas por 0.91 que es igual a 20 vueltas. Desde que hay menos vueltas, el calibre del alambre puede a lo sumo incrementar en la misma proporción.

Divida los circulares mils por 0.91 por ejemplo:

El calibre original hallado fue 17 AWG lo que significa 2,050CM.

Usando un 19 AWG y un 20 AWG en paralelo nos dará los CM requeridos ($1020 + 1290 = 2310$ circular mil).

Nota: Como un complemento a este capítulo es bueno acotar lo siguiente:

En los motores antiguos, antes de la renormalización de 1964, la densidad de flujo máxima era al menos 10% menos que los nuevos (luego de 1964) motores, pero en muchos motores antes de 1945, el acero no era forzado a su máxima capacidad.

Por lo que un motor antiguo puede ser incrementado un 10% ó aún un 20% en sus HP sin mucha dificultad utilizando los alambres modernos para alta temperatura y mejor aislamiento de ranuras.

ALAMBRE REDONDO

Calibre	Diámetro	Area		PESO		Resistencia D-C al 100% de Conductividad y 20°C		Calibre
		Seccion Transversal		Libra por M pies	pie por Lb.	ohmios por M pies	ohmios por Lb.	
Awg	Pulgada	circular mils	pulgada cuadrada					Awg
4/0	.4600	911.600	0.1665	640.5	1.561	0.04901	.00007655	4/0
3/0	.4096	647.800	0.1318	507.9	1.968	0.06180	.00019117	3/0
2/0	.3648	473.100	0.1045	405.8	2.482	0.07793	.00031935	2/0
1/0	.3249	331.500	0.08289	319.5	3.130	0.09257	.0003076	1/0
1	.2893	233.090	0.06573	253.3	3.947	.11939	.0004891	1
2	.2576	166.370	0.05213	200.9	4.977	.1563	.0007778	2
3	.2294	121.640	0.04134	159.3	6.276	.1970	.001237	3
4	.2043	87.740	0.03278	124.4	7.914	.2485	.001906	4
5	.1819	62.100	0.02600	98.5	9.980	.3133	.003197	5
6	.1620	45.250	0.02065	76.4	12.56	.3951	.004979	6
7	.1443	31.890	0.01635	53.05	15.87	.4985	.007905	7
8	.1285	22.510	0.01297	40.96	20.01	.6285	.01257	8
9	.1144	16.090	0.01036	30.63	25.93	.7921	.01996	9
10	.1019	11.380	0.008155	23.43	31.85	.9989	.03176	10
11	.09074	8.234	0.006467	17.99	40.15	1.260	.05053	11
12	.08081	5.930	0.005199	13.77	50.59	1.588	.08035	12
13	.07196	4.278	0.004067	10.66	63.80	2.003	.1278	13
14	.06408	3.107	0.003195	7.94	80.44	2.525	.2038	14
15	.05707	2.257	0.002558	5.858	101.4	3.184	.3230	15
16	.05082	1.683	0.002098	4.316	127.9	4.016	.5136	16
17	.04596	1.248	0.001609	3.200	161.3	5.064	.8167	17
18	.04200	0.904	0.001276	2.417	203.4	6.385	1.299	18
19	.03889	0.658	0.001019	1.809	256.5	8.051	2.065	19
20	.03196	0.479	0.0008093	1.399	323.4	10.15	3.283	20
21	.02846	0.341	0.0006363	1.055	407.8	12.80	5.291	21
22	.02535	0.244	0.0005046	0.795	514.9	16.14	8.301	22
23	.02257	0.175	0.0004001	0.595	646.4	20.36	13.20	23
24	.02010	0.126	0.0003173	0.453	817.7	25.67	20.99	24
25	.01790	0.091	0.0002517	0.339	1,031	32.37	33.37	25
26	.01594	0.066	0.0001998	0.252	1,300	40.81	53.06	26
27	.01420	0.048	0.0001583	0.180	1,639	51.47	84.37	27
28	.01264	0.035	0.0001255	0.133	2,067	64.90	134.2	28
29	.01126	0.026	0.00009954	0.098	2,607	81.83	213.3	29
30	.01000	0.019	0.00007894	0.073	3,287	103.9	339.2	30
31	.00898	0.014	0.00006260	0.054	4,145	130.7	539.3	31
32	.007950	0.010	0.0004964	0.040	5,257	164.1	857.6	32
33	.007080	0.008	0.0003937	0.030	6,591	206.9	1,364	33
34	.006305	0.006	0.0003199	0.023	8,310	260.9	2,168	34
35	.005615	0.005	0.0002476	0.018	10,480	339.0	3,448	35
36	.005000	0.004	0.0001963	0.014	13,210	414.8	5,482	36
37	.004453	0.003	0.0001557	0.010	16,660	523.1	8,717	37
38	.003965	0.002	0.0001235	0.008	21,010	659.6	13,860	38
39	.003531	0.002	0.00009793	0.006	26,500	831.8	22,040	39
40	.003145	0.001	0.00007766	0.005	33,410	1,049	35,040	40
41	.002800	0.001	0.00006159	0.004	42,140	1,323	55,740	41
42	.002494	0.001	0.00004884	0.003	53,124	1,668	88,597	42
43	.002221	0.001	0.00003873	0.002	66,988	2,103	140,875	43
44	.001978	0.001	0.00003078	0.002	84,470	2,659	224,000	44
45	.001761	0.001	0.00002436	0.001	106,515	3,344	356,175	45
46	.001568	0.001	0.00001938	0.001	134,313	4,217	566,348	46

ALAMBRE CUADRADO

Calibre	Dimension Nominal	Seccion Neta		Peso Neto		Resistencia DC al 100% de conductividad y 20°C	
		cuadrado mils	circular mils	Lb por M pies	Pie por Lb	ohmios por M pies	ohmios por Lb
Awg	pulgada						
1/0	0.3249	102700	138100	393.9	2.539	0.07970	0.0002023
1	.2893	80340	102300	309.6	3.229	.1014	.0003274
2	.2576	63000	80220	242.8	4.118	.1293	.0005324
3	.2294	49270	62730	189.9	5.226	.1653	.0008706
4	.2043	39850	50740	152.6	6.511	.2044	.001331
5	.1819	31200	39730	120.3	8.316	.2611	.002171
6	.1620	25410	32350	97.91	10.21	.3206	.003274
7	.1443	19980	25440	77.02	12.98	.4076	.005292
8	.1285	15670	19960	60.41	16.55	.5197	.008603
9	.1144	12880	16400	49.63	20.15	.6325	.01274
10	.1019	10170	12950	39.21	25.50	.8006	.02042
11	.0907	8020	10200	30.9	32.4	1.02	.0329
12	.0808	6320	8050	24.4	41.1	1.29	.0529
13	.0720	5060	6440	19.5	51.3	1.61	.0825
14	.0641	3990	5070	15.4	65.1	2.04	.133

CALIBRE DE ALAMBRE Y TABLA DE CONEXIONES PARA 220
VOLTIOS Y 60 CICLOS

<u>HP</u>	<u>Calibre de alambre</u> <u>Conexión 2Y</u>	<u>Calibre de Alam-</u> <u>bre Conexión 2</u>	<u>Amp. a Plena</u> <u>Carga 220V-</u> <u>60 Hz.</u>
1/4	28		0.96
1/2	25		1.75
3/4	22-23		2.33
1	21-22		3.05
1.5	20-21		4.28
2	18-19		5.76
3	17-18	19-20	8.29
5	15-16	17-18	13.20
7.5	14-15	16-17	19.30
10	12-13	15-16	25.20
15	10-11	12-13	38.10
20	9-10	11-12	50.50
25	8-9	10-11	62.70
30	7-8	9-10	72.80
50	5-6	7-8	121.00
75	4-5	6-7	178.00
100	2-3	4-5	233.00
125	1-2	3-4	289.00
150	0-1	2-3	346.00

Nota: Tabla basada para los primeros frames "NEMA y U".

Cuadro 3.2

Calibre de Alambre Alternativos

En paralelo	X+3, X+3		
	X+2, X+4	2 1/2 %	Sobredimensionado
	X+1, X+6	4 1/2 %	Sobredimensionado
3 En paralelo	X+5, X+5, X+5	5 1/2 %	Subdimensionado
	X+4, X+5, X+5	2 1/2 %	Sobredimensionado
	X+2, X+7, X+7	2 1/2 %	Sobredimensionado
4 En paralelo	X+6, X+6, X+6, X+6		
	X+5, X+6, X+6, X+7	1 %	Sobredimensionado
	X+5, -X+6, -X+7, -X+7	4 %	Subdimensionado
	X+5, X+5, X+7, X+7	2 %	Sobredimensionado
	X+4, -X+5, -X+8, -X+8	2 1/2 %	Sobredimensionado
	X+4, X+6, X+6, X+8	5 1/2 %	Sobredimensionado
	X+3, X+8, X+8, X+8	3 %	Subdimensionado
5 En paralelo	X+7, X+7, X+7, X+7, X+7		
	X+6, X+7, X+7, X+7, X+8		
	X+6, X+6, X+7, X+7, X+9	2 %	Sobredimensionado
	X+6, X+6, X+7, X+8, X+9	2 %	Subdimensionado
	X+5, -X+7, -X+8, -X+8, -X+8	2 %	Subdimensionado
	X+5, X+6, X+8, X+8, X+8	3 %	Sobredimensionado
	X+4, -X+7, -X+8, -X+9, -X+9		
	X+3, X+7, X+8, X+8, X+8		
6 En paralelo	X+7, X+8, X+8, X+8, X+8	2 %	Subdimensionado
	X+7, X+7, X+7, X+8, X+9, X+9		
	X+7, -X+7, -X+8, -X+8, -X+8, -X+8		
	X+6, X+6, X+9, X+9, X+9, X+9		
	X+5, X+5, X+10, X+10, X+10, X+10	2 1/2 %	Sobredimensionado

Equivalencia De Alambres En Paralelo

Cuadro 3.3

AMERICAN WIRE GAUGE (Sist. Metrico)

Colibre	Diametro	Area	Peso	Resistencia D-C a 20°C		Colibre
Awg	milimetro	mm ²	kilogramo por Km.	ohmios por Km	ohmios por Kg	Awg
4/0	11.68	107.2	953.2	0.1608	0.0001687	4/0
3/0	10.40	85.03	755.9	.2028	0.002685	3/0
2/0	9.266	67.43	599.5	.2557	0.004265	2/0
1/0	8.252	53.48	475.4	.3223	0.006778	1/0
1	7.348	42.41	377.0	.4066	.001078	1
2	6.544	33.63	299.0	.5128	.001715	2
3	5.827	26.67	237.1	.6466	.002728	3
4	5.189	21.15	188.0	.8152	.004336	4
5	4.621	16.77	149.1	1.028	.006900	5
6	4.115	13.30	118.2	1.297	.01097	6
7	3.665	10.55	93.78	1.634	.01742	7
8	3.264	8.366	74.37	2.061	.02770	8
9	2.906	6.634	58.98	2.600	.04410	9
10	2.588	5.261	46.77	3.277	.07006	10
11	2.305	4.172	37.09	4.136	.01116	11
12	2.053	3.309	29.42	5.212	.1772	12
13	1.828	2.624	23.33	6.564	.2811	13
14	1.628	2.081	18.50	8.281	.4474	14
15	1.450	1.650	14.67	10.44	.7106	15
16	1.291	1.309	11.63	13.19	1.134	16
17	1.150	1.038	9.226	16.58	1.794	17
18	1.024	.8231	7.317	20.95	2.864	18
19	.9116	.6527	5.803	26.40	4.548	19
20	.8118	.5176	4.602	33.23	7.204	20
21	.7230	.4105	3.649	41.89	11.45	21
22	.6438	.3255	2.894	53.16	18.44	22
23	.5733	.2582	2.295	66.62	28.96	23
24	.5106	.2047	1.820	84.22	46.28	24
25	.4547	.1624	1.443	106.2	73.58	25
26	.4049	.1288	1.145	134.6	118.2	26
27	.3606	.1021	.9078	168.7	185.8	27
28	.3211	.08098	.7199	214.3	299.7	28
29	.2859	.06422	.5709	266.5	463.3	29
30	.2546	.05093	.4527	340.3	755.4	30
31	.2268	.04039	.3590	429.6	1,204	31
32	.2019	.03203	.2847	531.7	1,844	32
33	.1798	.02540	.2258	675.0	2,973	33
34	.1601	.02014	.1791	857.3	4,795	34
35	.1426	.01597	.1420	1,085	7,681	35
36	.1270	.01267	.1126	1,361	12,085	36
37	.1131	.01005	.08931	1,680	18,420	37
38	.1007	.007967	.07083	2,127	29,510	38
39	.08969	.006318	.05617	2,778	50,340	39
40	.07987	.005010	.04454	3,541	81,790	40
41	.07112	.003971	.03530	4,340	122,900	41
42	.06332	.003166	.02814	5,444	193,400	42
43	.05638	.002496	.02219	7,030	322,500	43
44	.05020	.001986	.01765	8,506	472,100	44
45	.04470	.001569	.01395	10,500	719,600	45
46	.03980	.001249	.01110	13,296	1,152,600	46

50 Ciclos	Número de polos	Número de grupos por polo por fase.	60 Ciclos R P M.
3000	2	6	3600
1500	4	12	1800
1000	6	18	1200
750	8	24	800
600	10	30	720
500	12	36	600
428	14	42	514
375	16	48	450
333	18	54	400
300	20	60	360
273	22	66	327
250	24	72	300
231	26	78	277
214	28	84	257

Cuadro 3.5 Velocidades trifásicas, polos, y grupos por polo, por fase para 50 v 60 Hz.

<u>Ranuras</u>	<u>Factor</u>	<u>Ranuras</u>	<u>Factor</u>	<u>Panuras</u>	<u>Factor</u>
12s	4	102s	34	210s	70
15s	X	108s	36	216s	72
16s	X	112s	X	220s	X
18s	6	114s	38	222s	74
20s	X	120s	40	240s	80
24s	8	126s	42	246s	82
27s	X	128s	X		
30s	10	132s	44	Nota.- Las ranuras sin factor dado, siempre - tienen desigual bobinas per grupo por polo por fase.	
32s	X	135s	X		
36s	12	138s	46		
40s	X	140s	X		
42s	14	144s	48		
46s	X	150s	50		
48s	16	153s	X		
54s	18	154s	X		
60s	20	156s	52		
64s	X	160s	X		
66s	22	162s	54		
72s	24	168s	56		
75s	X	174s	58		
78s	26	176s	X		
80s	X	180s	60		
84s	28	186s	62		
88s	X	189s	X		
90s	30	192s	64		
96s	32	198s	66		
98s	X	200s	X		
100s	X	204s	68		

Bobinados Para Fases Balanceadas Para Varios Valores De Ranuras

Cuadro 3.6

<u>Polos</u>	<u>Circuitos Posibles</u>
	Si los grupos son balanceados
2	1, 2
4	1, 2, 4
6	1, 2, 3, 6
8	1, 2, 4, 8
10	1, 2, 5, 10
12	1, 2, 3, 4, 6, 12
14	1, 2, 7, 14
16	1, 2, 4, 8, 16
18	1, 2, 3, 6, 9, 18
20	1, 2, 4, 5, 10, 20
22	1, 2, 11, 22
24	1, 2, 3, 4, 6, 12, 24

Nota: Algunas veces un bobinado desbalanceado puede ser usado en un número de circuitos paralelos y no en otros. Por ejemplo en un bobinado de 6 polos, los circuitos pueden estar balanceados en 2 circuitos estrellas ó delta, pero será imposible balancearlo en un bobinado de tres circuitos.

Cuadro 3.7 Circuitos posibles dado el número de polos.

HP	2Y(estrella) calibre AWG	2 / (delta) calibre AWG	Corriente plena carga 220-V-1800 RPM
1/4	28		0.96
1/2	25		1.75
3/4	22-23		2.33
1	21-22		3.05
1 1/2	20-21		4.28
2	18-19		5.76
3	17-18	19-20	8.29
5	15-16	17-18	13.20
7 1/2	14-15	16-17	19.30
10	12-13	15-16	25.2
15	10-11	12-13	38.10
20	9-10	11-12	50.50
25	8-9	10-11	62.70
30	7-8	9-10	72.80
50	5-6	7-8	121.00
75	4-5	6-7	178.00
100	2-3	4-5	233.00
125	1-2	3-4	289.00
150	0-1	2-3	346.00

Nota: Algunos motores de tipo antiguo, usan calibres de alambre de una medida más chica de la mostrada en la tabla. Generalmente un calibre de alambre mayor significa mayor eficiencia, mayor capacidad sin sobrecalentamiento.

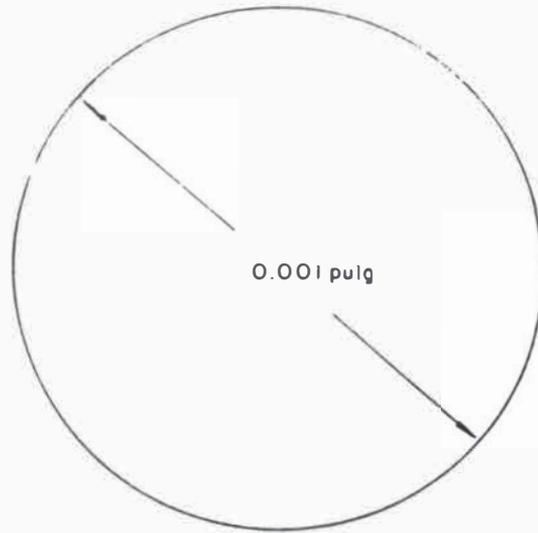
Cuadro 3.8 Calibres de alambre y conexión para 220V y 50-60 Hz.

Número de polos	18	24	30	36	48	54	60	72	84	90	96	108	120	144	168	180	216	252	Número de polos
2 *	1-7	1-9	1-11	1-13	1-17	1-19	1-21	1-25	1-28	1-31	1-33	1-37	1-41	1-49	1-85	X	X	X	2 *
4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-11	1-12	1-14	1-16	1-18	1-20	1-21	1-23	1-26	1-31	1-36	1-38	X	X	4
6	1-3	1-4	1-5	1-6	1-8	1-9	1-9	1-11	1-13	1-14	1-14	1-16	1-18	1-21	1-24	1-26	1-31	X	6
8	X	1-4	1-4	1-5	1-6	1-7	1-7	1-9	1-10	1-10	1-11	1-12	1-14	1-16	1-18	1-20	1-23	1-27	8
10	X	X	1-4	1-4	1-5	1-6	1-6	1-7	1-8	1-9	1-9	1-10	1-11	1-13	1-15	1-16	1-18	1-22	10
12	X	X	X	1-4	1-4	1-5	1-5	1-6	1-7	1-7	1-8	1-9	1-9	1-11	1-13	1-13	1-16	1-18	12
14	X	X	X	X	1-4	1-4	1-5	1-5	1-6	1-6	1-7	1-7	1-8	1-10	1-11	1-12	1-14	1-16	14
16	X	X	X	X	X	1-4	1-4	1-5	1-5	1-6	1-6	1-7	1-7	1-8	1-10	1-10	1-12	1-14	16
18	X	X	X	X	X	X	1-4	1-4	1-5	1-5	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-9	1-11	1-13	18
20	X	X	X	X	X	X	X	1-4	1-4	1-5	1-5	1-5	1-6	1-7	1-8	1-8	1-10	1-11	20
22	X	X	X	X	X	X	X	1-4	1-4	1-4	1-5	1-5	1-6	1-6	1-7	1-8	1-9	1-11	22
24	X	X	X	X	X	X	X	X	1-4	1-4	1-4	1-5	1-5	1-6	1-7	1-7	1-8	1-10	24
polos	18	24	30	36	48	54	60	72	84	90	96	108	120	144	168	180	216	252	polos

PASOS DE BORRIAS LAS COMPLEMENTE US. DCE PARA VARIOS VALORES

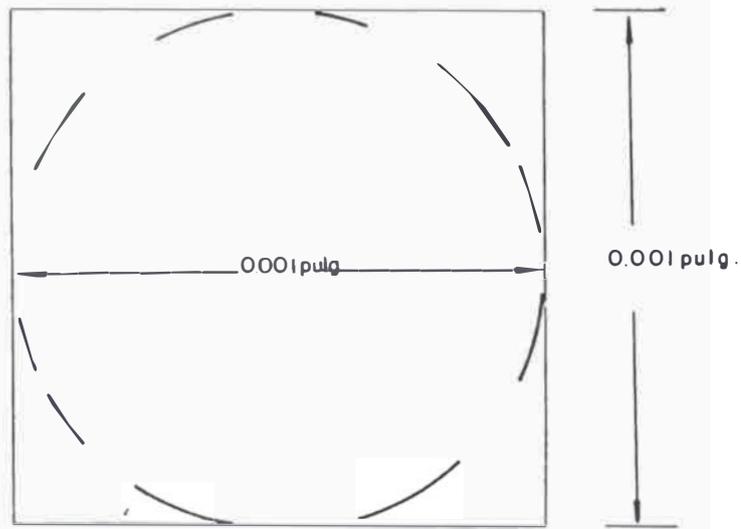
D. POLOS Y RAURAS

Cuadro 3.9



El Circular Mil (0.001 pulg.)
1/1000 pulg. de diámetro

(a)



El Cuadrado Mil (0.001 pulg.)
1/1000 pulg. de lado

(b)

Fig. 3.1

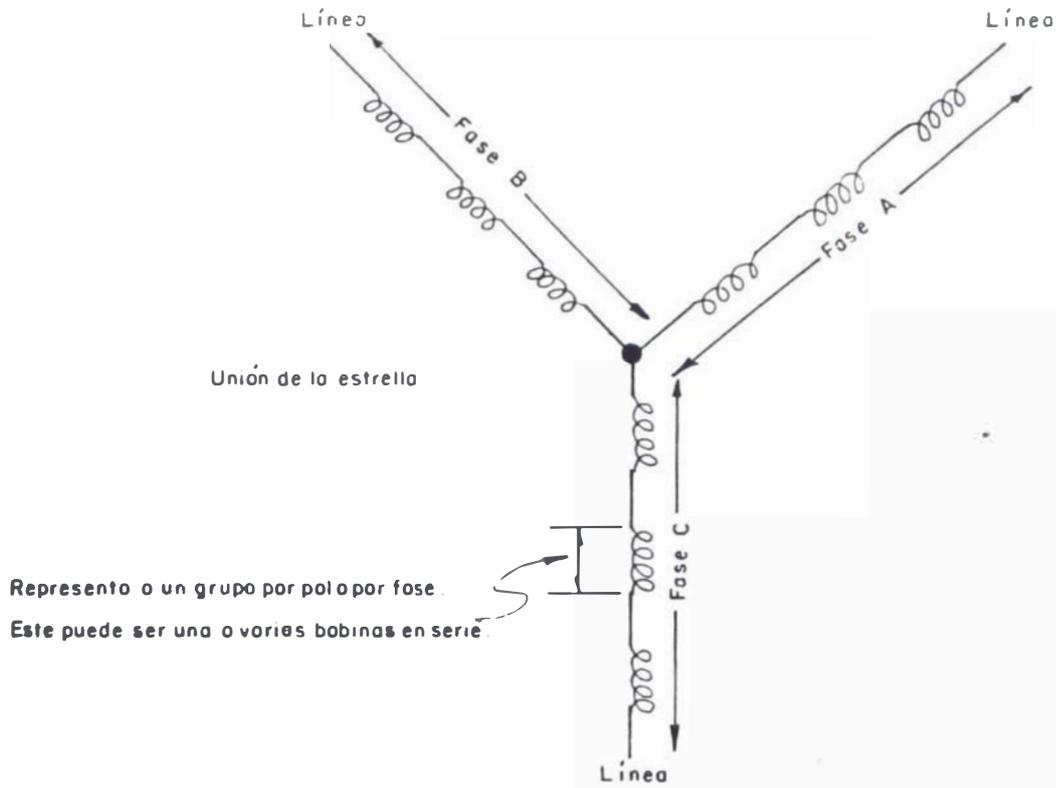


Fig. 3.2 DIAGRAMA DE UNENTRADO O UNA CONEXION ESTRELLA

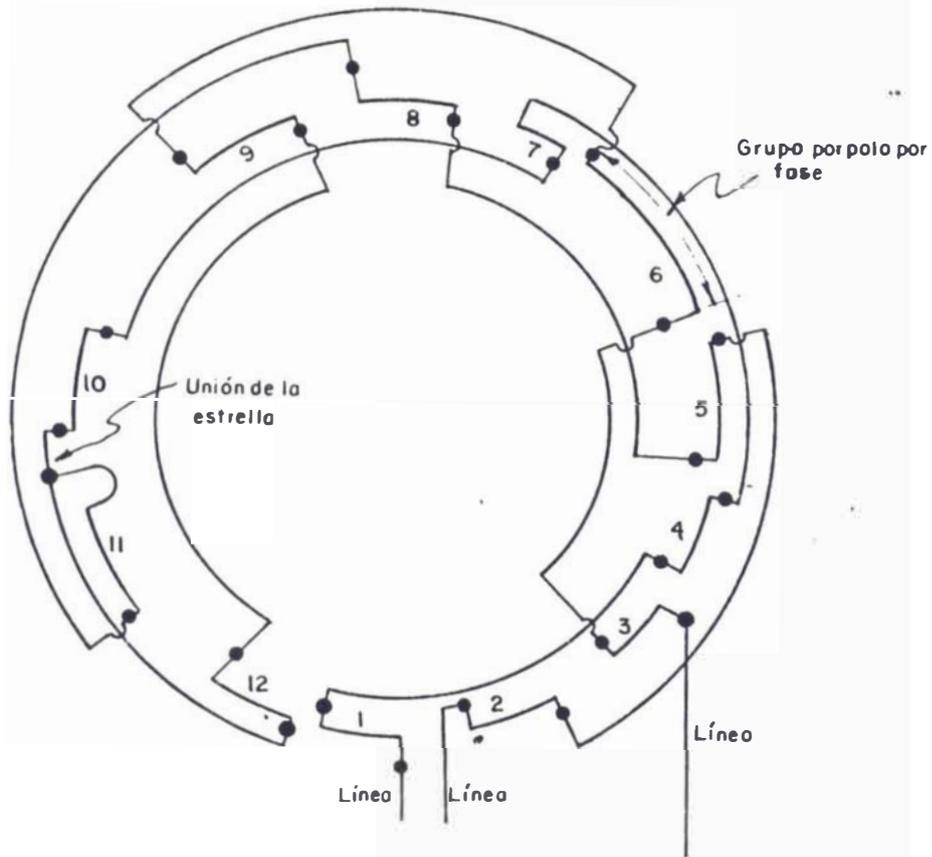


Fig. 3.3 BOBINADO DE UNA ESTRELLA DE 4 POLOS

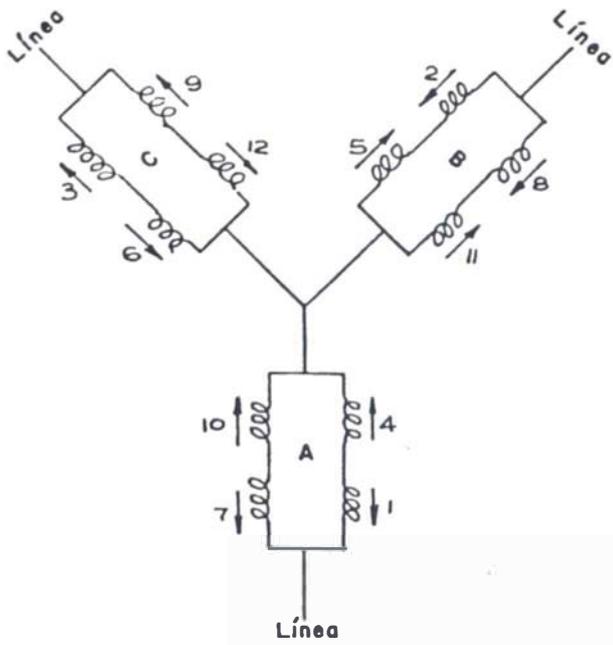


Fig. 3.4 Conexión Esquemática
Circuito 3 Estrellas
4 Polos

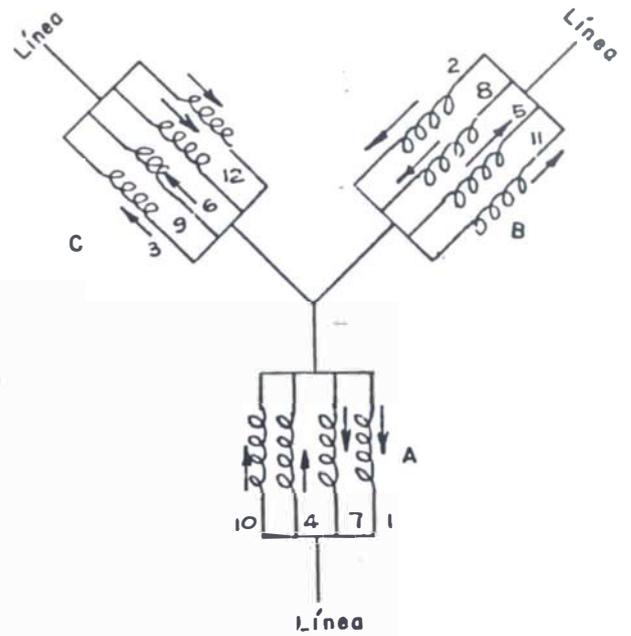


Fig. 3.5 Diagrama Esquemático
Circuito 4 Estrellas
4 Polos

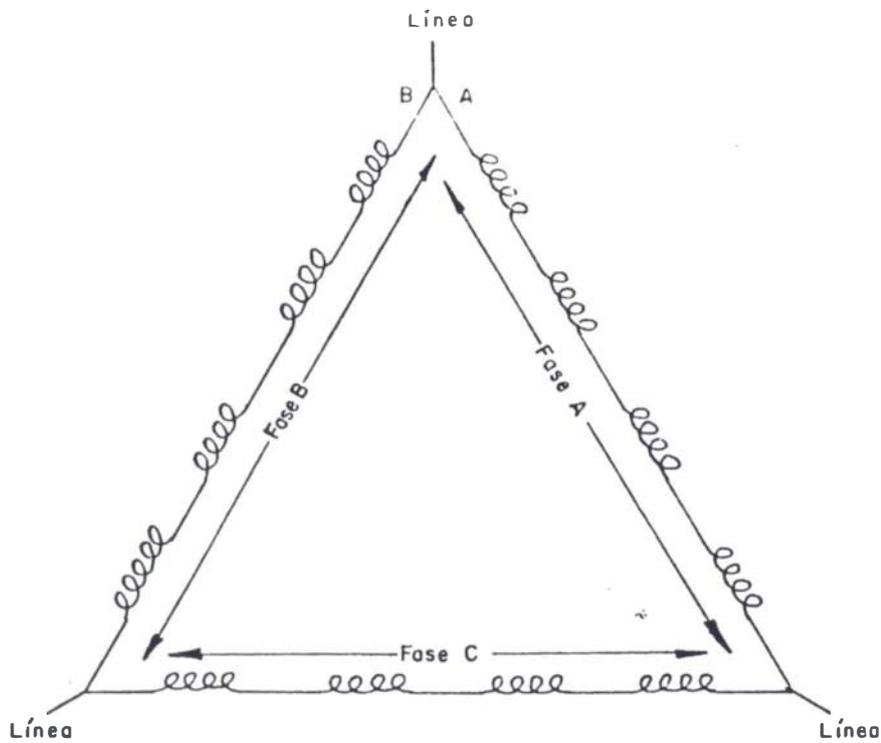


Fig. 3.6 Diagrama Esquemático Conexión
Delta

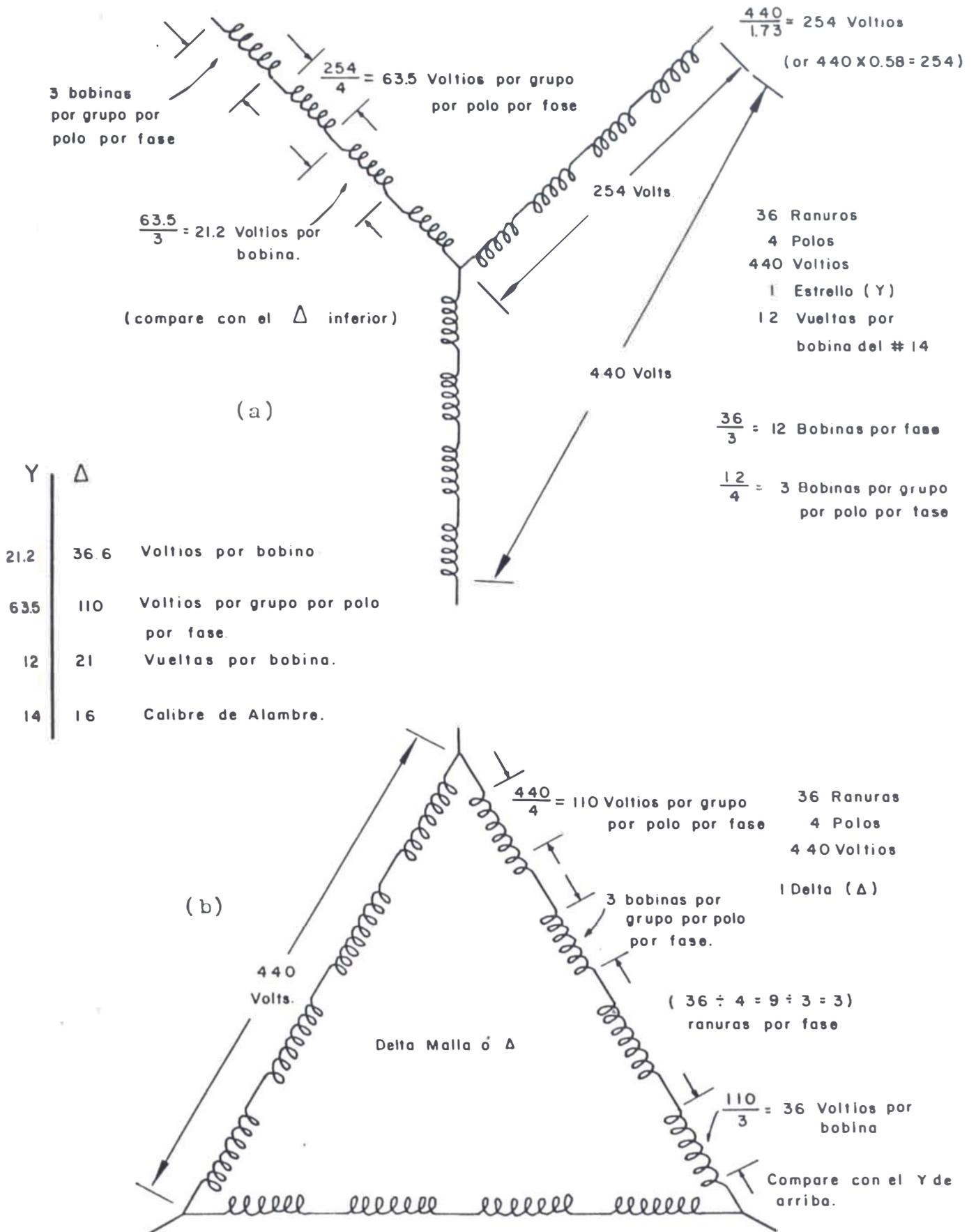
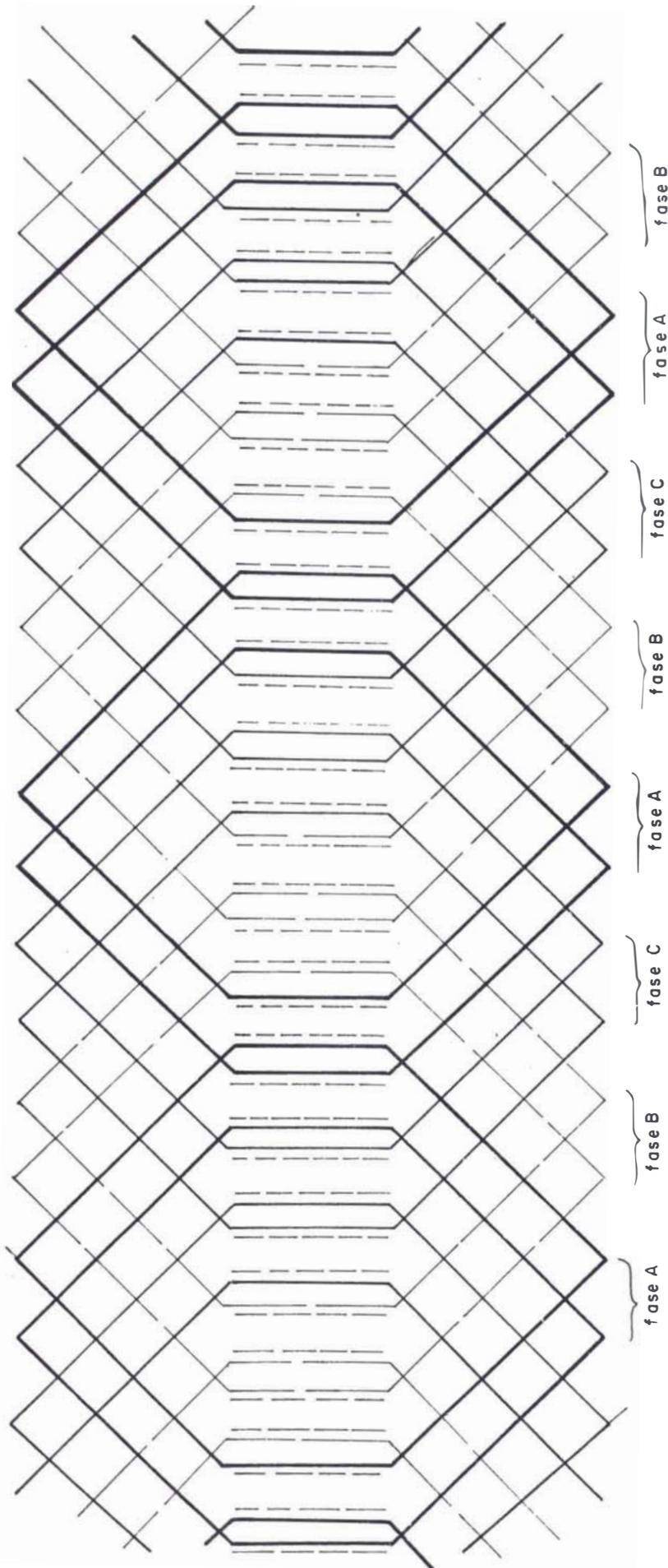


Fig. 3.7 Diagrama De conversion, Estrella a Delta



NOTA.- Las líneas punteadas son las paredes de ranuras. Esto es parte de un motor de 36 ranuras, 6 polos, paso 1-6, bobinado trifásico de 2 bobinas por ranura por polo por fase. No se muestran las interconexiones. Cada bobina ocupa la mitad de la ranura, o una capa, de ahí el nombre de bobinado de dos capas (Endiamante)

FIG. 3.8 BOBINADO DE 2 CAPAS ACORRADO ALGUNAS BOBINAS EN RANURAS

Nota: Los primeros 5 bobinos tienen ambos lados de bobino en la base de la ranura (paso 1-6)

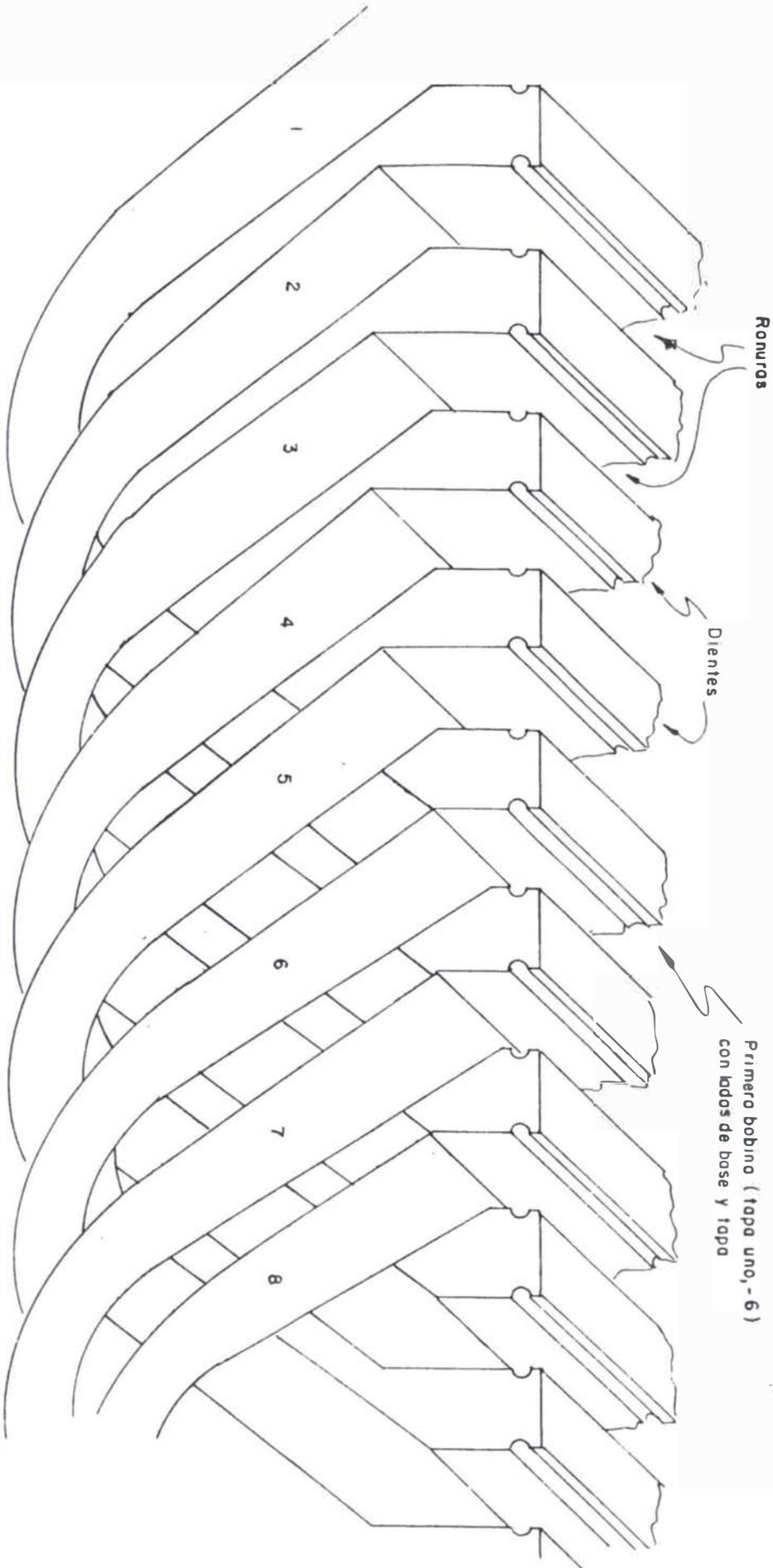
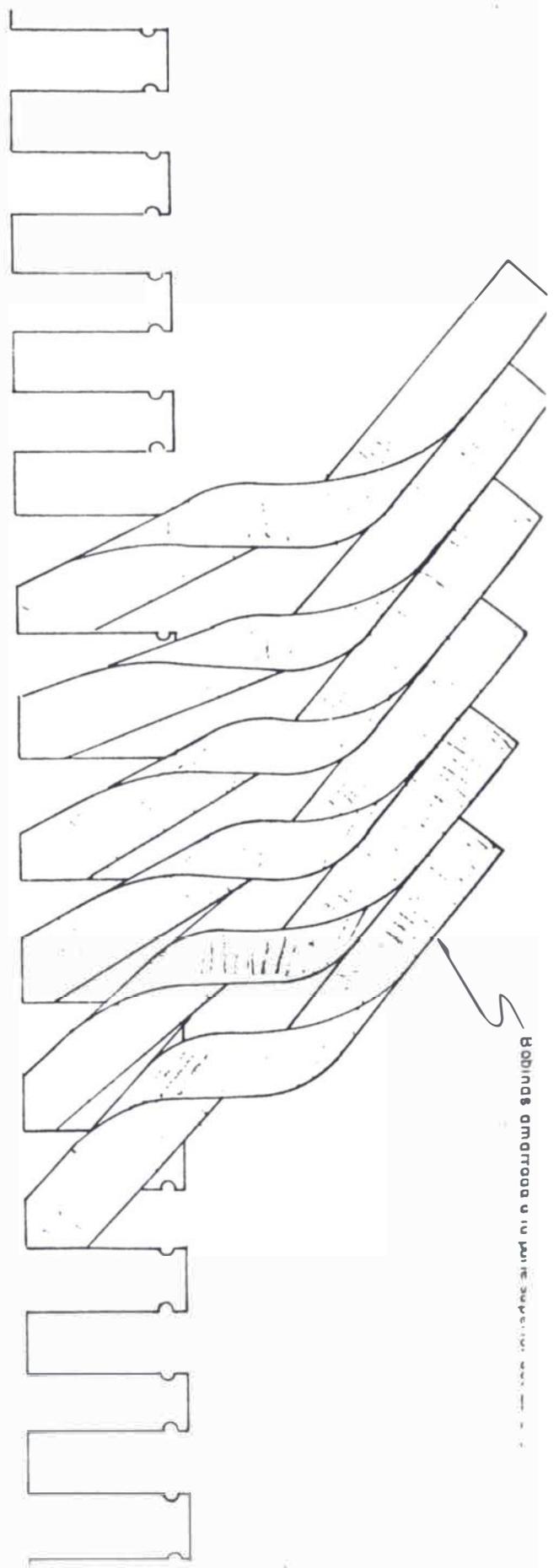
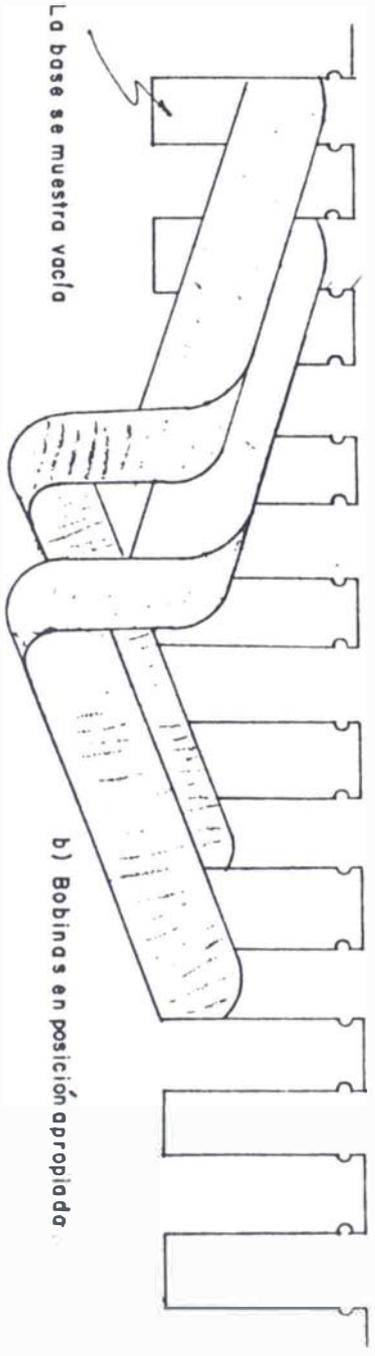


FIG. 3.9 ORIENTACION DE LOS BORNOS DE LOS BORNOS (DE LA FIG. 3)



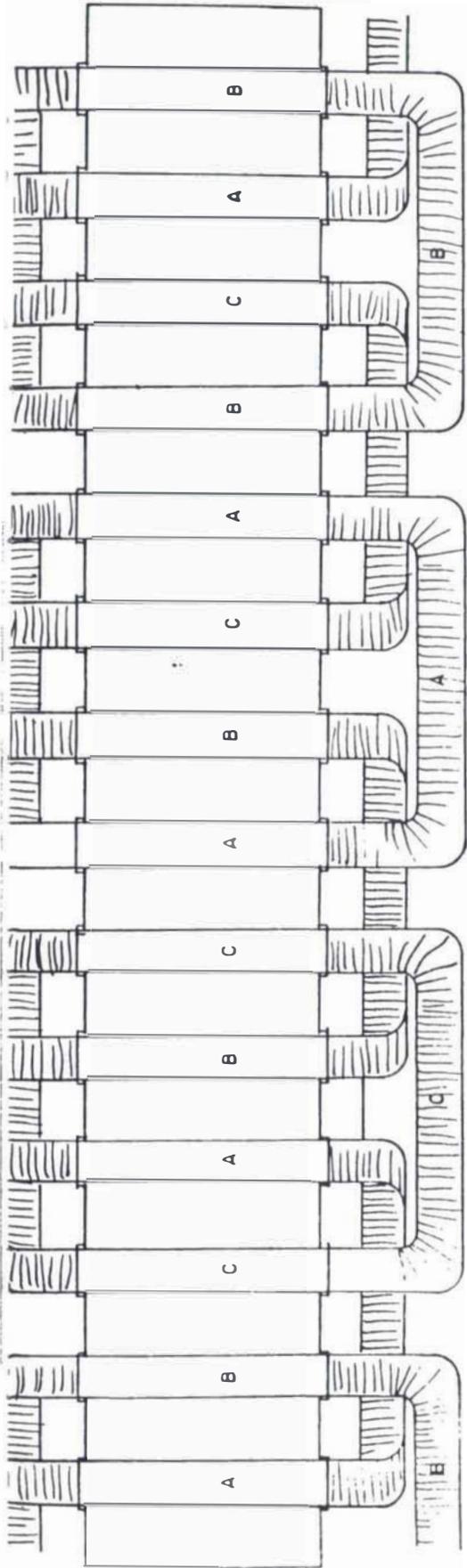
a) Lado de tapa de bobina levantados para permitir la inserción de los lados base



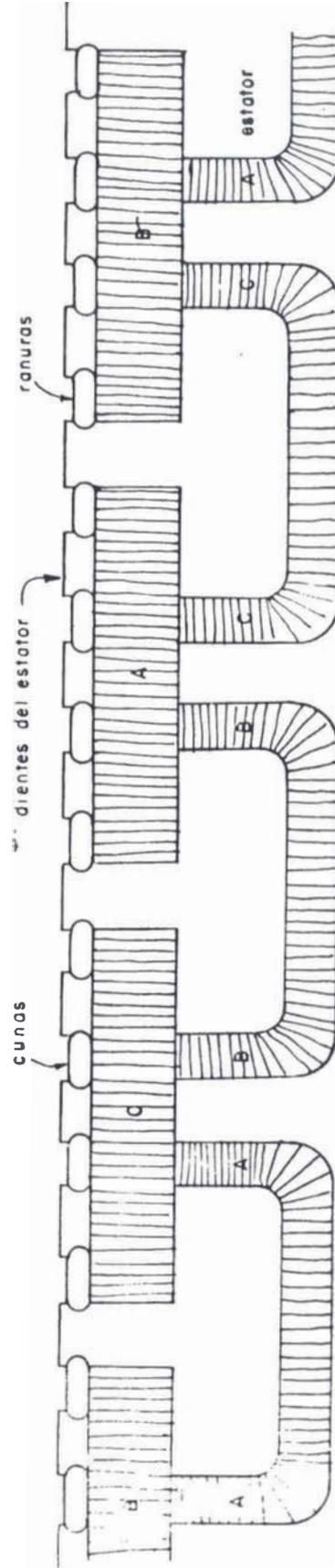
b) Bobinas en posición apropiada

Nota: La base se muestra vacía

FIG. 3.1C BOBINAS PREPARADAS PARA EL TRASLAPADO DE ACCIONADO DE 2 CAPAS



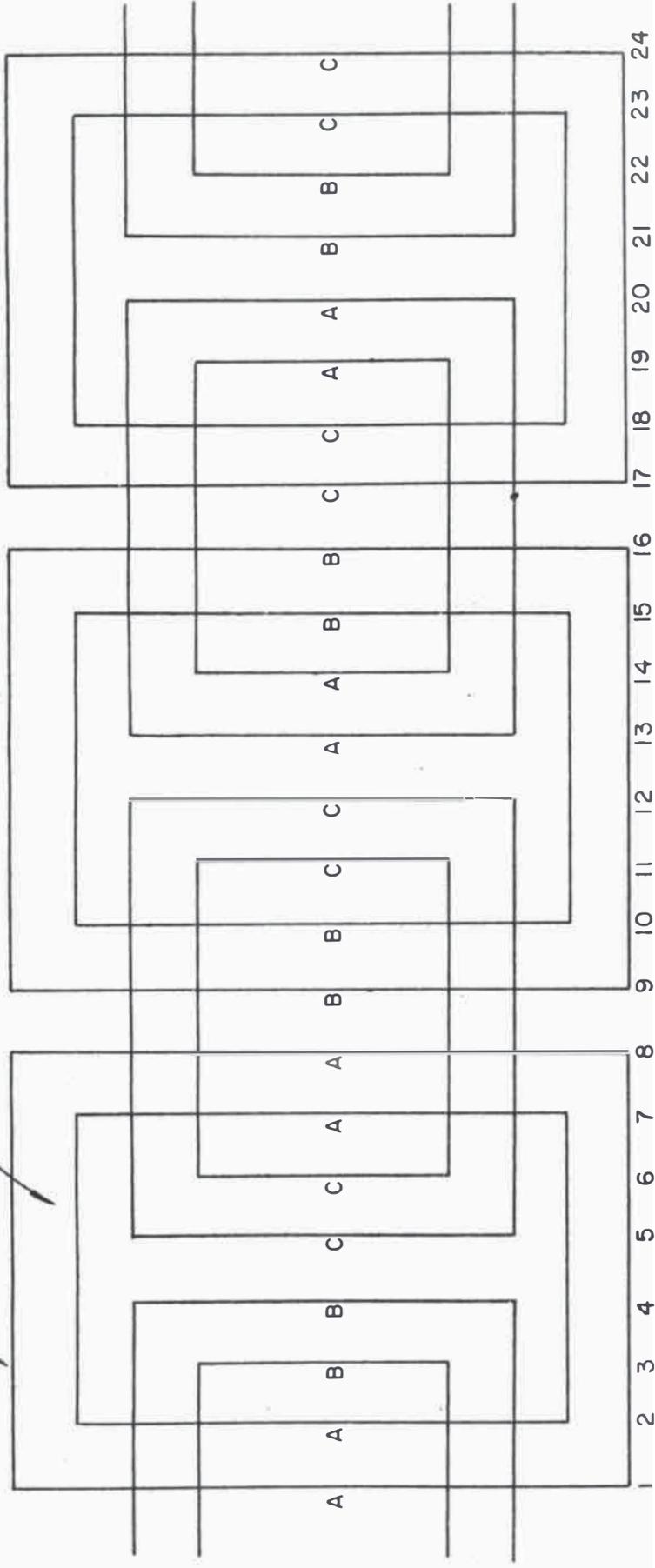
a) VISTA INTERIOR DEL ESTATOR



b) VISTA DE LAS CABEZAS DE BOBINAS. ESTE ES UN BOBINADO DE 2 CAPAS.

FIG. 3.11 BOBINADO TRIFASICO EN CADENA

Paso 1-8 (2-7)



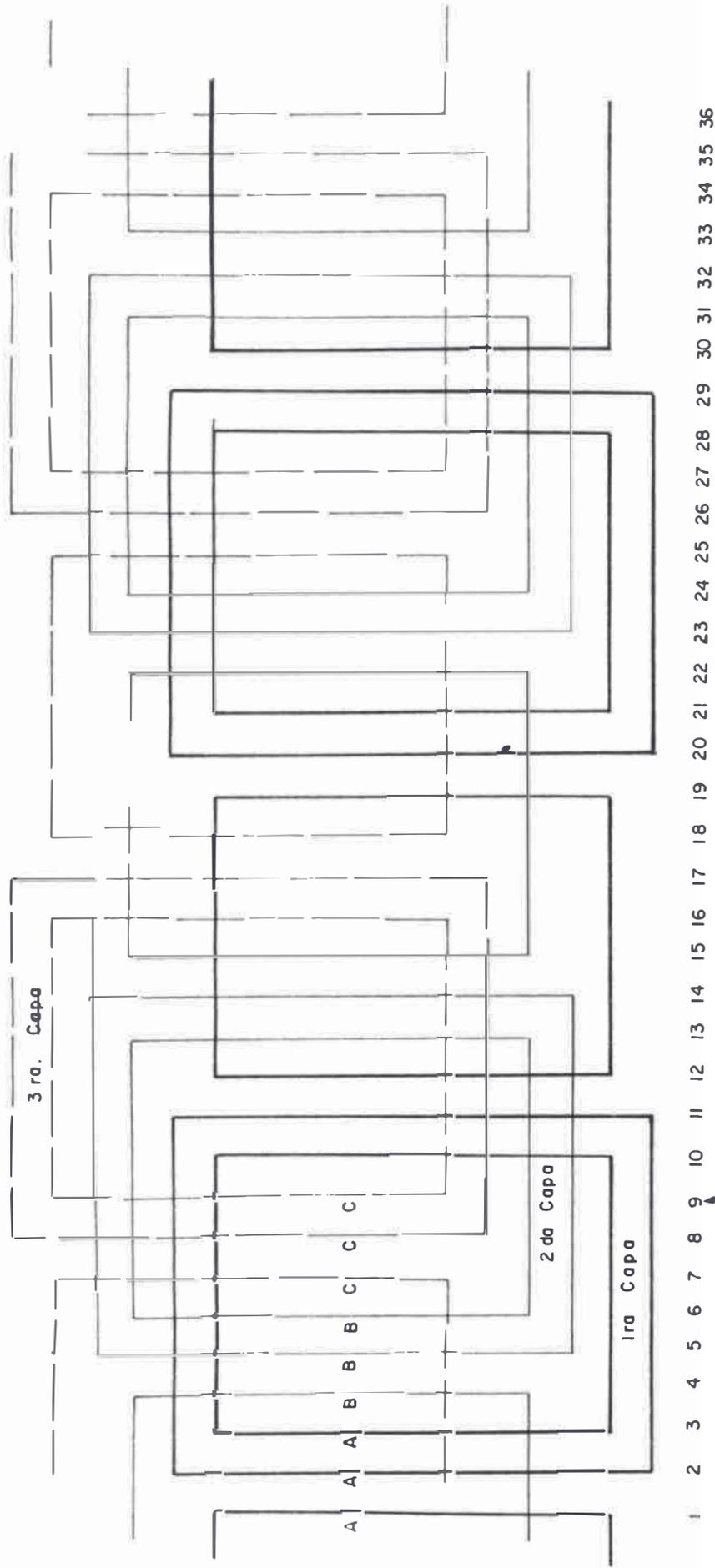
Número de ranura

No se muestran las ranuras
cada línea representa un lado de bobina.

Nota.- Cada fase tiene un grupo de bobino largo y corto
Bobinado de 4 polos - 4 medidas de bobinas.

24 ranuras, 4 polos, 3 fases, 12 bobinas
Polo consecutivo, cada lado de grupo es un polo

FIG. 3.12 TIPO DE TORRE DO CONG. TORRE DO EN CADEIA



Este es un bobinado de tres capas. Conexión de polo saliente .
36 ranuras - 4 polos trifásico 18 bobinas de 2 medidas.

FIG. 3.13 BOBINADO TRIFÁSICO 3 PÓLOS, CICLO 3, 36 RANURAS
TRIFÁSICO

Número de ranura

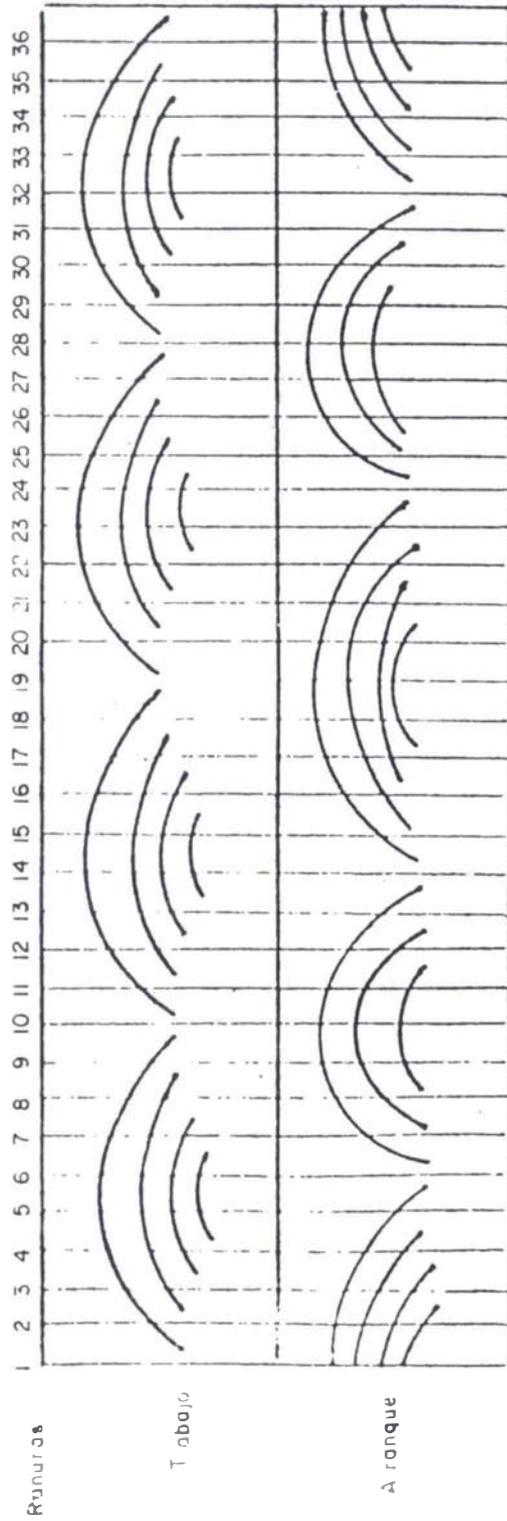
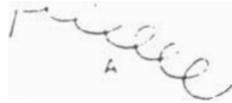
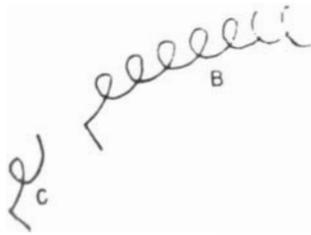


FIG. 3.14 DIAGRAMA DE PASOS PARA UN MOTOR DE 4 POLOS Y 36 RAMBLAS. LAS DE P.S. COMPLETO SON 100% EFECTIVAS LAS DE P.S. 1/2 SON 50% EFECTIVAS.

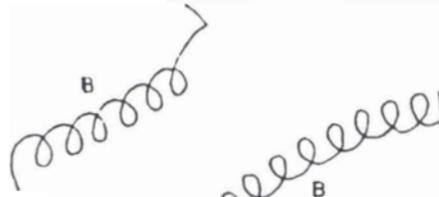
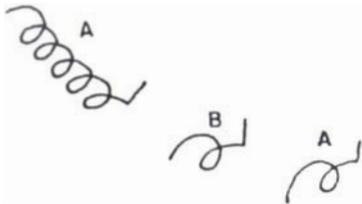


Grupos y bobinas
Esparcidas en el sitio
antes de conectarlo



2 polos, 3 fases
(6 grupos)

Ocasionalmente bobinas simples son usadas
en ambos extremos del grupo
Aqui se muestra en un solo extremo



Se usamos un motor de 36 ranuras, 3 fases,
de acuerdo a lo FIG. 4.24, esto da
5 bobinas por polo por fase (grupo)
5 bobinas y 1 bobina, como se muestra
se usaron para el bobinado. O, 1 bobina,
bobinas, todos alrededor como se menciono
arriba.

Grupo de polo por fase conectado
a bobinas simple listo para
una completo empleado.

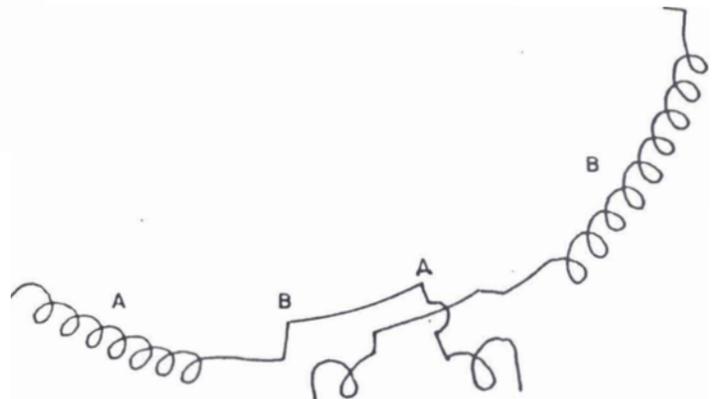
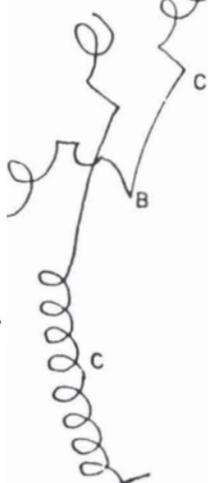
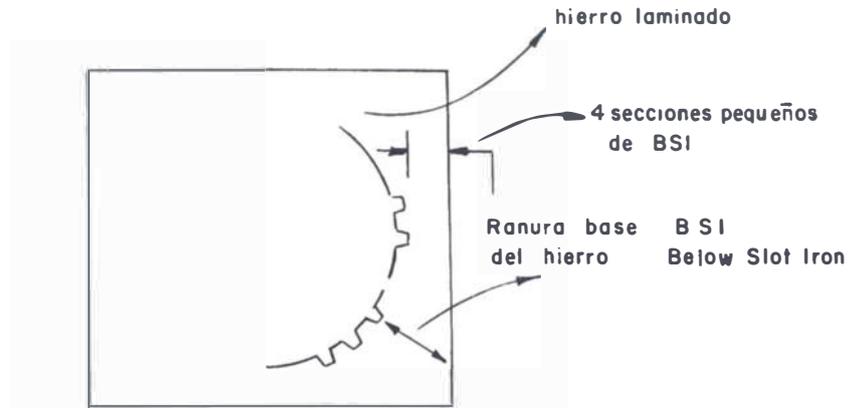


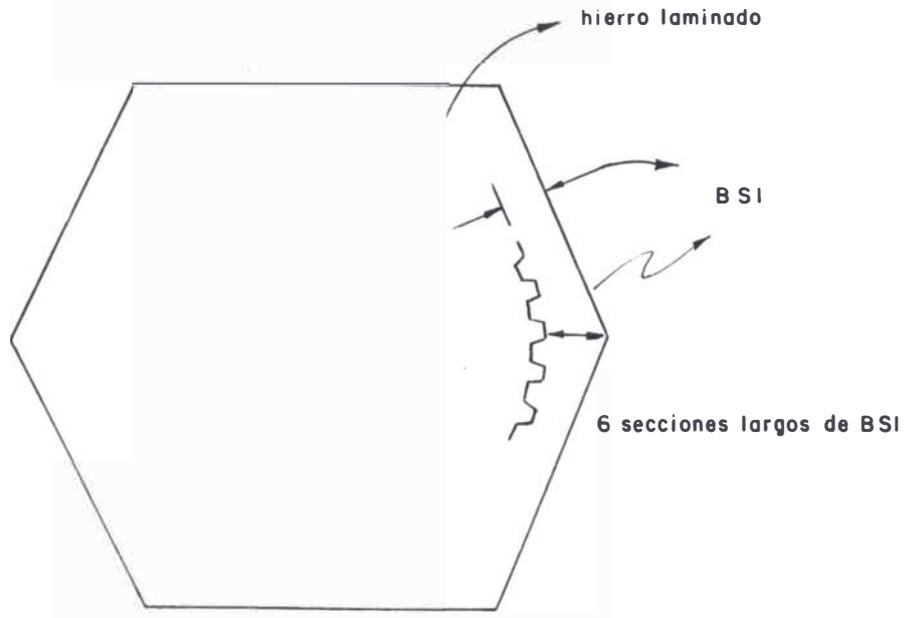
Fig. 3.15 BOBINADO ESPARCIDO



FRAME CUADRADO (Puede causar problemas con 6 polos)

(a)

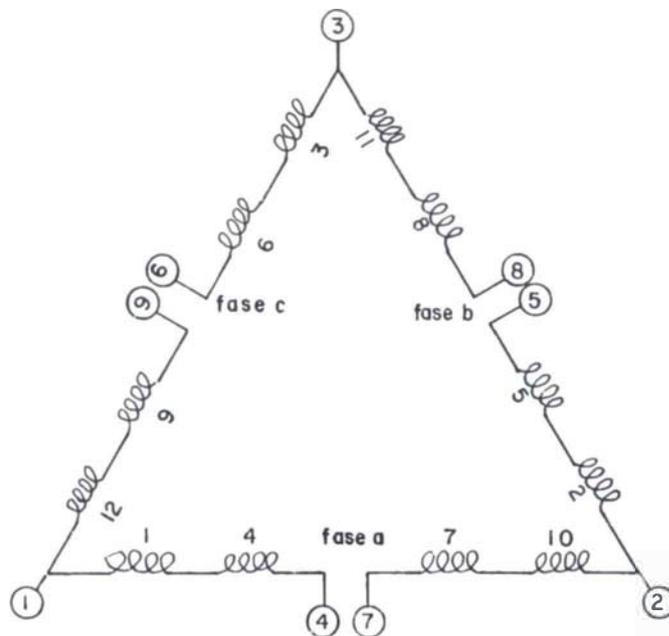
PARA EL REDISEÑO EL BSI DEBE SER MEDIDO EN EL PUNTO MINIMO.



FRAME HEXAGONAL (Puede tener problemas con 4 polos)

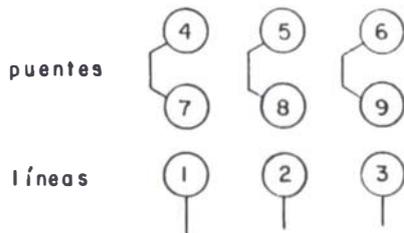
(b)

Fig. 3.16 DESIGUALES RANURAS BASES DEL HIERRO " BSI " (Below Slot Iron) PUEDEN CAUSAR SERIOS DESBALANÇES EN LA CORRIENTE Y SOBRECALENTAMIENTO.

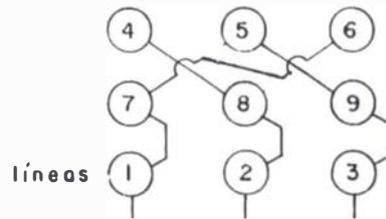


- prueba
- ① - ④ - ⑨
 - ② - ⑤ - ⑦
 - ③ - ⑥ - ⑧

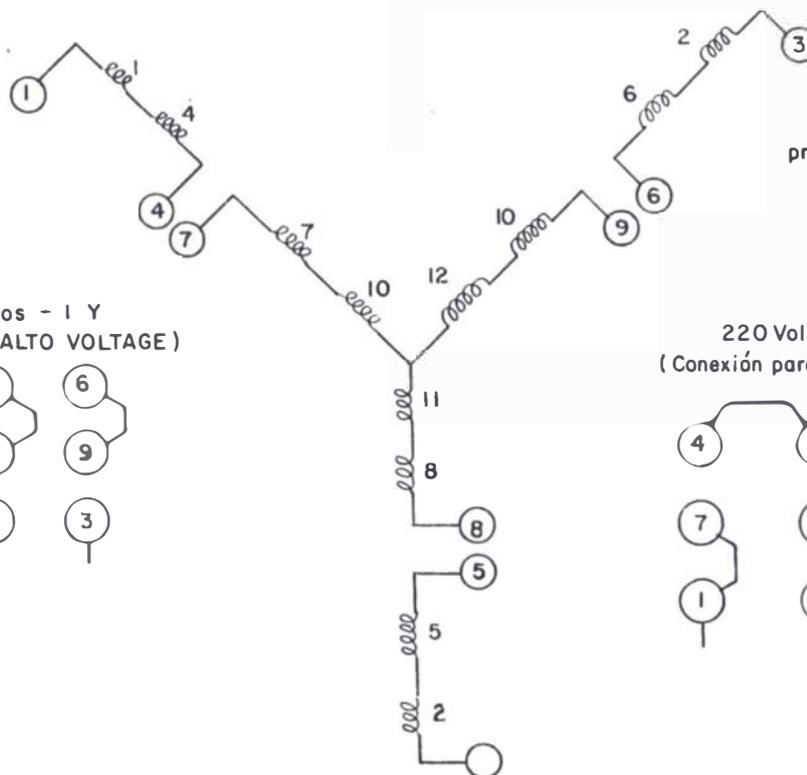
440 Voltios - 1Δ
(Conexion para ALTO VOLTAGE)



220 Voltios - 2Δ
(Conexion para BAJO VOLTAGE)

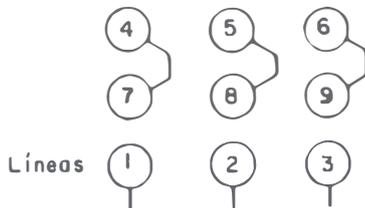


(a)

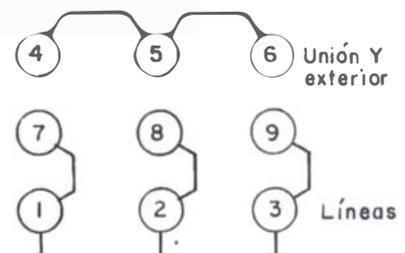


- prueba
- ① - ④
 - ② - ⑤
 - ③ - ⑥
 - ⑦ - ⑧ - ⑨

440 Voltios - 1Y
(Conexion para ALTO VOLTAGE)



220 Voltios - 2Y
(Conexion para BAJO VOLTAGE)



(b)

Fig. 3.17 CONEXION PARA DOBLE VOLTAGE , DELTA , ESTRELLA

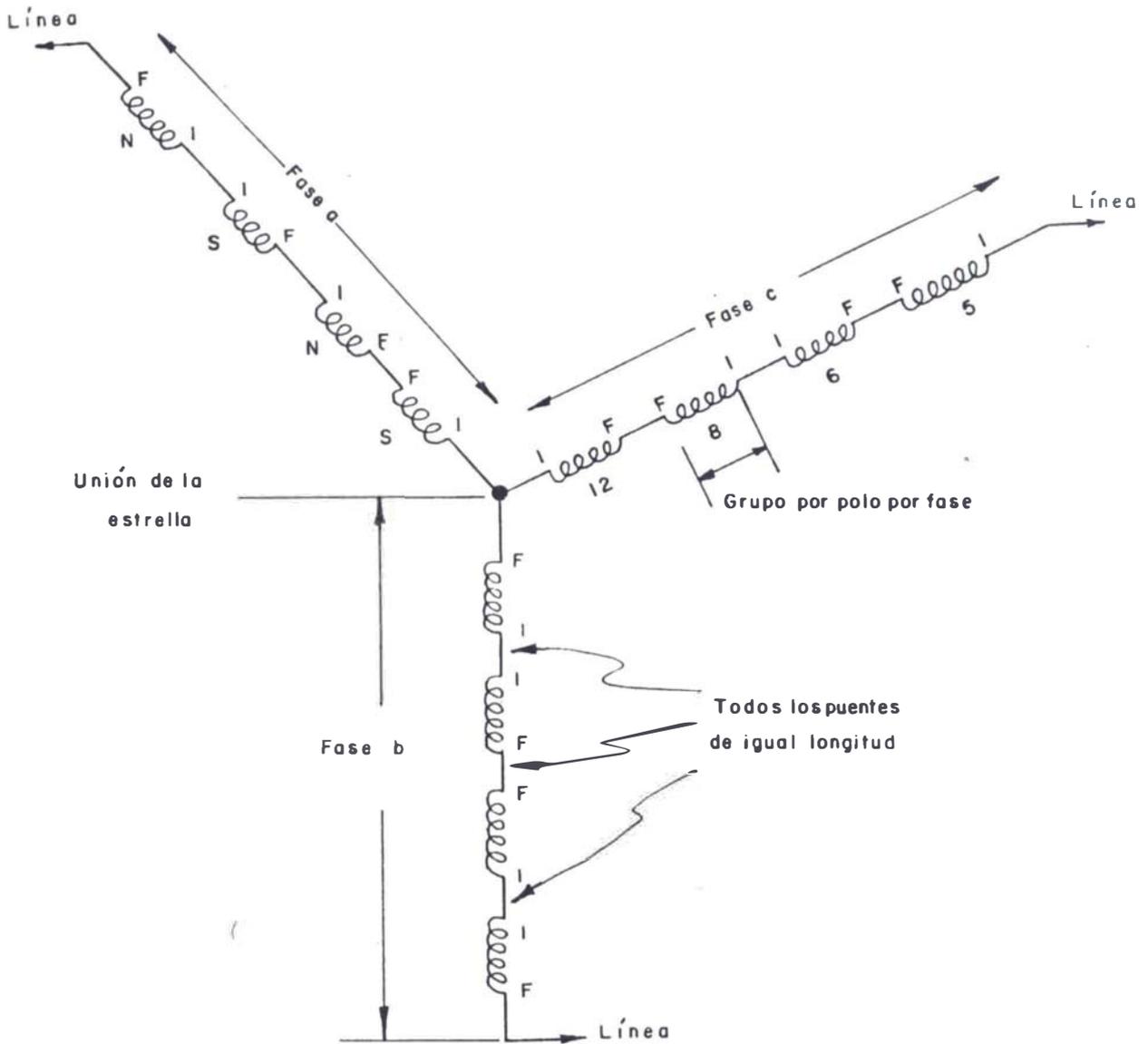


Fig. 3.18 CONEXION TIPICA ESTRELLA USANDO PUENTES CORTOS (CONEXION 1-4)

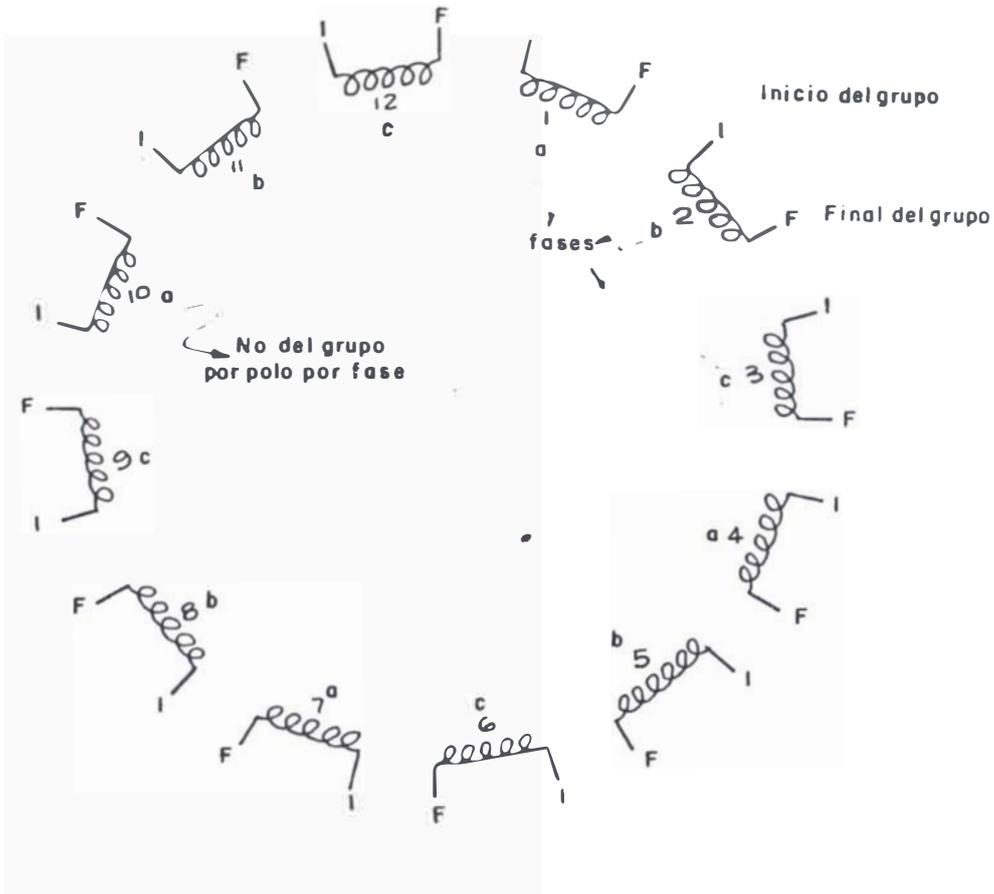


Fig. 3.19 BOBINADO TRIFASICO DE 4 POLOS MOSTRANDO TODOS LOS GRUPOS LISTOS A CONECTAR

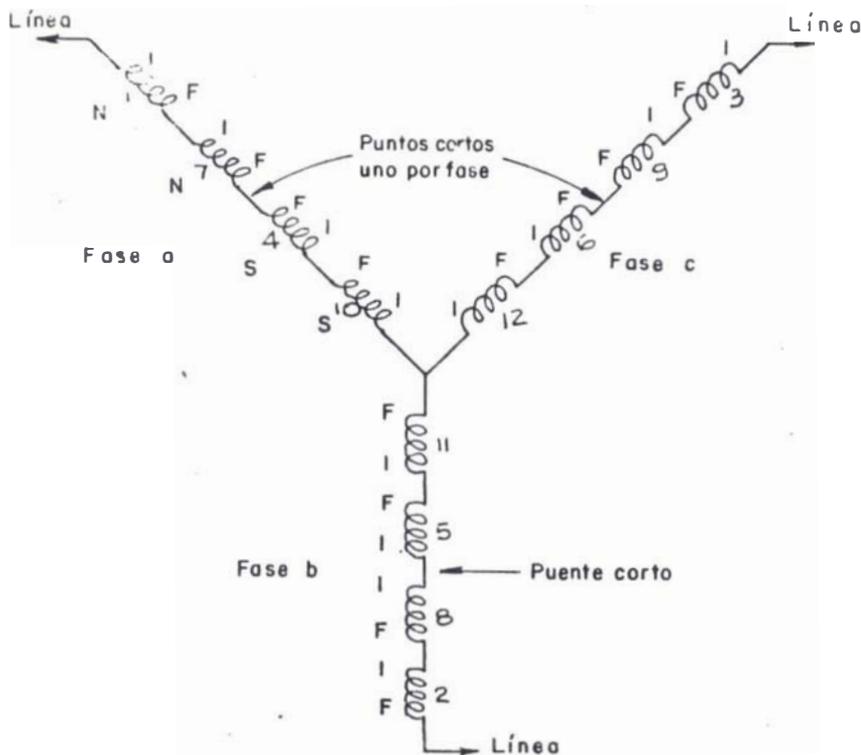


Fig. 3.20 CONEXION TIPICA ESTRELLA USANDO PUENTES TIPO 1-7

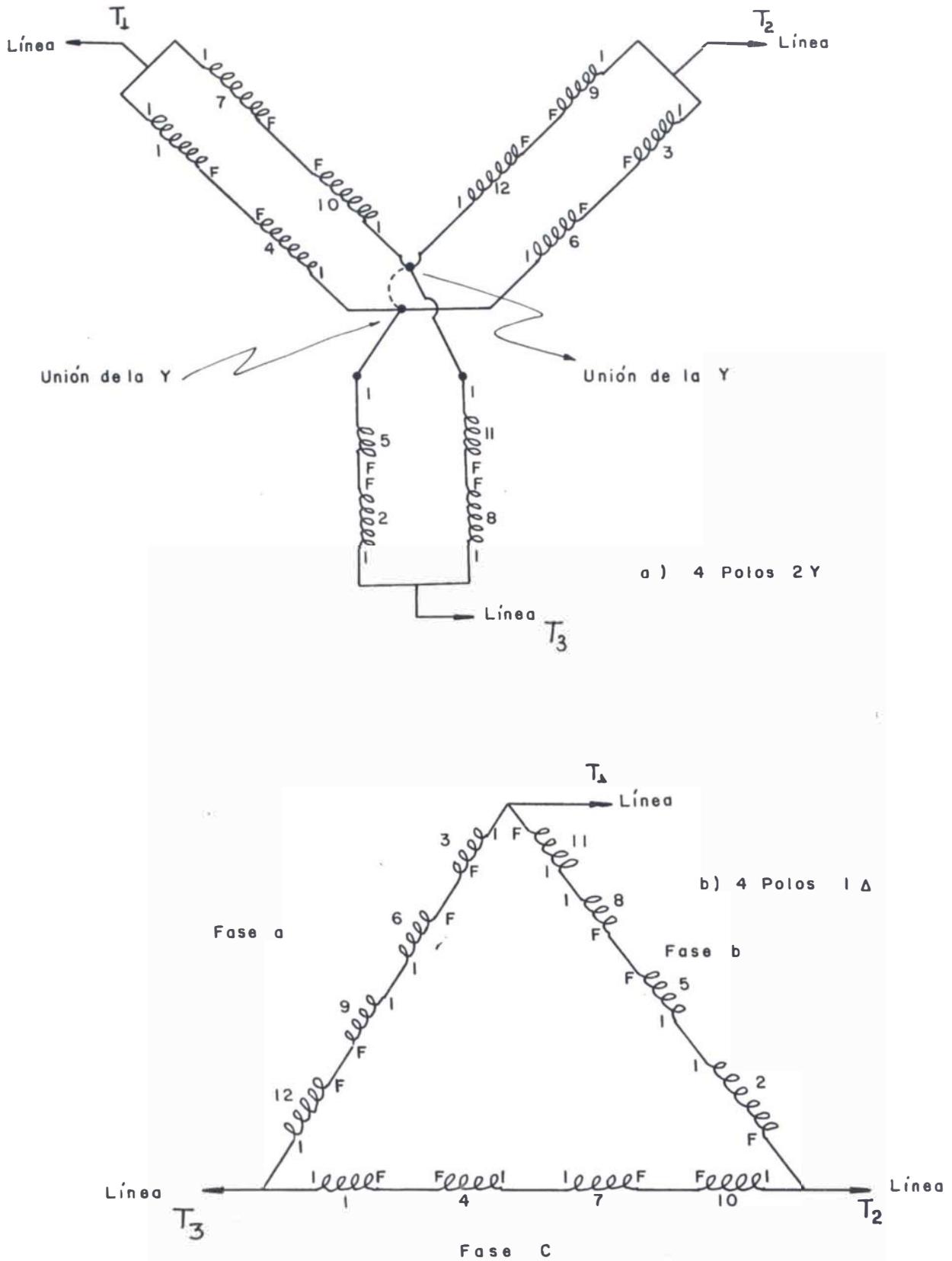
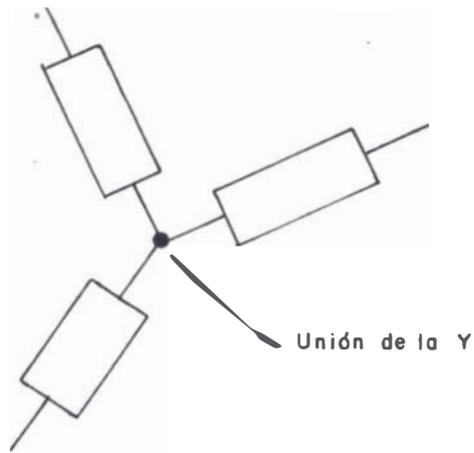


Fig. 3.21 CONEXION DE 4 POLOS, 2 ESTRELLAS Y 1 DELTA

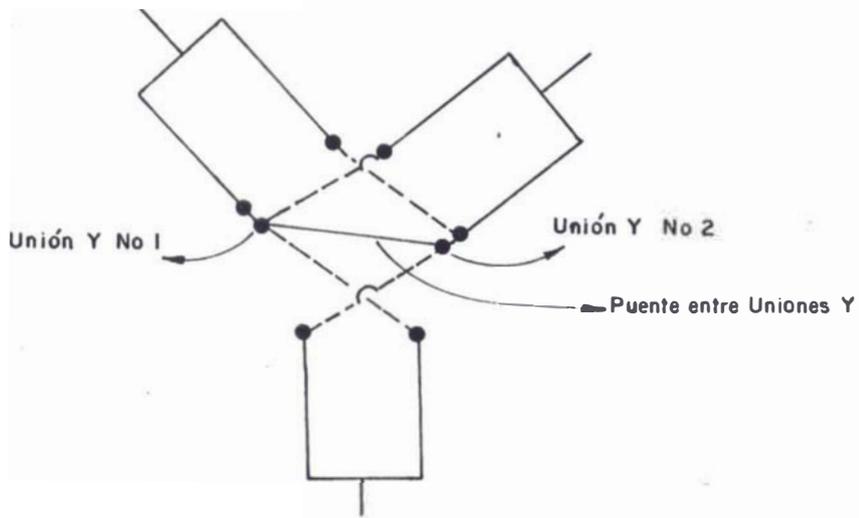
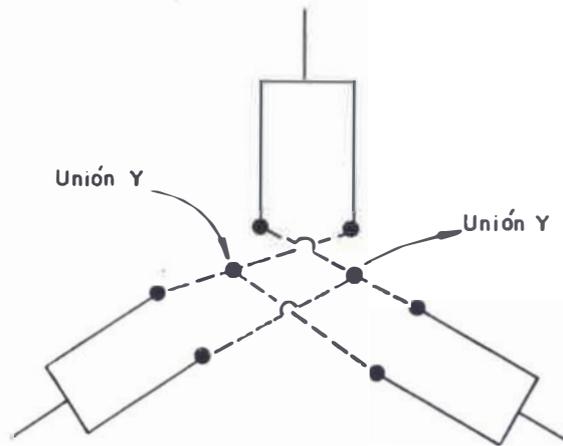


(a)

ESTA UNION PUEDE PARECER
UNA UNION DE 3 O 4 UNIONES Y

(b)

UNIONES Y SEPARADAS



(c)

Fig. 3.22 VARIOS TIPOS DE CONEXIONES, DE UNIONES ESTRELLAS

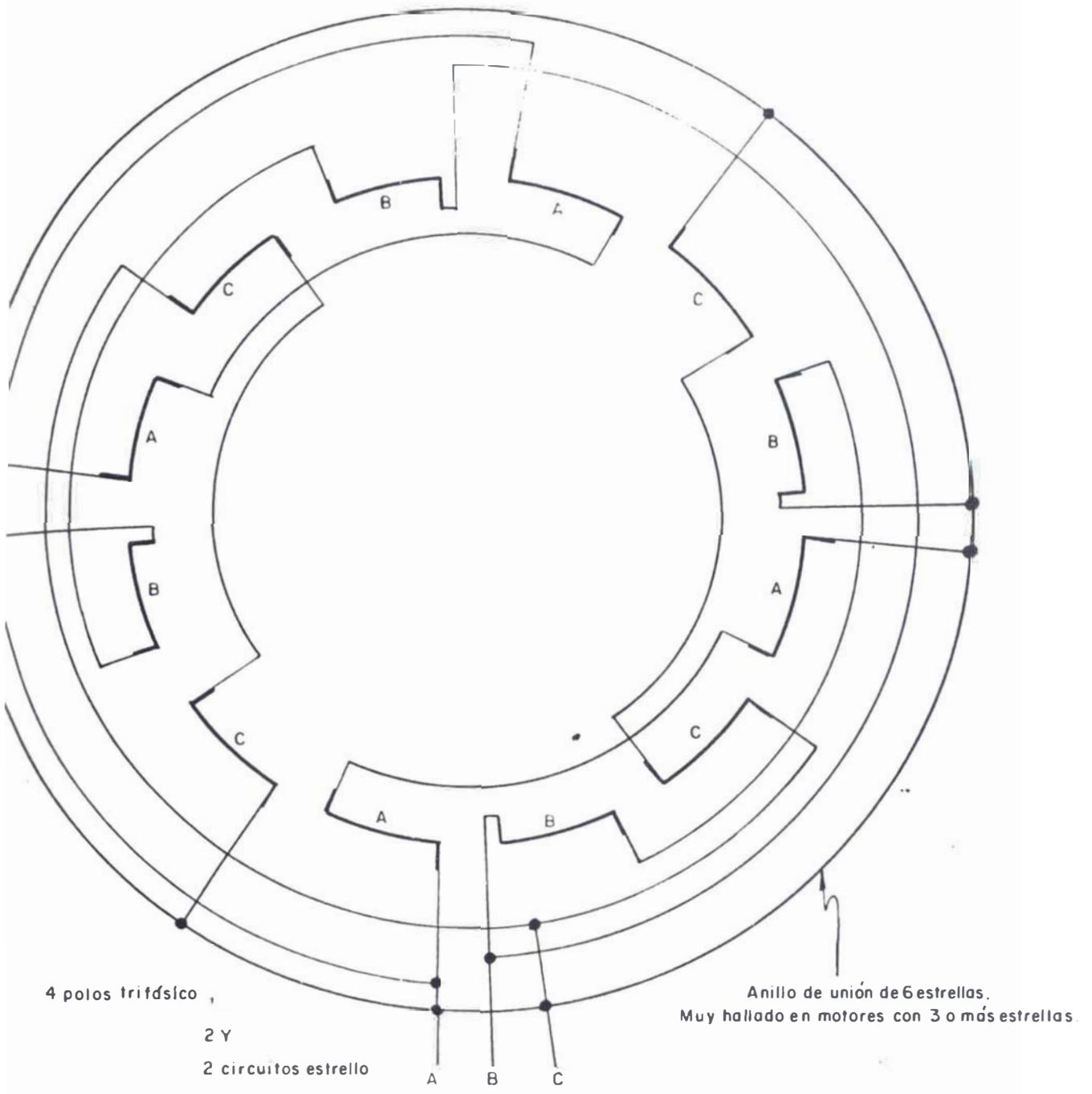


Fig. 3.23 ANILLO DE CONEXION DE LAS UNIONES DE ESTRELLA

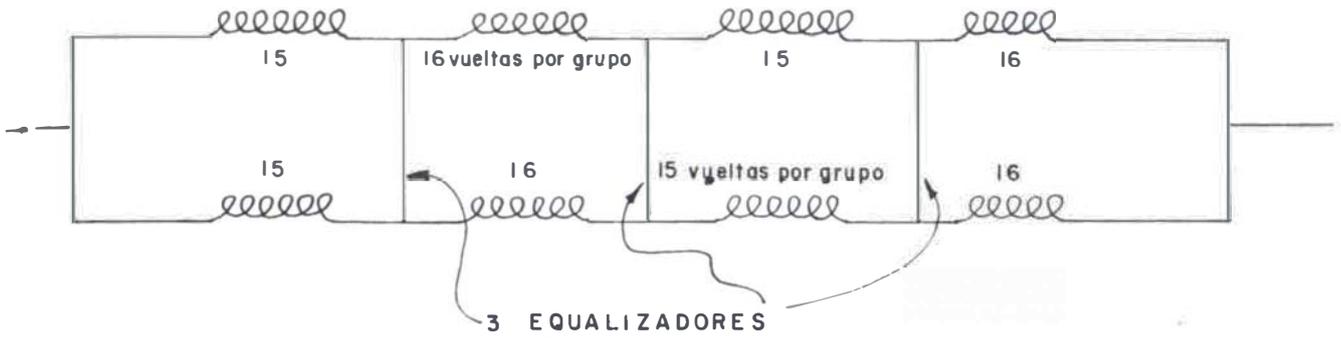


Fig. 3.24 EQUALIZADORES EN UN MOTOR CON DIFERENTES VUELTAS POR GRUPO

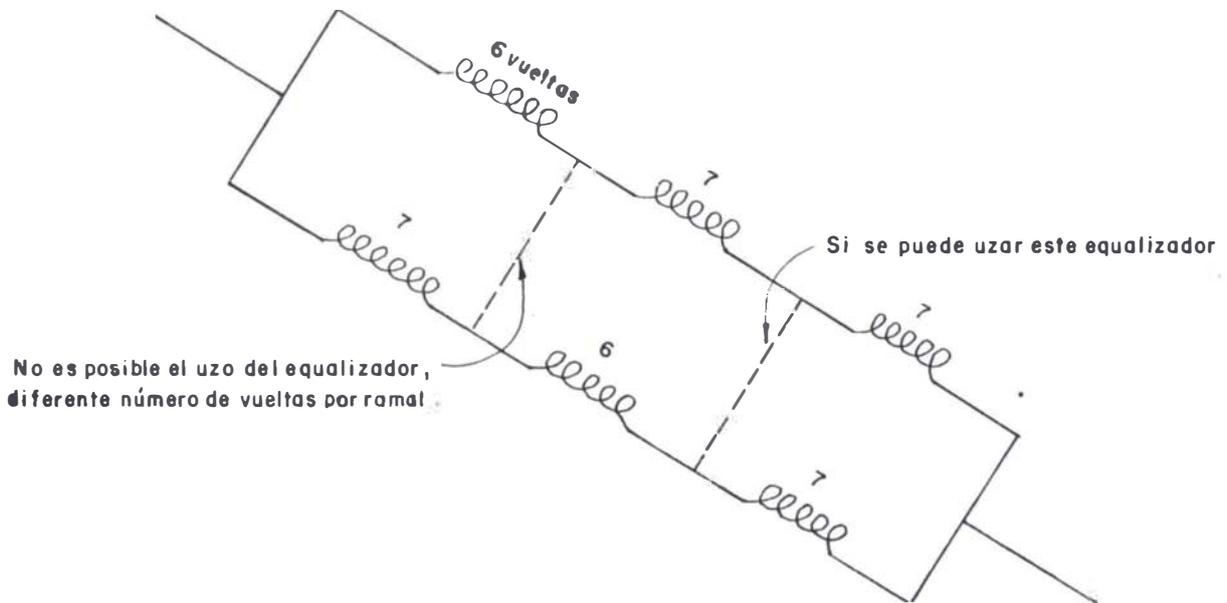
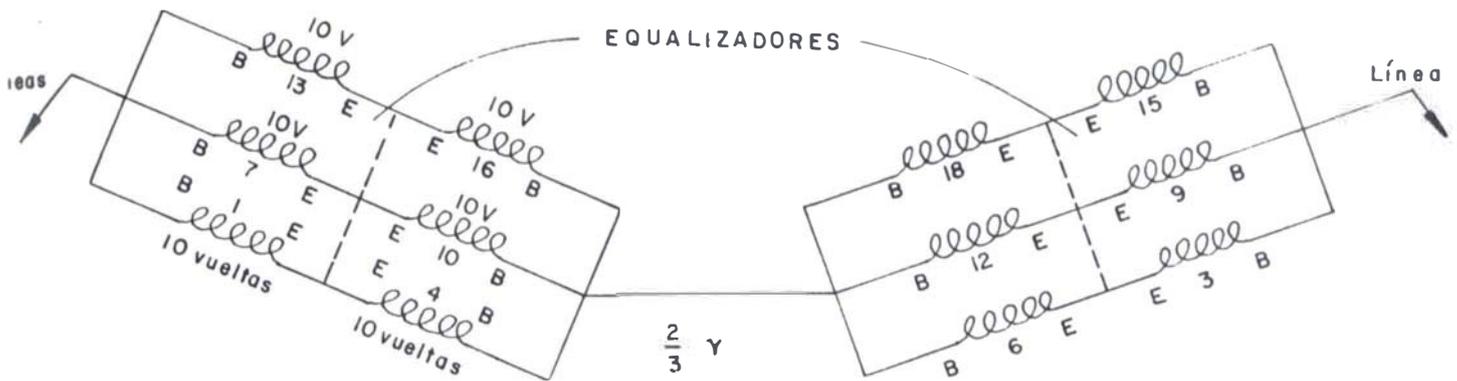


Fig. 3.25 EQUALIZADORES QUE NO DEBEN SER REALIZADOS



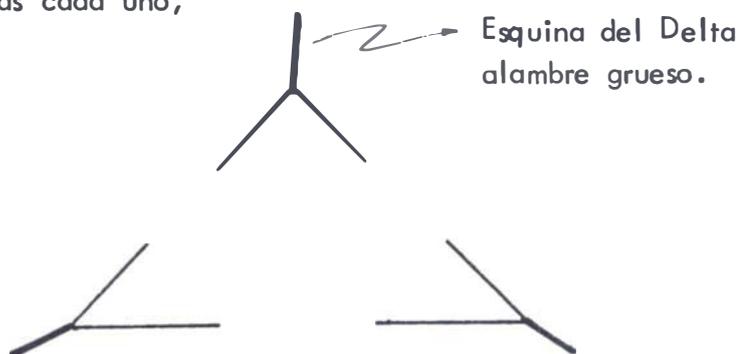
Nótese que faltan los grupos
2, 5, 8, 11, 14 y 17

(Esto sería la fase B en un bobinado trifásico)

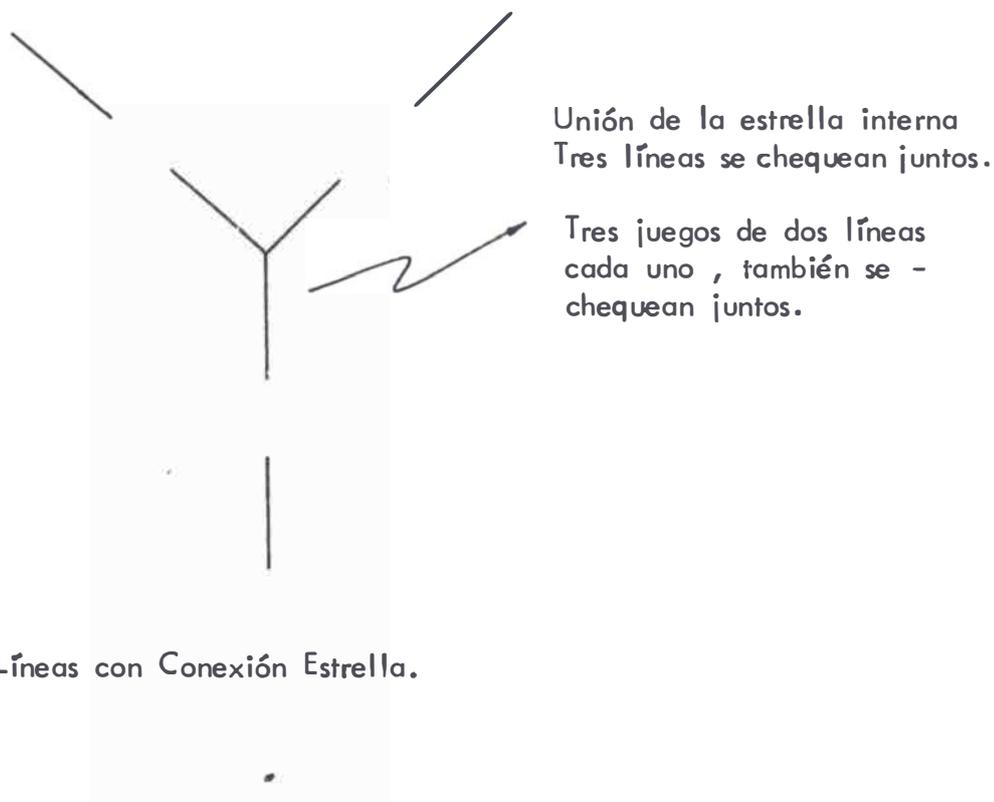
NOTA : Los grupos que están faltando, causan
remoras vacías o semivacías.
Esto es correcto en bobinados monofásicos.

Fig. 3.26 BOBINADO DE UN GENERADOR MONOFÁSICO CON
EQUALIZADORES Y $\frac{2}{3}$ DE LA UNIÓN DE LA
ESTRELLA

Tres juegos de 3 líneas cada uno, se chequean juntos.



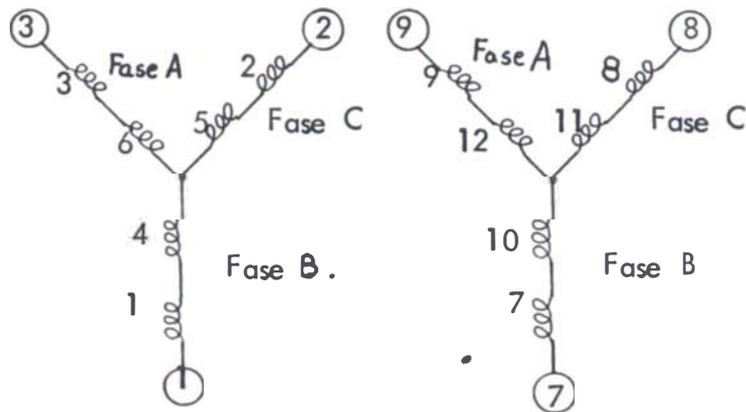
a) Nueve Líneas con Conexión Delta.



b) Nueve Líneas con Conexión Estrella.

Fig. 3.27 CONEXION INTERNA ESTRELLA O DELTA DE 9 LINEAS

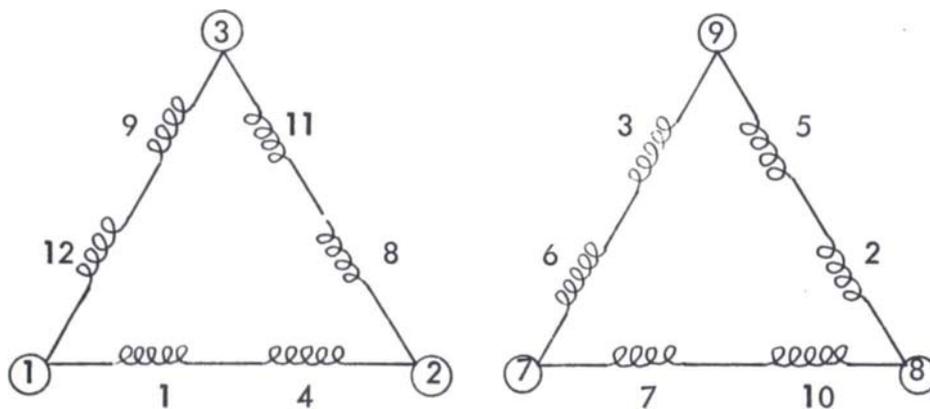
Arranque a Bobinado Parcial de 4 Polos - 6 Líneas Y - Y Conexión.



- a) 1, 2 y 3 son energizados por un contactor de tres polos. Luego con otro contactor de 3 polos , 7 es unido a 1 ; 8 es unido a 2 y 9 - es unido a 3.
- b) Para el arranque a 2/3 se usa un contactor de 4 polos que energiza 1 , 8 y 3 + 9 , luego 2 es unido a 8 y 7 es unido a 1 usando otro contactor de 2 polos.

Fig. 3.28

Arranque a Bobinado Parcial de 4 Polos - 6 Líneas.



Conexión Delta - Delta.

Fig. 3.29

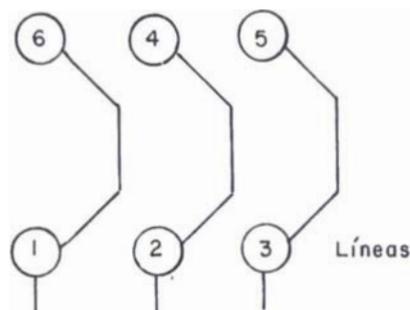
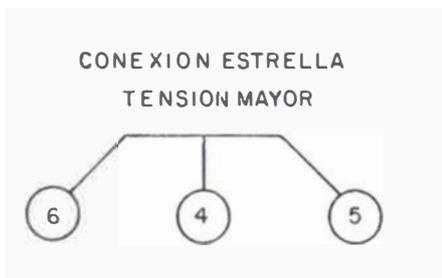
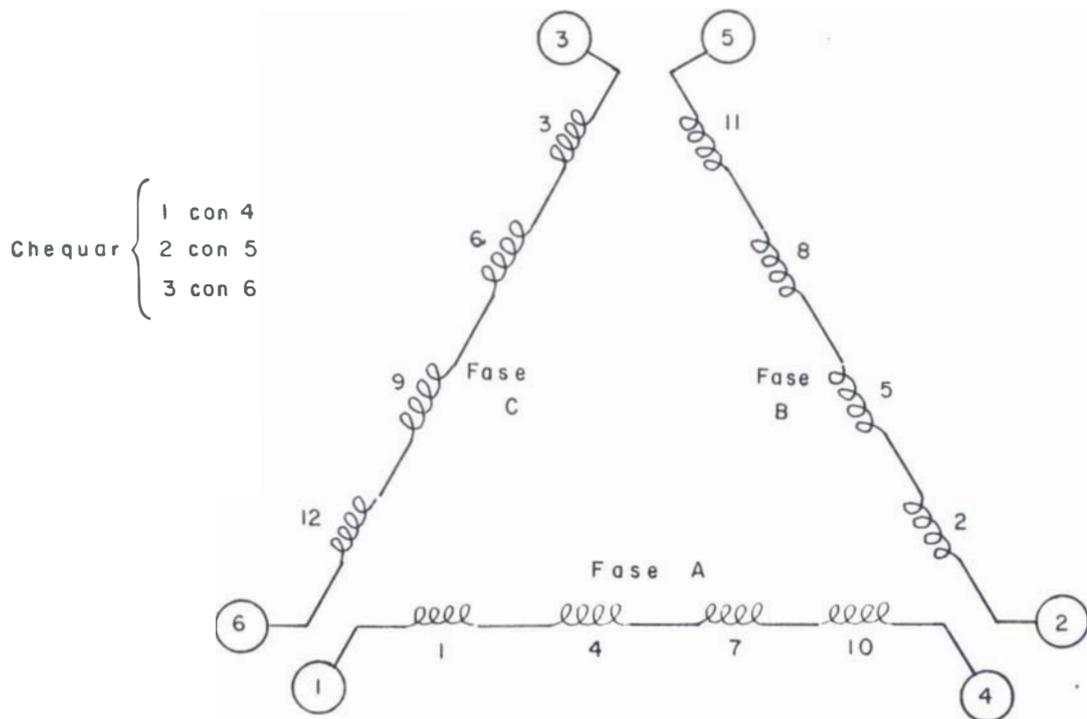
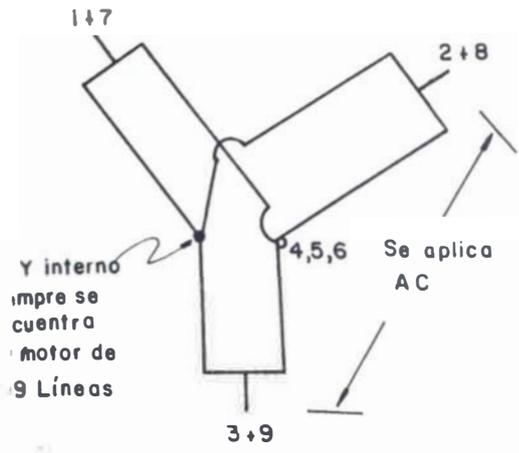
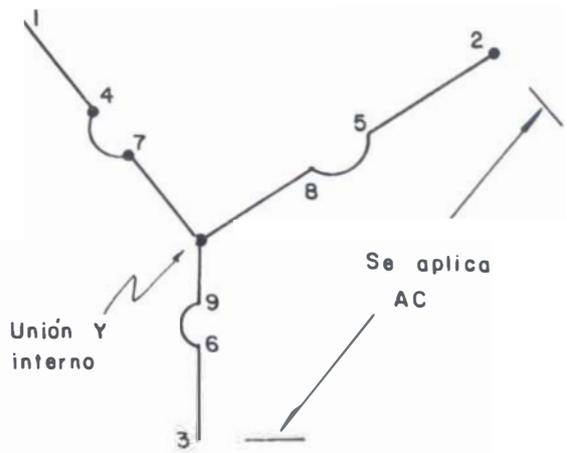


Fig. 3.32 MAQUINA DE 4 POLOS , SEIS LINEAS CONEXION ESTRELLA O DELTA



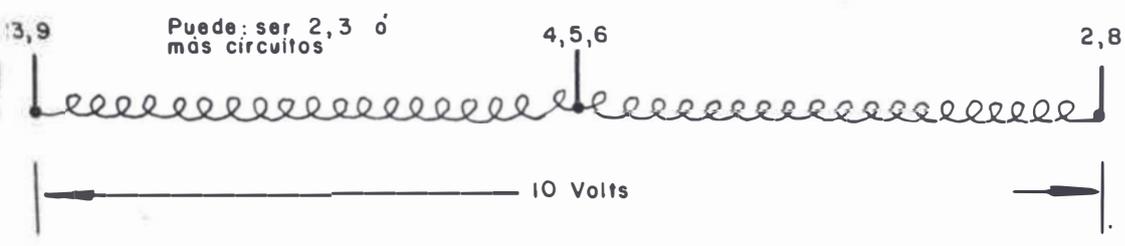
(a) 2Y Bajo Voltaje



(b) 1Y Alto Voltaje

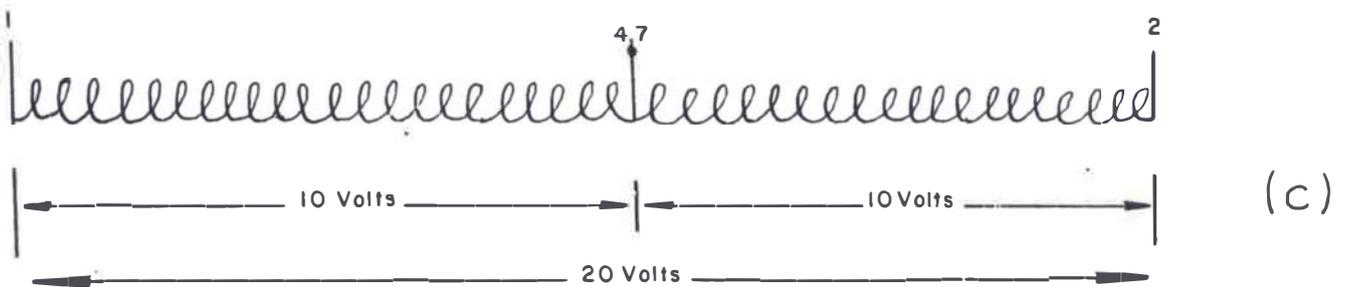
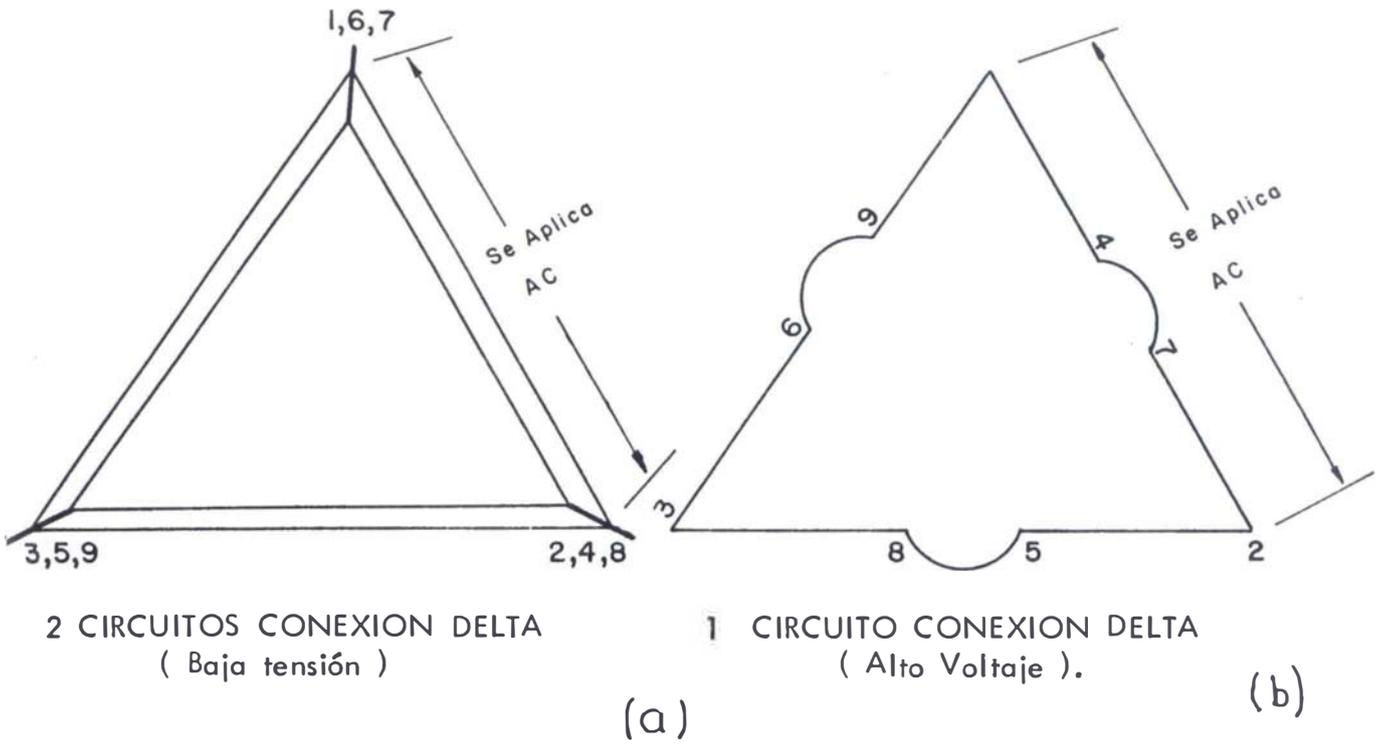


(c)



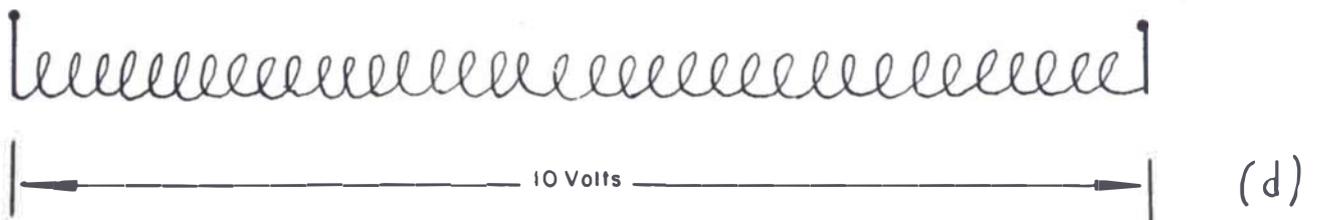
(d) 2 foses en serie de 2 o más circuitos conexión Y

Fig. 3.33 CHEQUEO DE UN MOTOR DE 9 LINEAS CONEXION "Y" CON TENSION DE BAJO VALOR



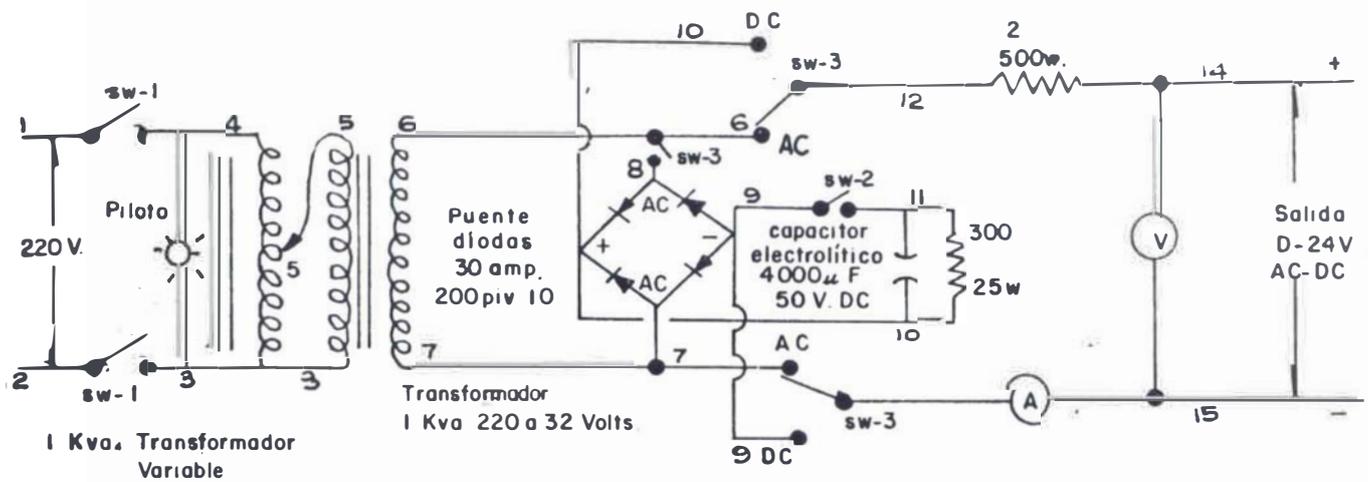
Una Fase de Una Conexión Delta , un circuito.
Voltajes aproximados.

Este puede ser 2 ó más circuitos.



Una Fase de 2 ó más circuitos Delta.

Fig. 3.34 CHEQUEO DE UN MOTOR DE 9 LINEAS CONEXION DELTA
CON TENSION DE BAJO VALOR



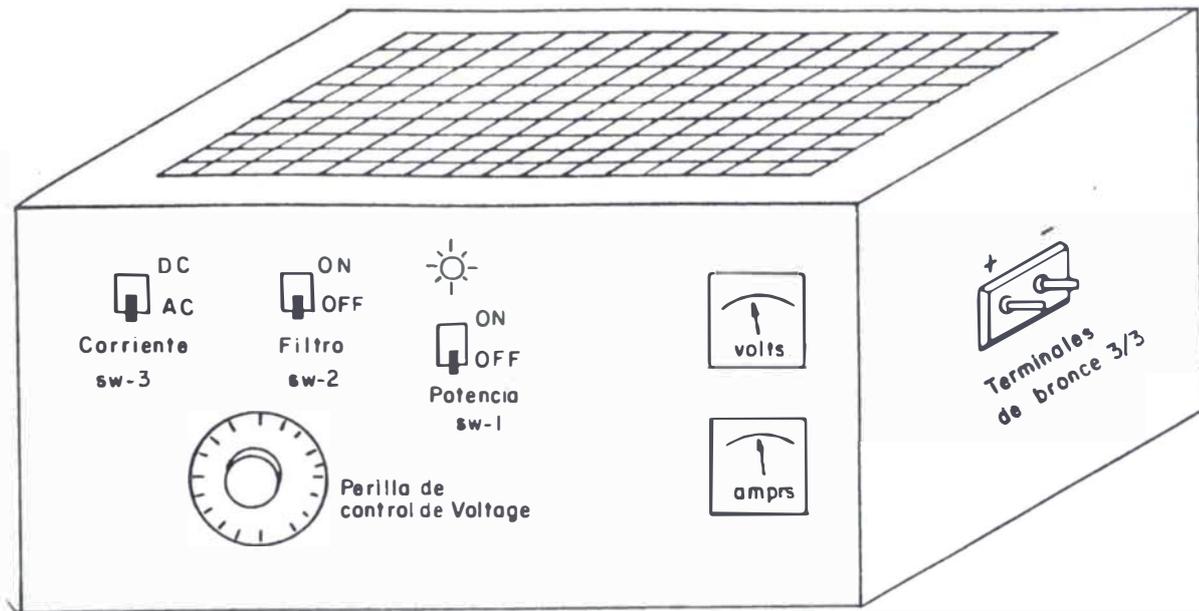
LISTA DE PARTES

CANTIDAD

DESCRIPCION

1	Transformador de Tensión variable de 1 Kva
1	Transformador de dos bobinas de Kva de 220/32 V
1	Puente rectificador de silicio, diodos de 30amp. y 200 piv
2	Switches de 20amp de dos polo de una sala vía, (sw-1, sw-2)
1	Switch de 20 amp de 3 polos doble vía
1	Condensador electrolítico de 4000 mfd. 50 Volts. DC.
1	Resistencia de 300 ohms y 25 vatios.
1	Resistencia de 2 ohms y 500 vatios.
1	Voltímetro de hierro móvil de 0-50 voltios AC
1	Amperímetro de hierro móvil de 0-25 amp. AC
1	Lámpara piloto de Neón
1	Gabinete
1	Block terminal de entrada
1	Lámina aislada con 2 pernos de 3/8" de bronce marcados con + (positivo) y - (negativo)

Fig. 3.35a DETALLES DE UNA FUENTE DE PODER PARA CUEQUEAR BOBINADOS EN AC



OPERACION

- 1 - Coloque lo perillo de control en cero luego muevo el switch de potencia (SW-1) a ON. SW-2 y SW-3 deben estar en OFF.
- 2.- Para salida en AC mueva el swith de corriente (SW-3) a AC. Moviendo la perilla de control el voltoge se puede variar a cualquier volar . Si las solidas eston conectadas al motor prueba, observe solamente el amperímetro. Aplique solamente corriente suficiente para la prueba.
- 3.- Para alto rizado en DC, muevo el switch de corriente (SW-3) a posición DC.
- 4.- Para bajo rizado, conecte el switch del filtro (SW-2) juntamente con el DC del peso anterior. Ahora lo solido está para lo pruebo de la brújula u otro tipo donde un bajo rizado es necesario.

Fig. 3.35b CONTINUACION DE LOS DETALLES

Interior del Estator

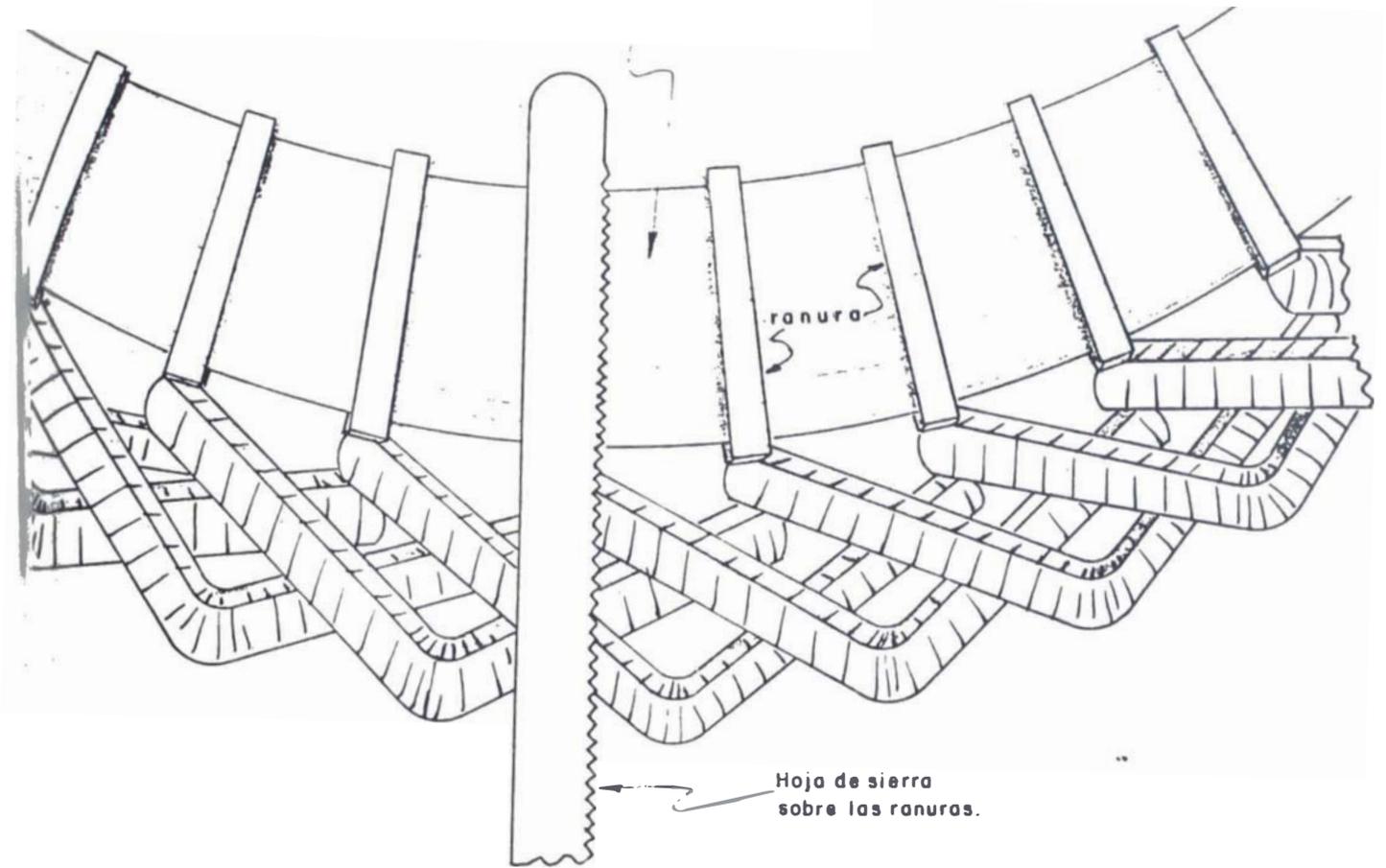
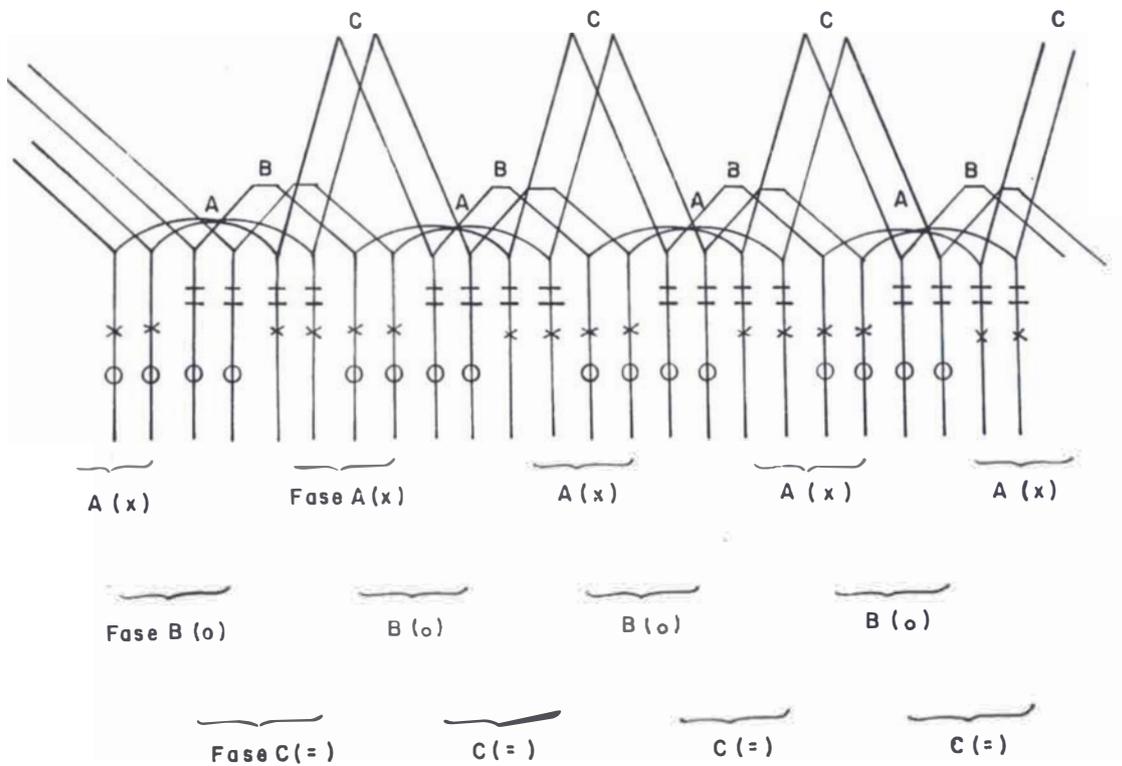


Fig. 3.36 CHEQUEO DEL NUMERO DE POLO CON TENSION DC

Cuando dos ramales son energizadas con DC , las marcas con tizas de colores resultaran como se muestra en el gráfico.



De las marcas con tizas deducimos que es un estator de 4 polos.

Fig. 3.37 SEÑALIZACION DE UN ESTATOR USANDO EXCITACION "DC"

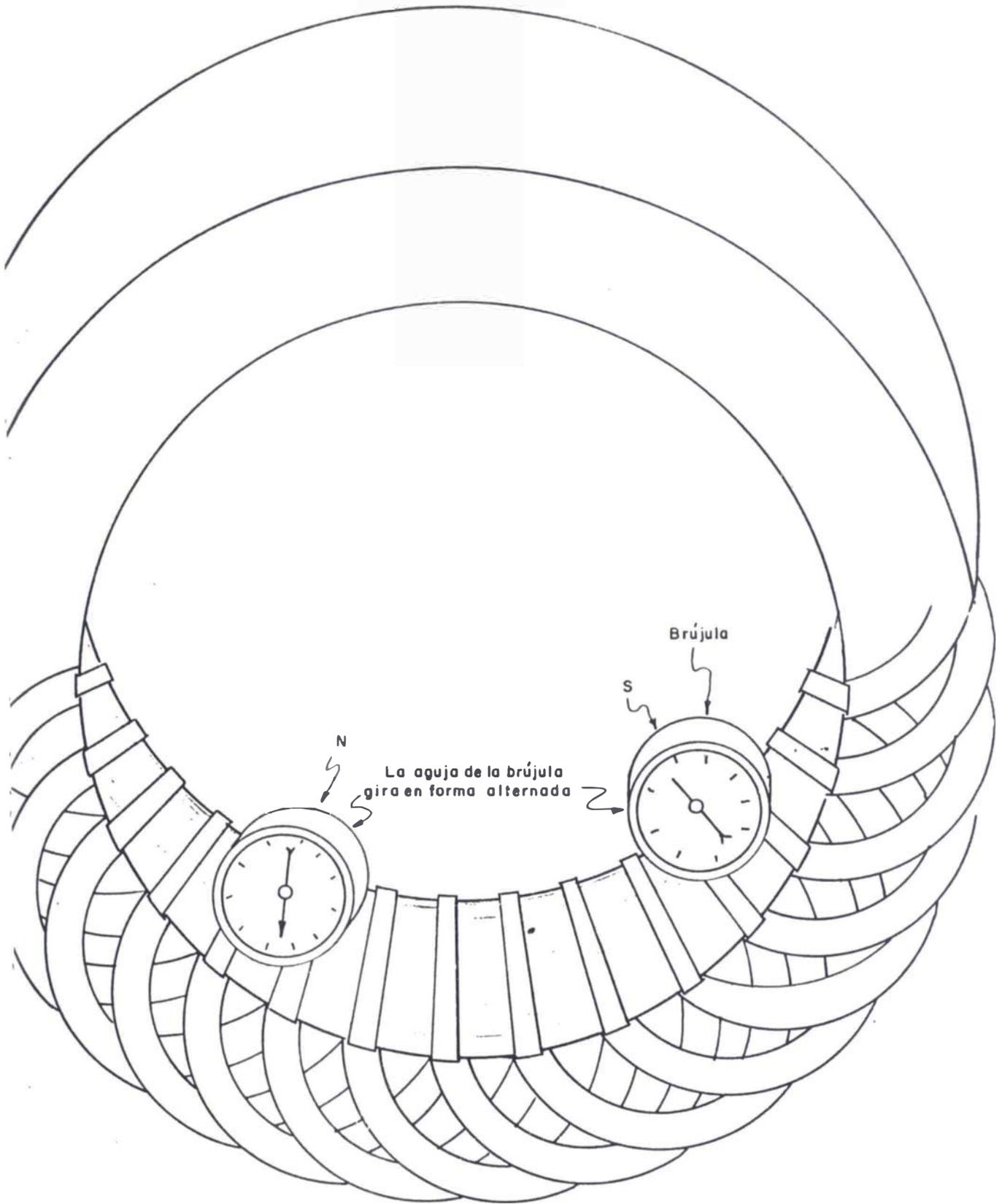
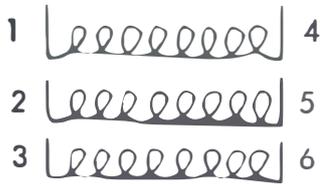
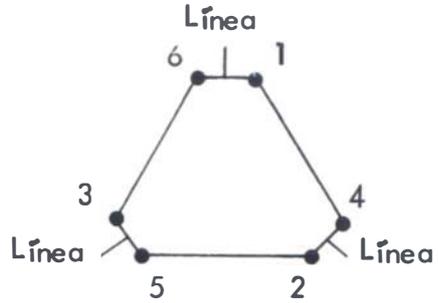


Fig. 3.38 METODO DE PRU BA DE LA BRUJULA CON BAJO VOLTAGE DC

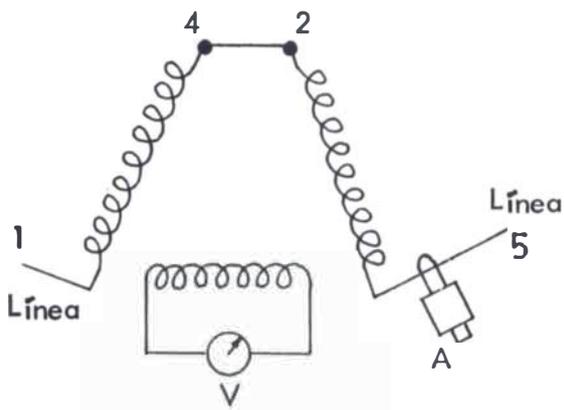


Esta numeración que mas se prefiere.



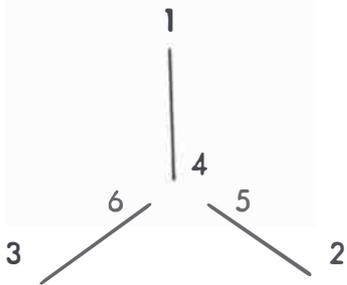
Tres juegos de dos líneas cada uno , unidos como se muestran.

(a)



(b)

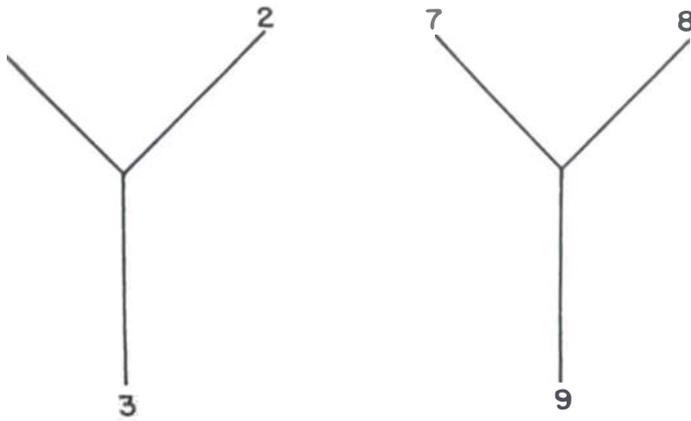
Con la conexión correcta , el voltímetro leera alrededor de $1/6$ a $1/20$ del valor de entrada. El amperímetro leerá un valor más alto que en la conexión incorrecta. Con conexión incorrecta el voltímetro leerá un valor cercano a cero. El amperímetro leerá un valor bajo.



(c)

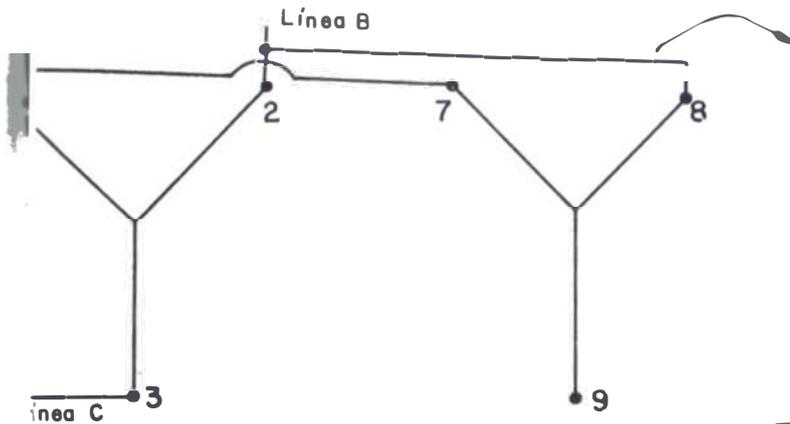
Conexión correcta para un circuito estrella simple , luego que la prueba se ha realizado y numerado apropiadamente.

Fig. 3.39 DEBITOS PARA LA PRUEBA DE UN BORNADO DE 6 LINEAS.



Motor de seis líneas, doble estrella
 Numérese cada juego de tres, chequeése en forma arbitraria.
 Un juego 1, 2, 3
 Otro juego 7, 8, 9

(a)



Primera prueba únase 1-7, 2-8,
 Aplicando 110 Volts. 3 Ø, léase la
 corriente de entrada en cada uno
 de los tres ramales.

Segunda prueba Unase 1-8, 2-7
 En el cuadro interior se da las po-
 sibles combinaciones

- Si el motor funciona con 1Y (mitad
 del bobinado) entonces al añadir la
 segunda estrella se doblará los am-
 perios de entrada.

- Si el motor no funciona con 1Y -
 entonces la lectura de los amperios
 no tendrán valor hasta encontrar la
 combinación correcta.

- Los amperios serán al rededor de la ter-
 cera parte de la plena carga.

- Una vez encontrada la combinación co-
 rrecta se debe renumerar las líneas en
 forma correcta.

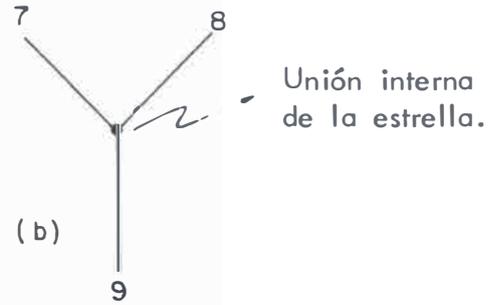
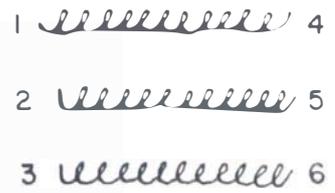
debe unirse a 7
 2 debe unirse a 8 y
 3 debe unirse a 9 para la 2Y

(b)

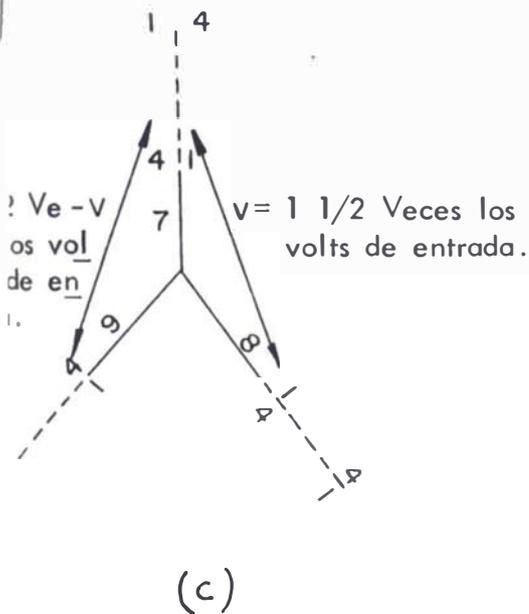
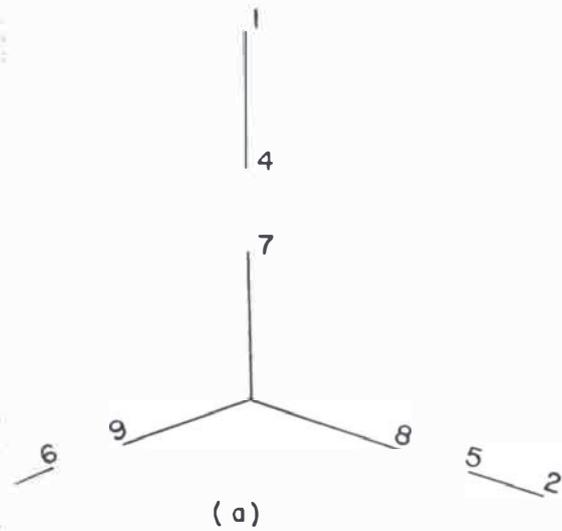
1 - 7	2 - 8	3 - 9
1 - 7	2 - 9	3 - 8
1 - 8	2 - 9	3 - 7
1 - 8	2 - 7	3 - 9
1 - 9	2 - 8	3 - 7
1 - 9	2 - 7	3 - 8

Posibles Combinaciones

Fig. 3.40 CHEQUEO DE UN 2Y PARA HALLAR LA CONEXION CORRECTA.



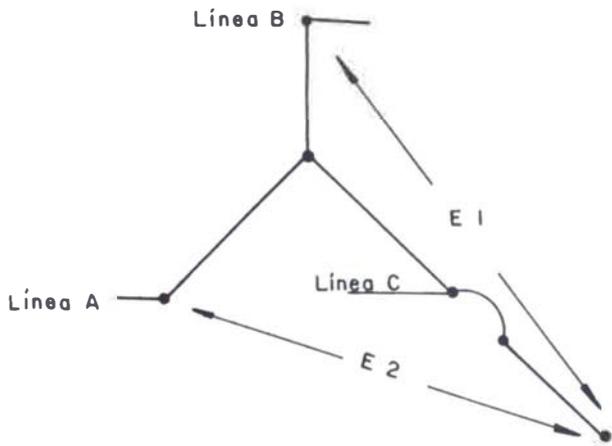
Conexión típica de un motor de 9 líneas (estrella) y se debe chequear juntos 3 juegos de 2 líneas, 1-4, 2-5 y 3-6 y un juego de 3 líneas. 7, 8 y 9 se chequean juntos.



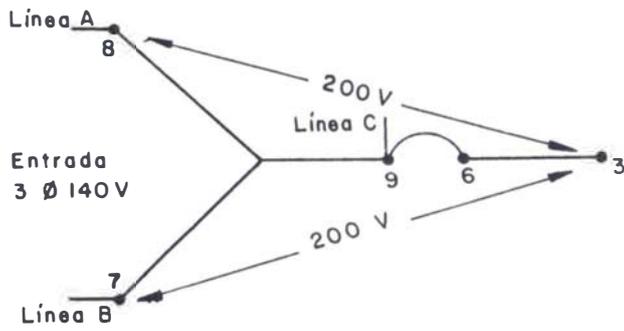
Aplíquese 1/2 tensión de placa a los puntos 7, 8 y 9. Conéctese 1 y 4 como muestran las líneas punteadas. Cada vez que el bobinado 1 a 4 es unido como se muestra lea la tensión entre las líneas no conectadas. Por ejm. Una 7 a 1, y lea entre 9 a 4, 8 a 4 (Ver la flecha de dos puntos marcada V) Cuando se obtiene dos tensiones aproximadamente iguales a 1 1/2 veces, la tensión de entrada, esto quiere decir que la conexión de las líneas es la correcta. Deje esta conexión y trate los dos siguientes juegos numerados de la misma forma. Vease que el 7 puede ser unido al # 1 ó # 4, esto puede suceder cuando las líneas no están marcadas y uno lo numera, renumere correctamente y verifique conectando para un circuito paralelo y arranqué el motor.

Fig. 3.41 CONEXIÓN DE UN MOTOR DE 9 LÍNEAS CON LOS TRES TERMINALES

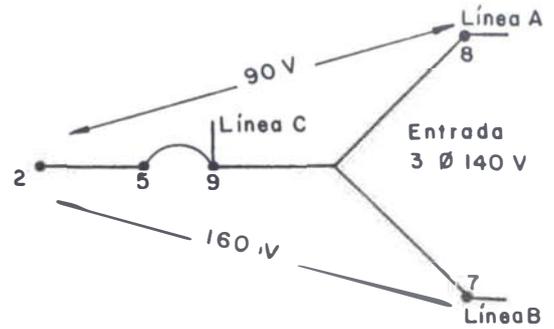
E_1 y E_2 deben ser voltajes iguales y alrededor de 1.5 veces la entrada entre líneas.



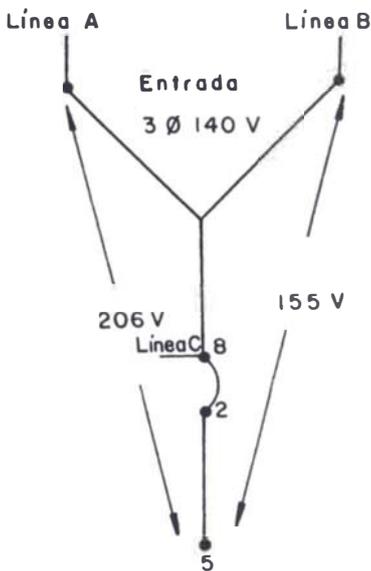
(a)



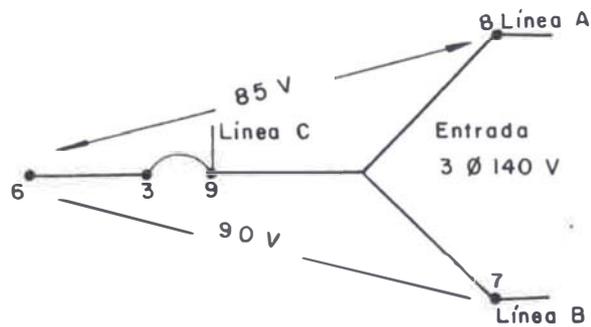
(b) Conexión Correcta



(c) 5 y 2 son de diferentes fases.



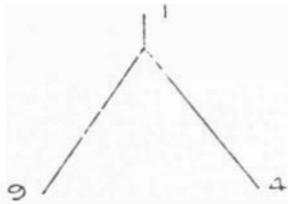
(e) Fase incorrecta



3 y 6 están invertidas.

(f) Fase incorrecta

FIG. 3.42 VOLTAJES RESULTANTES Y VARIAS CONEXIONES DE FASES

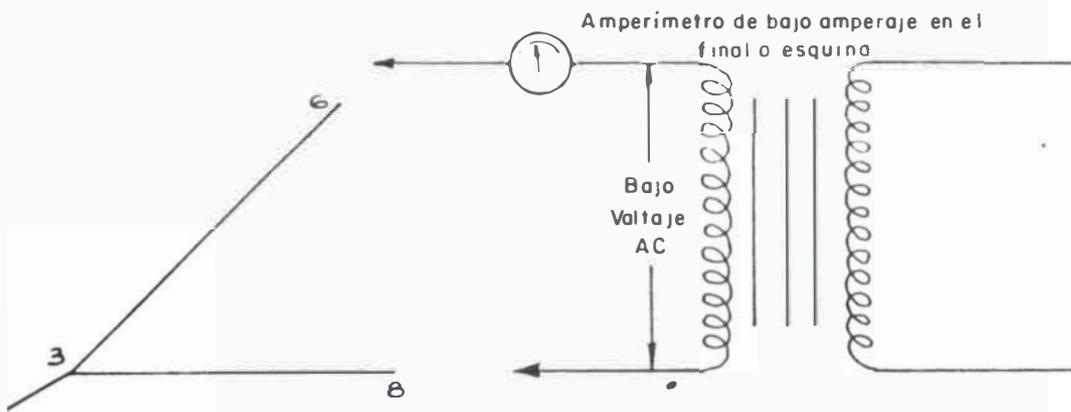


Sistema de numeracion de un motor de 9 lineas. Nótese que tres juegos de numeros se prueban juntos

- 1, 4 y 9
- 2, 5 y 7, y
- 3, 6 y 8

Si se usa el Ohmímetro o lámpara serie 9-4, 5-7, 6-8, tienen mayor resistencia. Por lo que las esquinas 1, 2 y 3 se pueden hallar fácilmente

Fig. 3.43 DETERMINACION DE LA ESQUINA DE UN MOTOR DE 9 LINEAS DELTA.



a) Prueba para hallar los terminales de un Δ de 9 líneas.

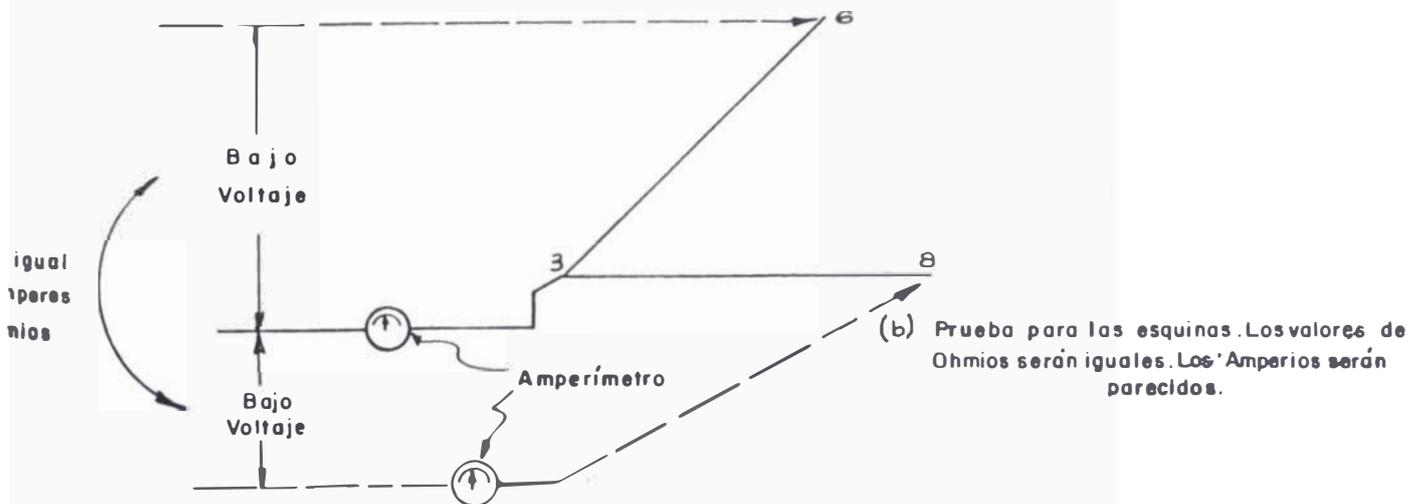
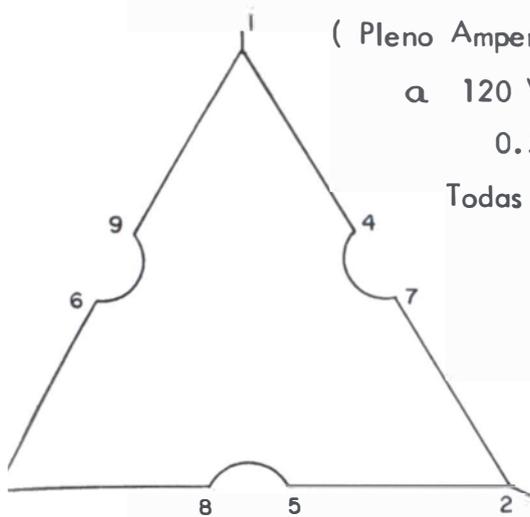
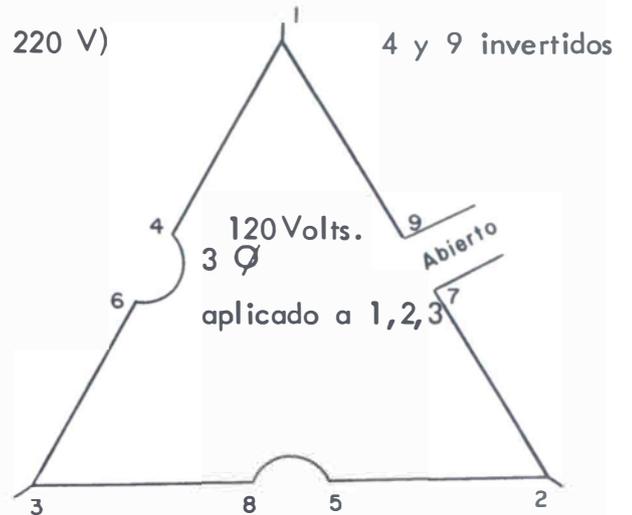


Fig. 3.44 PRUEBA DE CORRIENTE DE UN MOTOR DE 9 LINEAS DELTA.

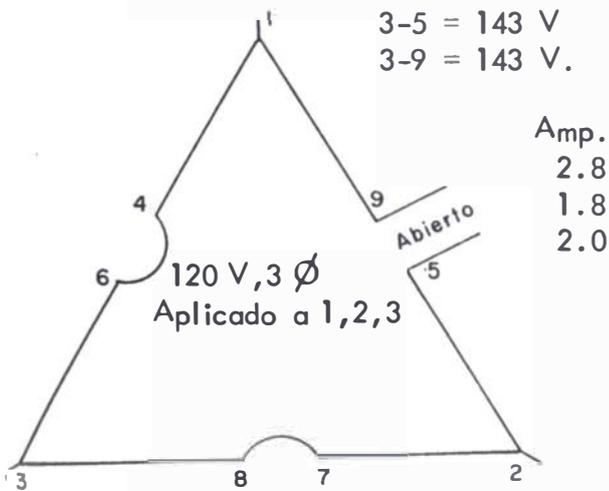


a) Conexión Correcta.
Muy Silenciosa

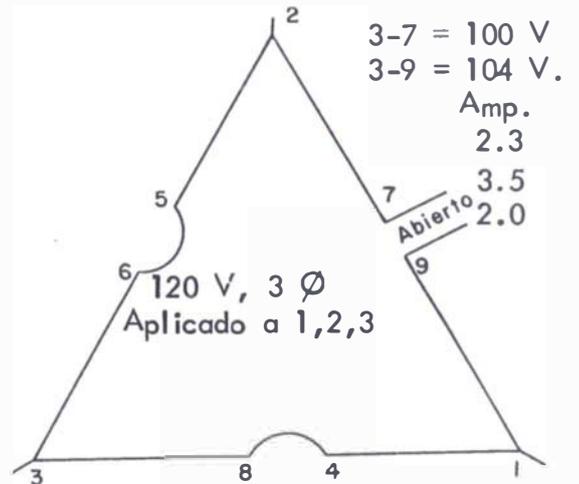


b) 7 y 4 abiertos
Pequeño ruido
3-7 = 110 V.
3-4 = 100 V.

Amp. por ramal	0.6
	0.45
	0.55

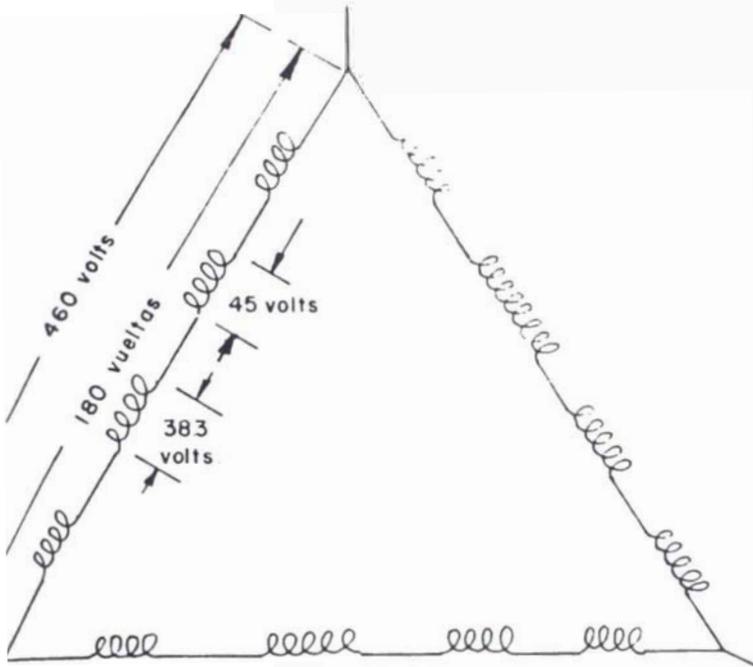


c) 9 y 4 con 5 y 7
Intercambiados , Un poco de ruido.



d) 1 y 2 intercambiados.
Todas las fases incorrectas, mucho ruido.
Si : 9 y 7 son puenteadas, es mucho - más ruidoso y no alcanza su velocidad y toma 6 Amp. en todas las fasea a 120 V.

Fig. 3.45 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE UN MOTOR PEQUEÑO DE 0.5 HP CON CONEXIONES DELTAS.



4 polos, 36 ranuras, 460 V
 Un circuito Delta
 3 bobinas por polo
 15 vueltas por bobina
 3 bobinas = 1 polo = 45 vueltas
 por grupo
 polo por fase

$4 \times 45 = 180$ vueltas por fase
 $460 \div 180 = 2.55$ volts / vuelta

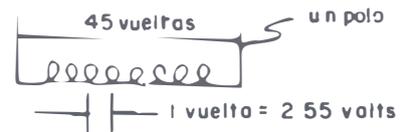


Fig. 3.46 VOLTAJE POR VUELTA DE UN POLO, 30 Y VUELTA S.

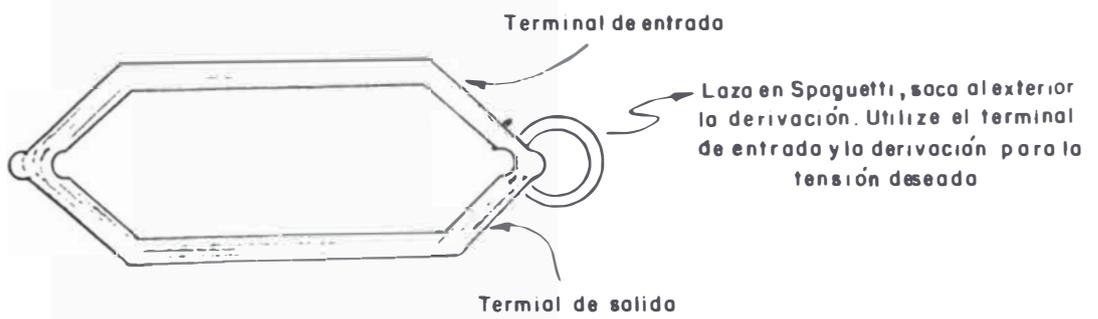


Fig. 3.47 DERIVACION DE UN POLO.

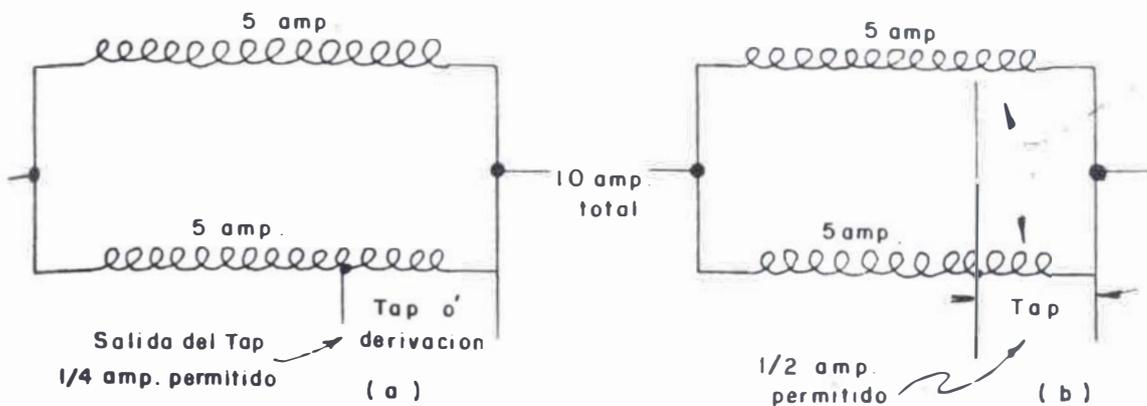


Fig. 3.48 DERIVACIONES EN CIRCUITOS PARALELOS.

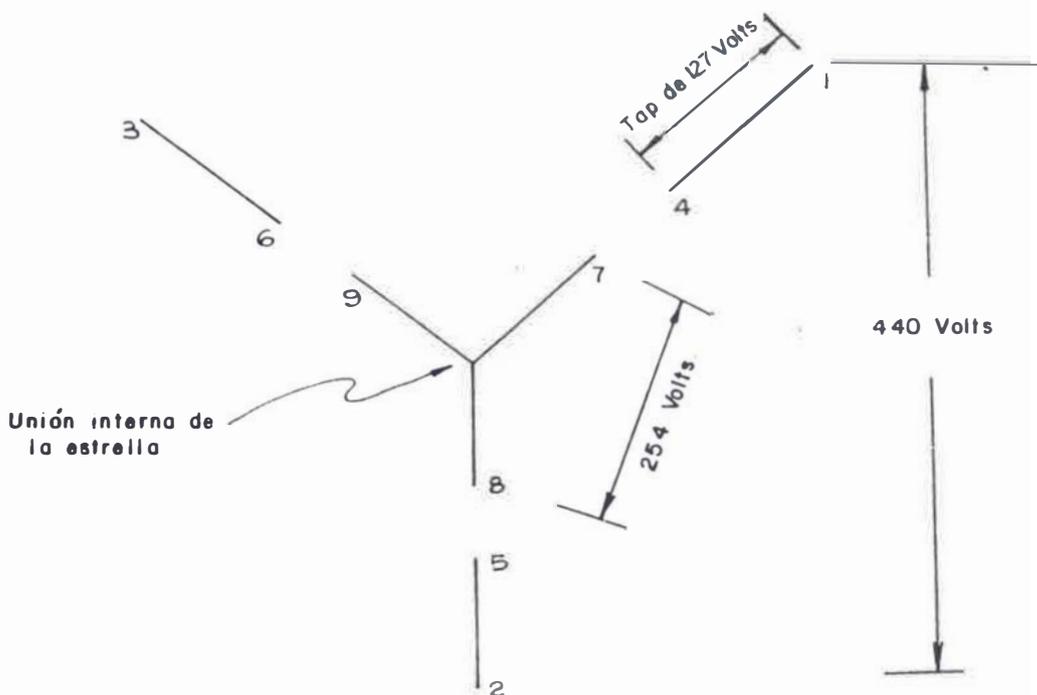


Fig. 3.49 DERIVACIONES EN UN CONEXION ESTRELLA DE 9 TERMINALES.

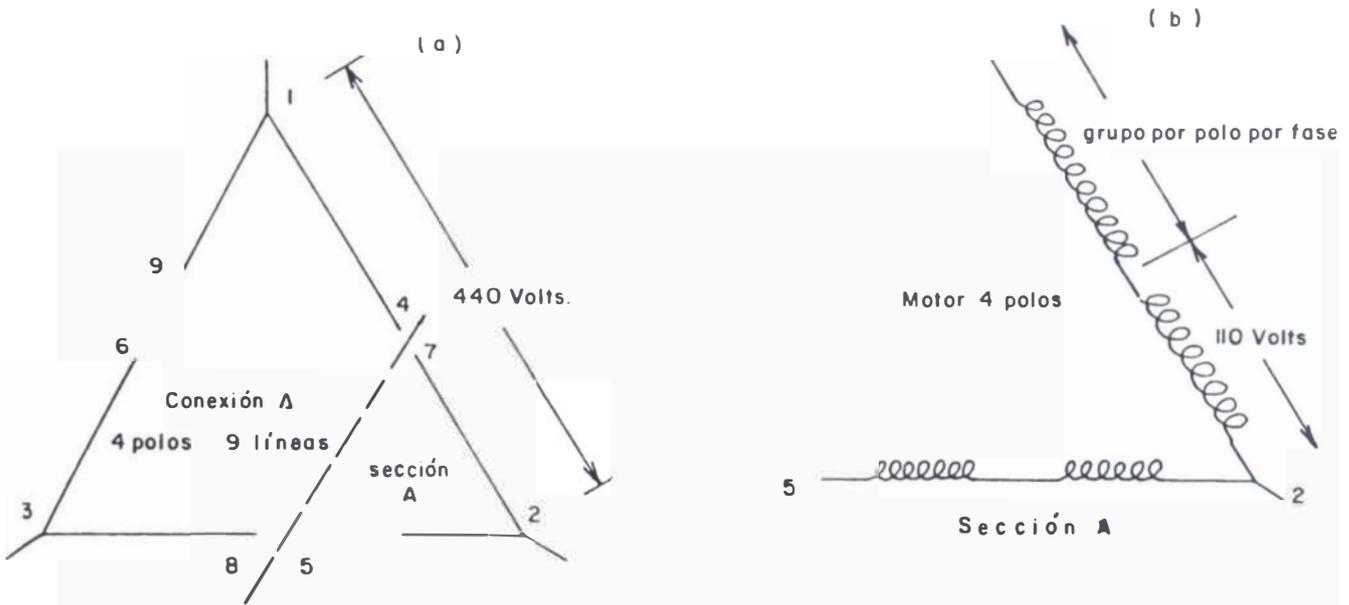


Fig. 3.50 DERIVACION PARA MOTOR DE 4 POLOS CON 9 LINEAS.

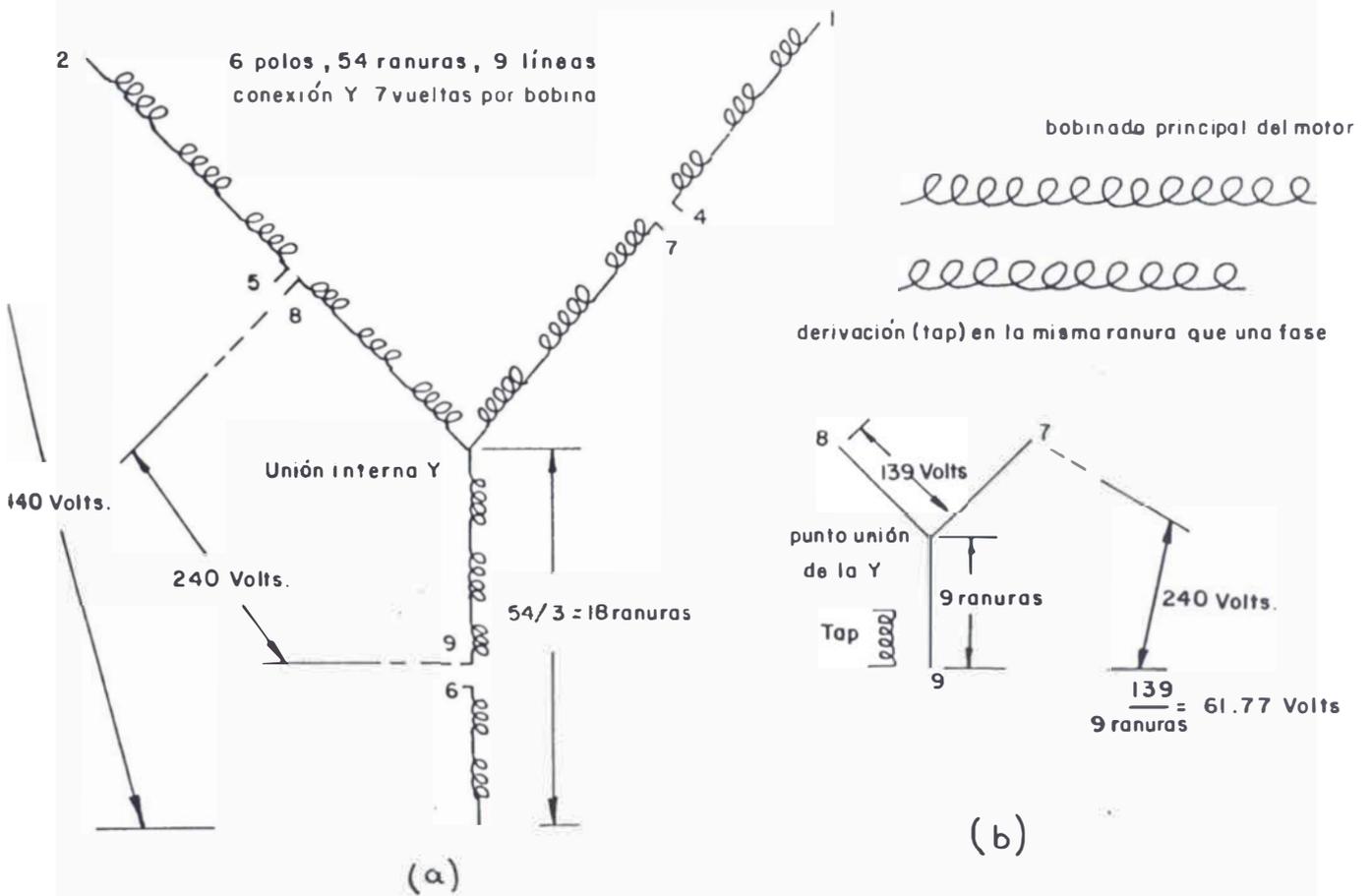


Fig. 3.51 DERIVACION POR BOBINA DE 6 POLOS CON 9 LINEAS.

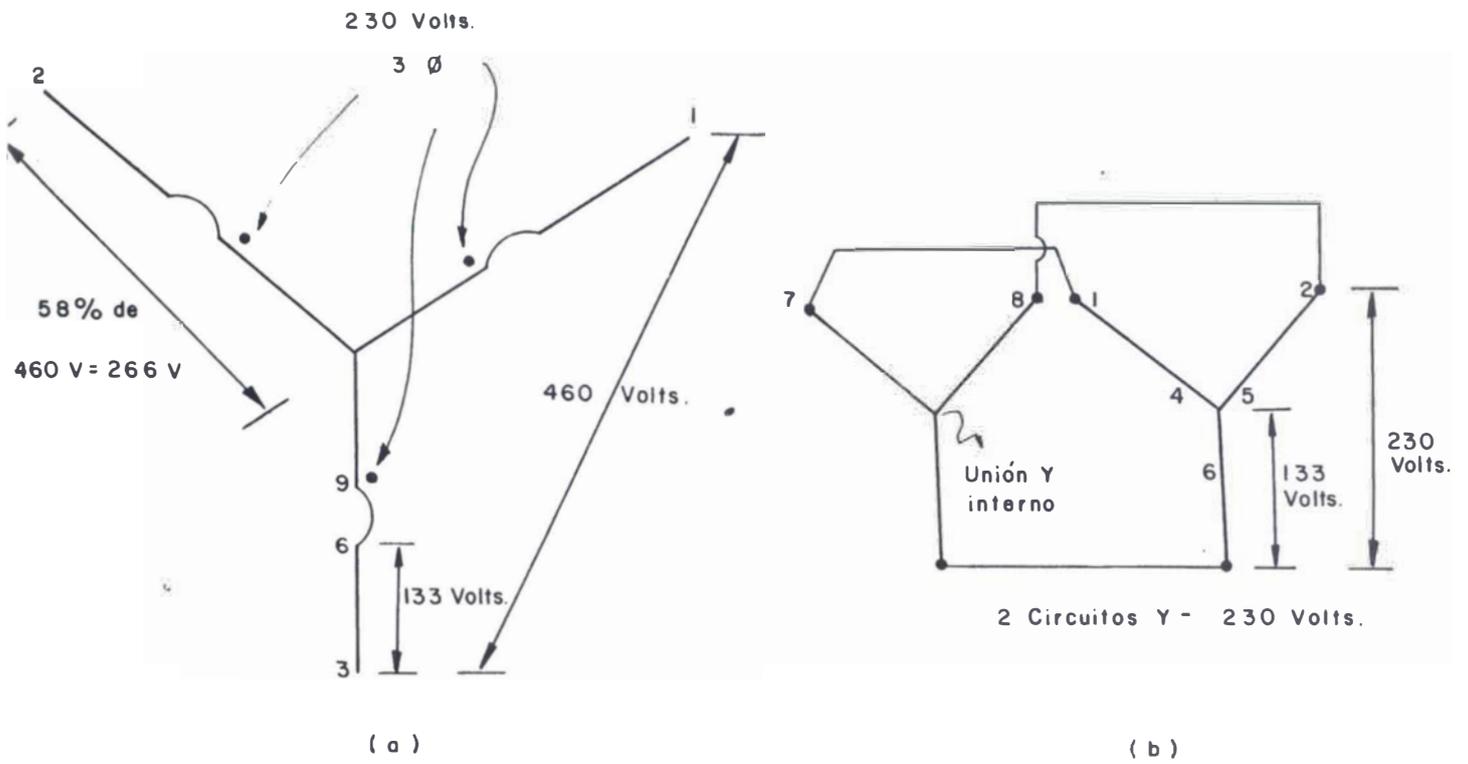


Fig. 3.58 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO Y MONOFÁSICO SOBRE UNO DE LOS
FASORES DE UN SISTEMA TRIFÁSICO DE 230 / 460 VOLTS

Delta de 9 líneas

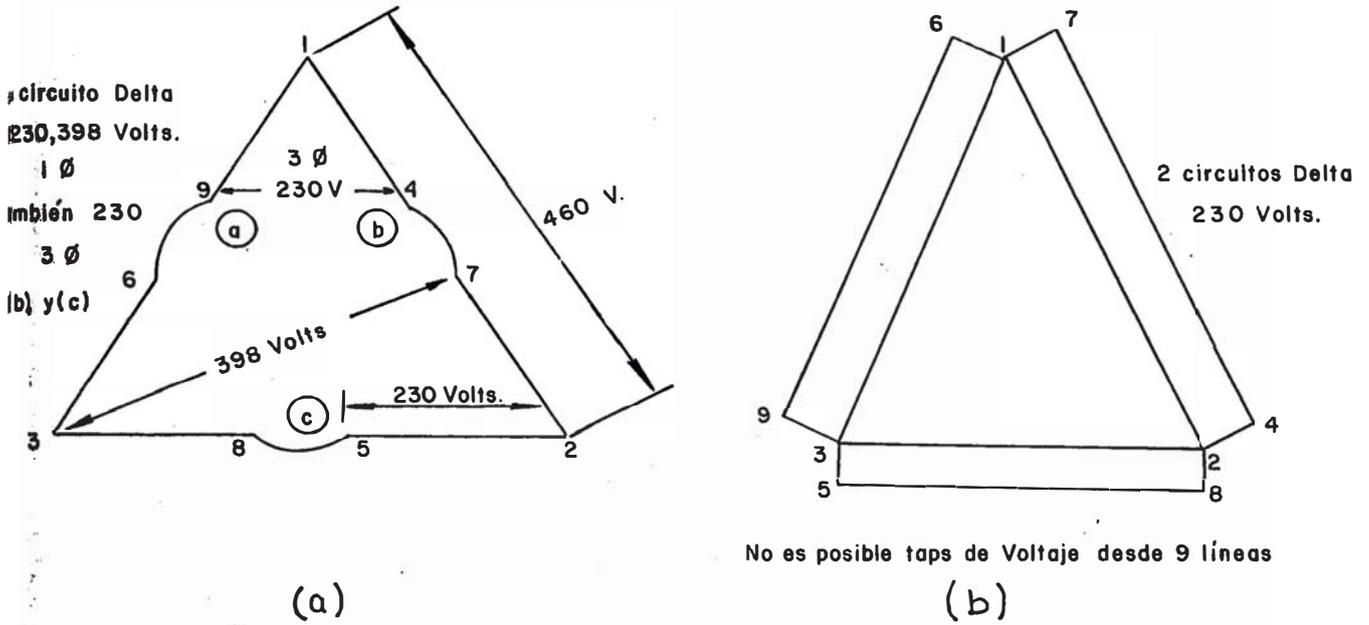


Fig. 3.53 TENSIONES TRIFÁSICAS Y MONOFÁSICAS OBTENIDAS SIN TAPS DE UN MOTOR DE 9 LÍNEAS CONEXIÓN 230 / 460 VOLTS.

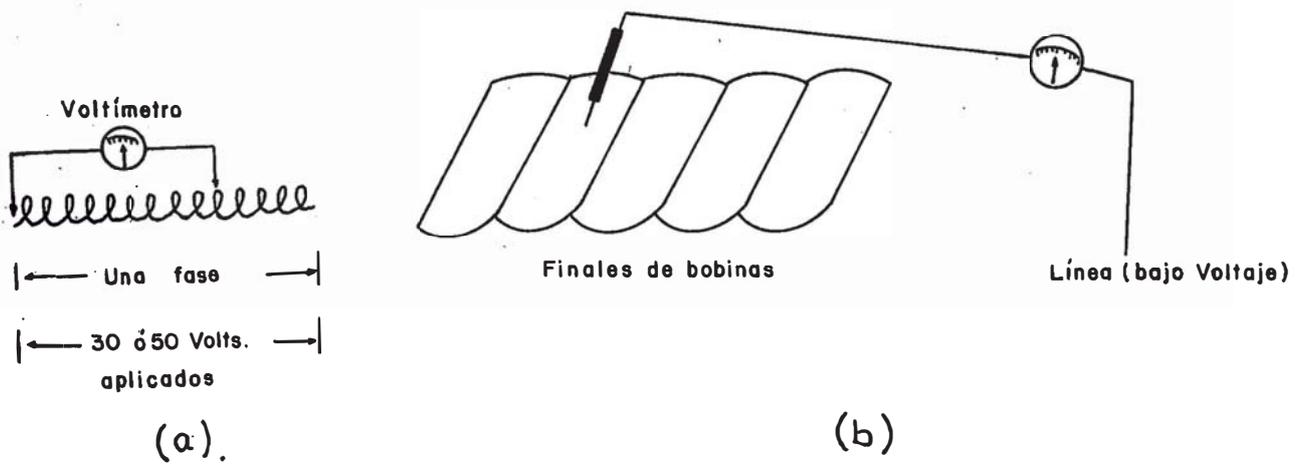


Fig. 3.54 MANERA DE HALLAR EL ALAMBRE APROPIADO

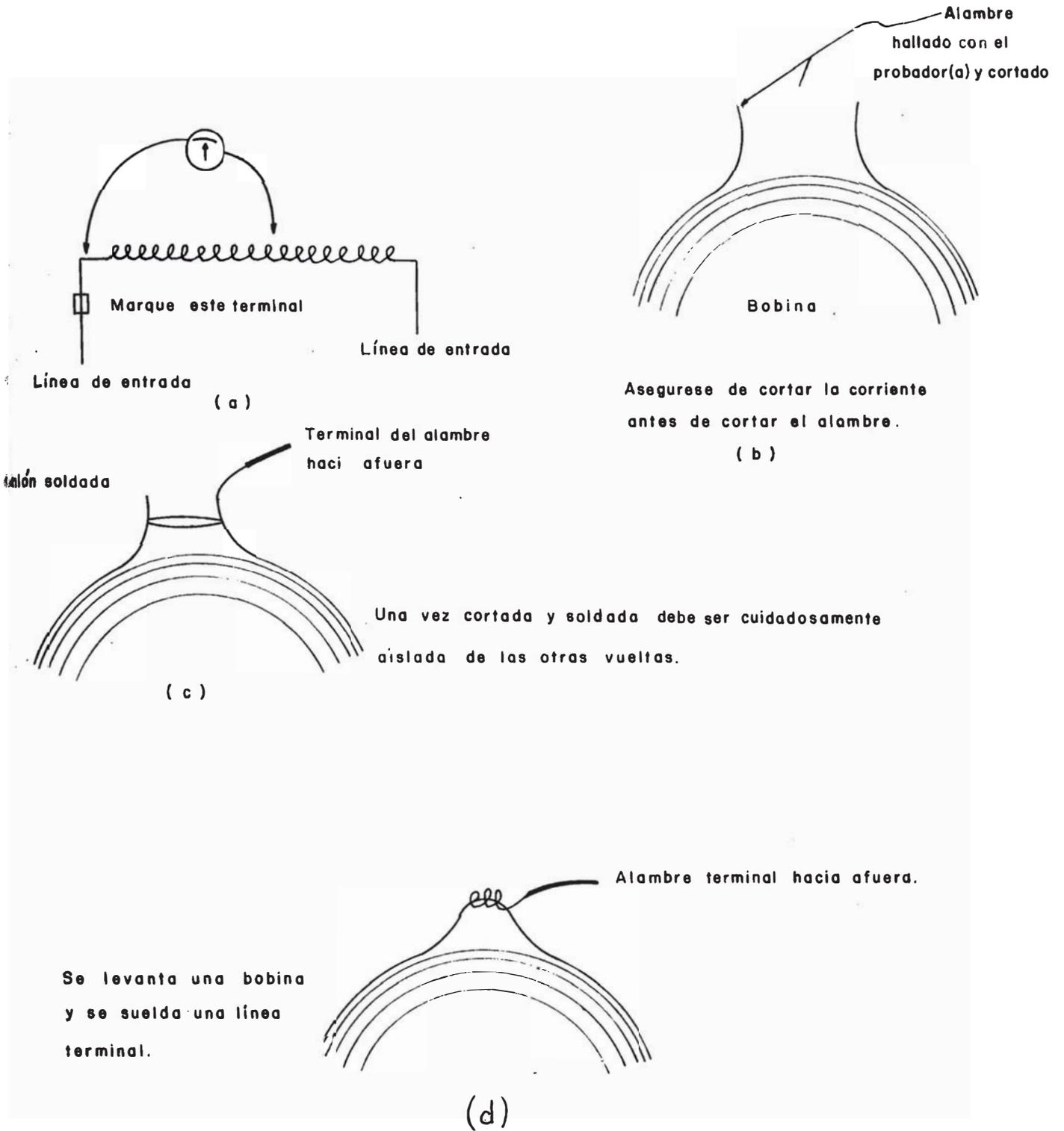
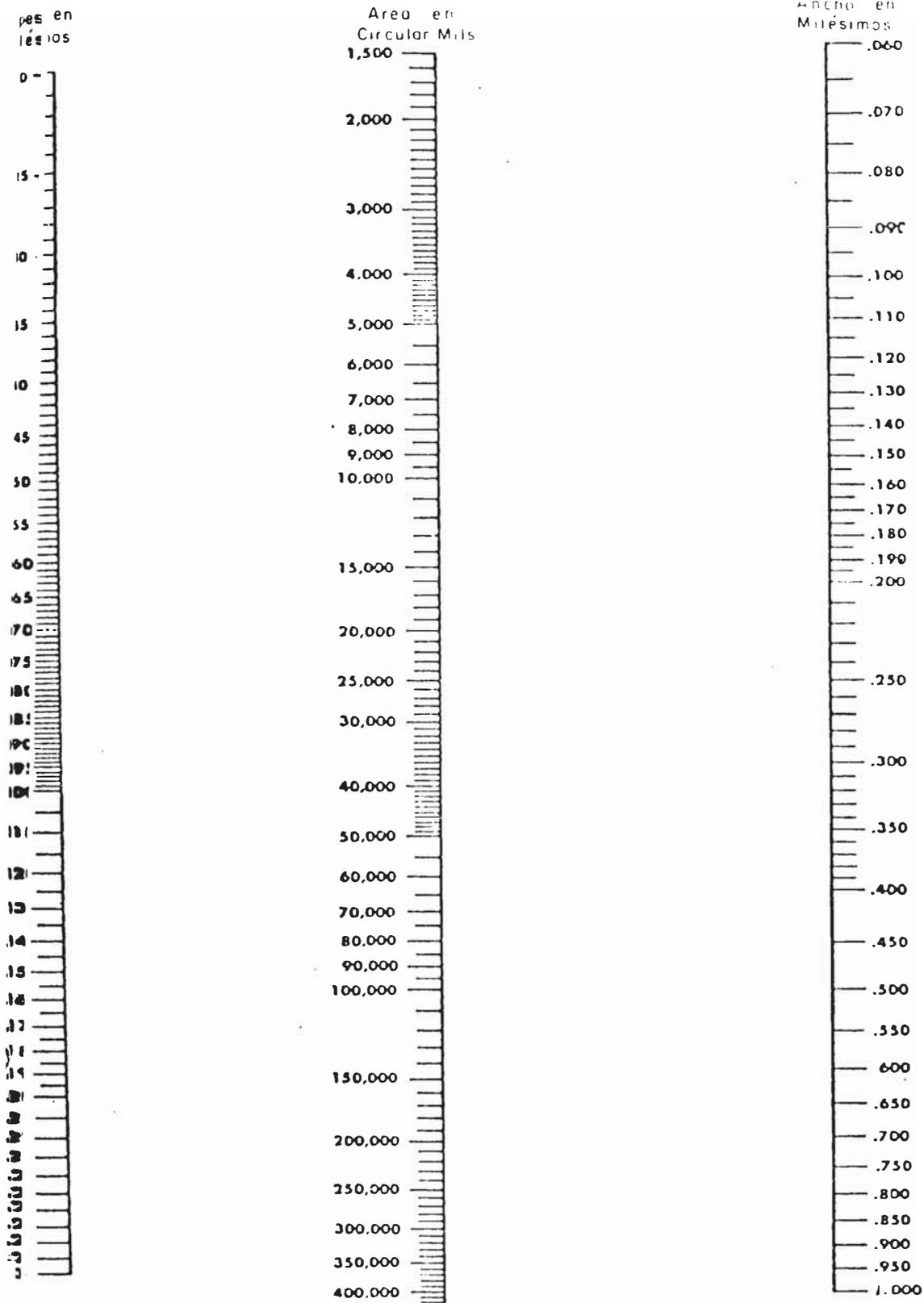


Fig. 3.55 SE LEVANTA Y SE SUELDA UNA LÍNEA TERMINAL DE LAS BUCAS DE LA DERIVACIÓN.

SECCION EN CIRCULAR MIL PARA WIRE GAUGE



Coloque una regla interceptando las dimensiones en milésimas en la escala de la derecha e izquierda. En el punto de intersección de la escala central nos indicará el área del alambre. Se despreciará el error debido a la redondez del filo del Cu.

GRABADO 3.1

CIRCULAR MIL POR AMPERIO VERSUS AMPERIOS POR PULGADA CUADRADA

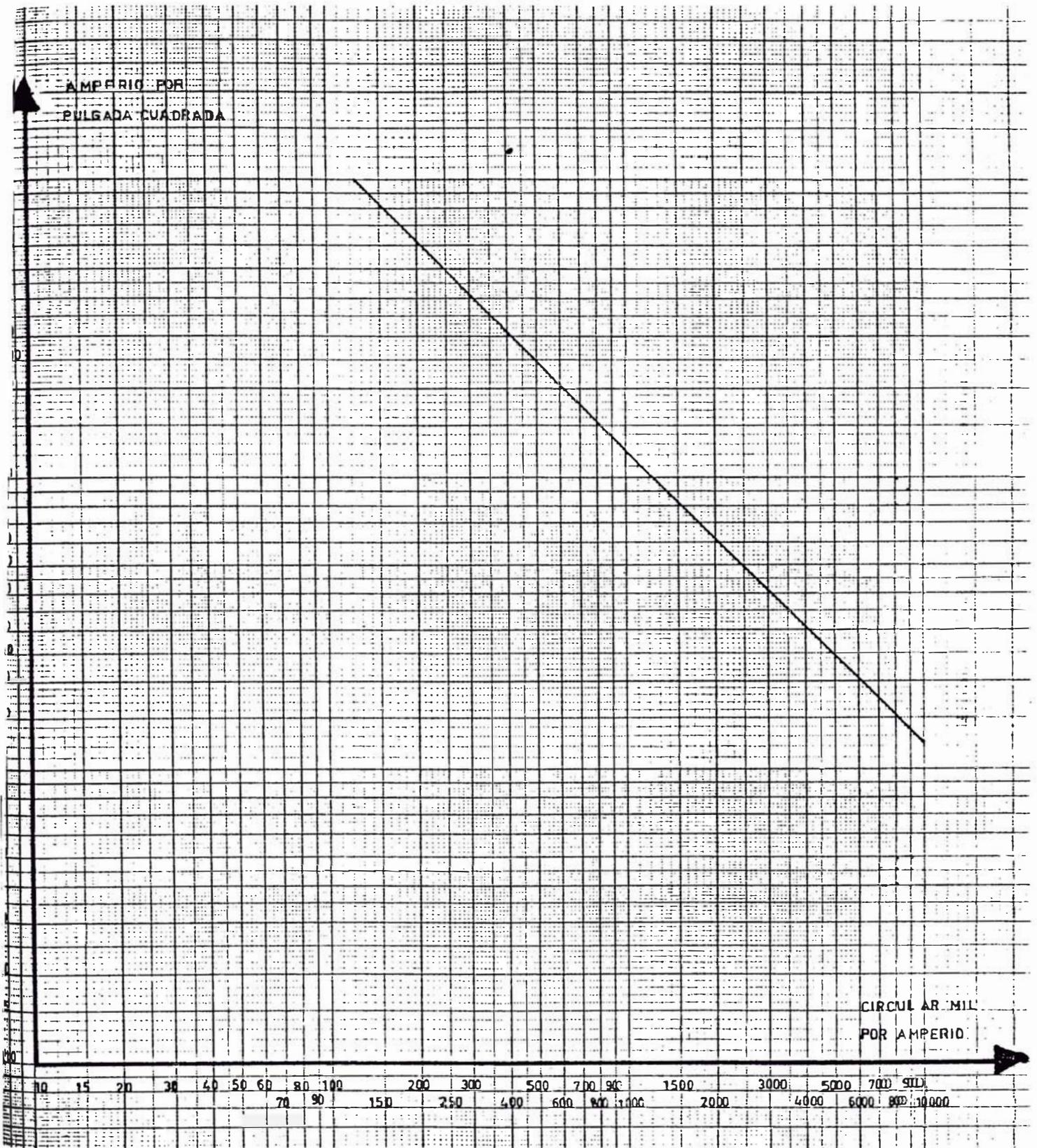


GRAFICO 3.2

CIRCULAR MIL POR AMPERIO

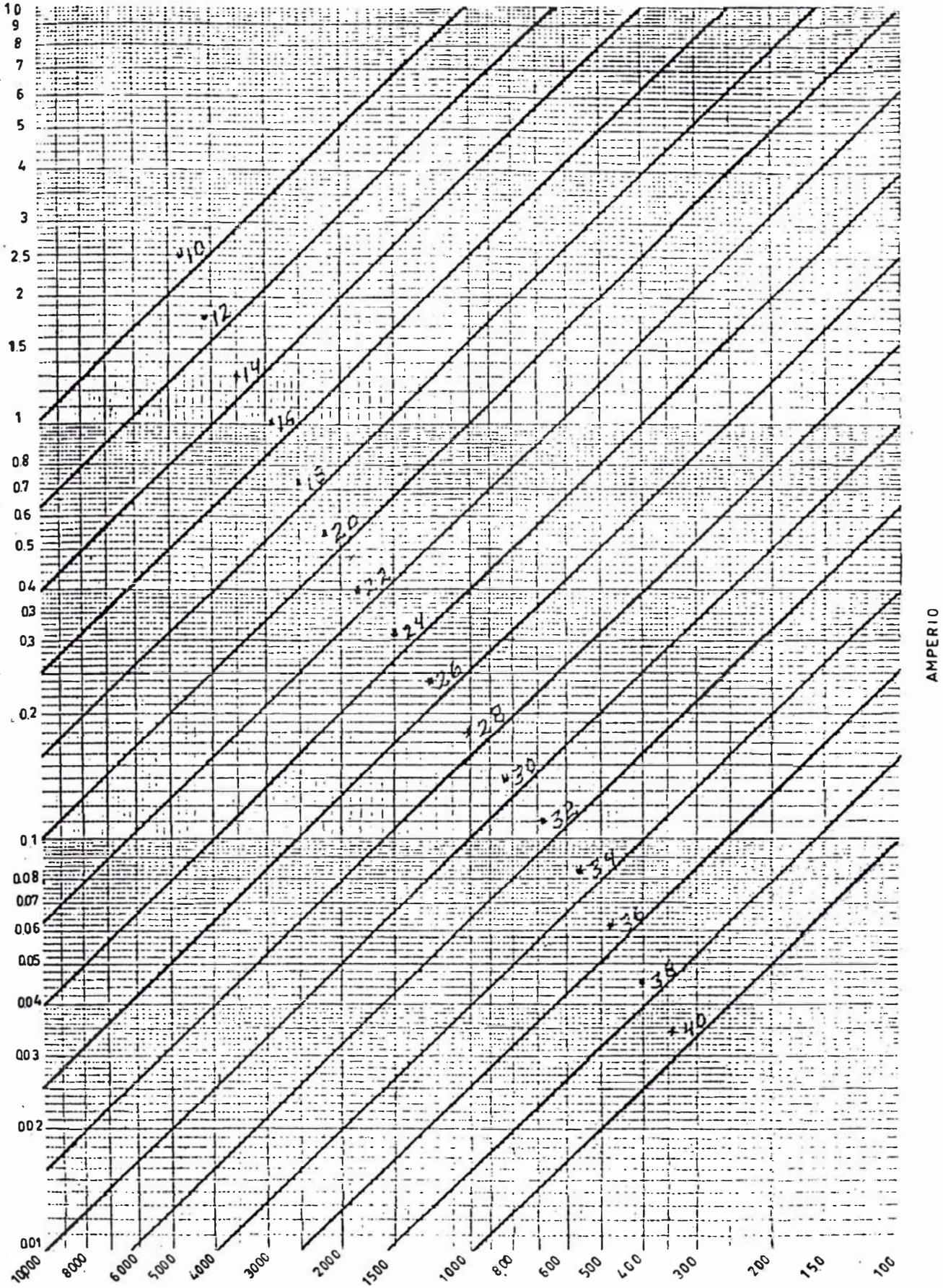


GRAFICO 3.3 a

CIRCULAR MIL POR AMPERIO

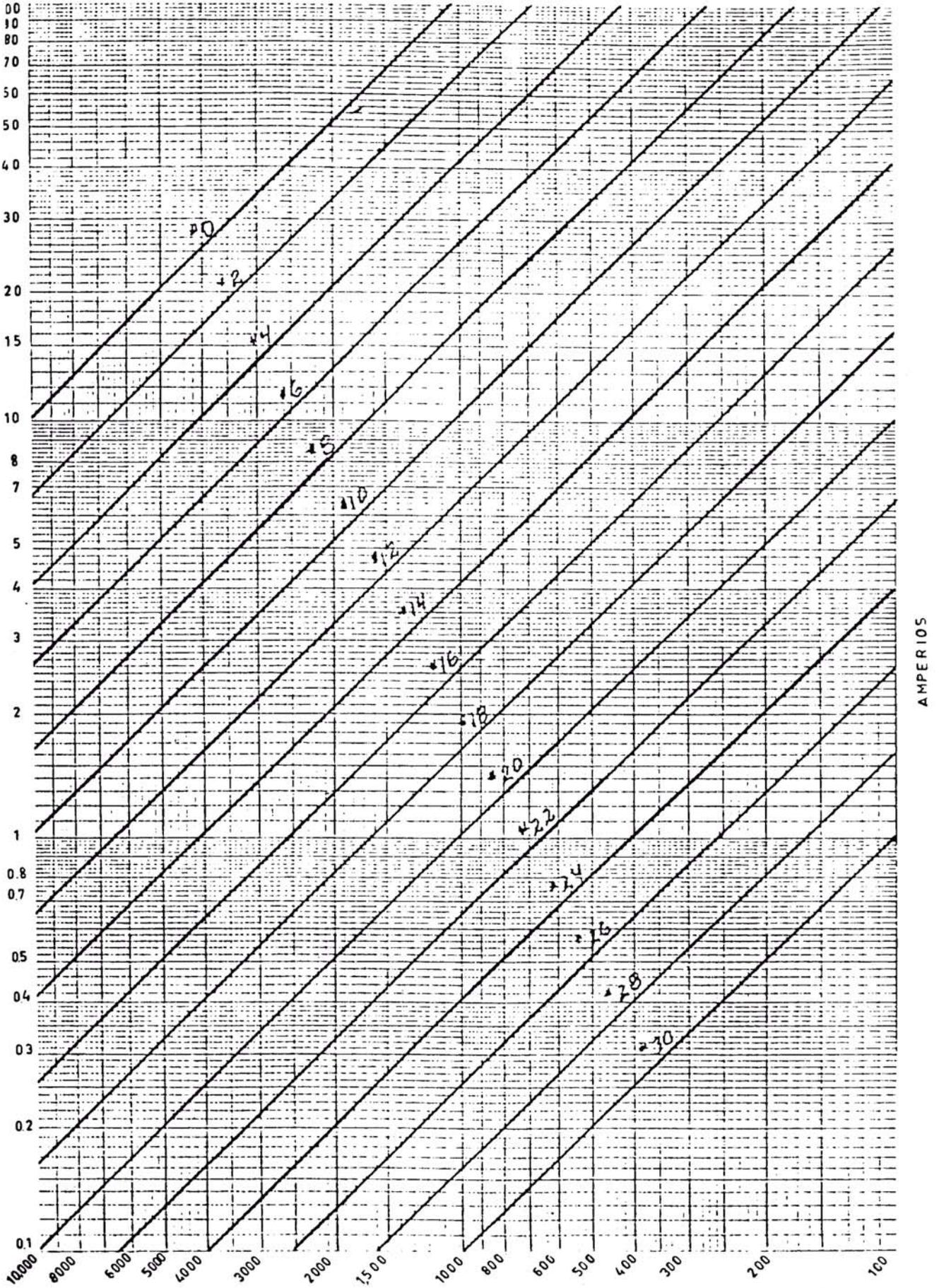
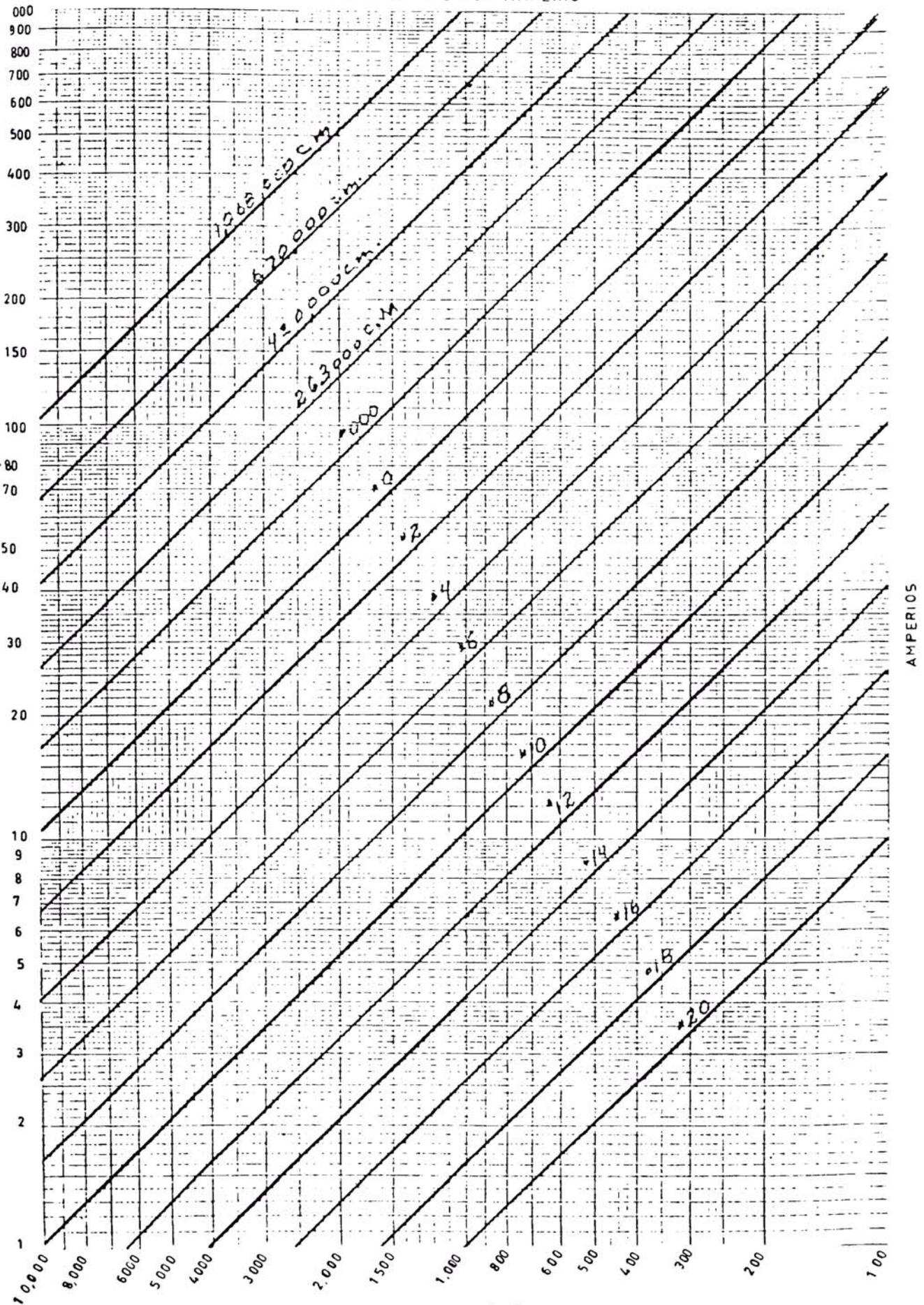


GRAFICO 3.3 b

CIRCULAR MIL POR AMPERIO



GRANICO 3.3 c

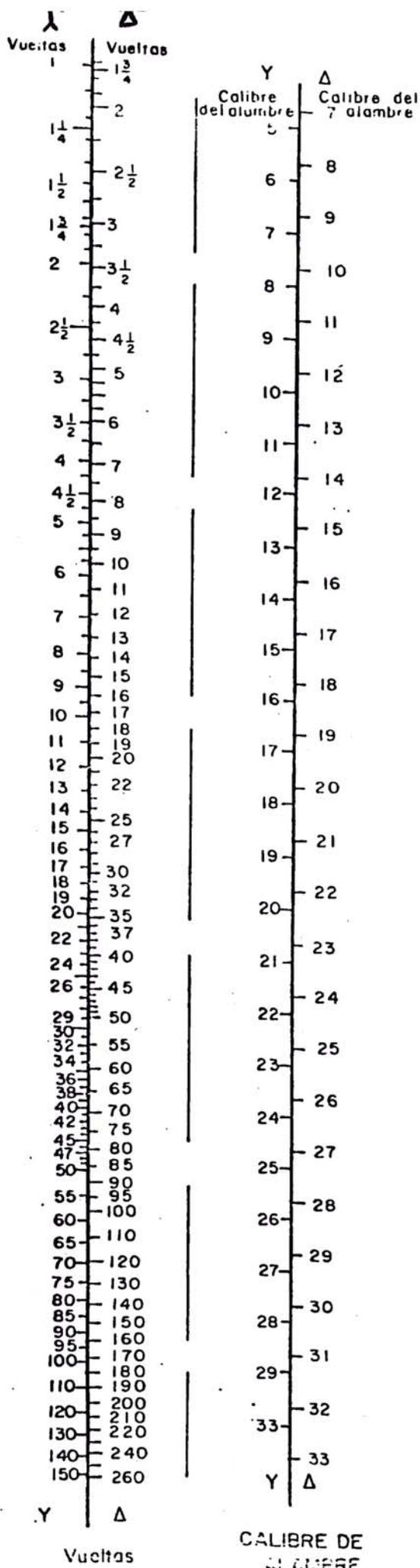
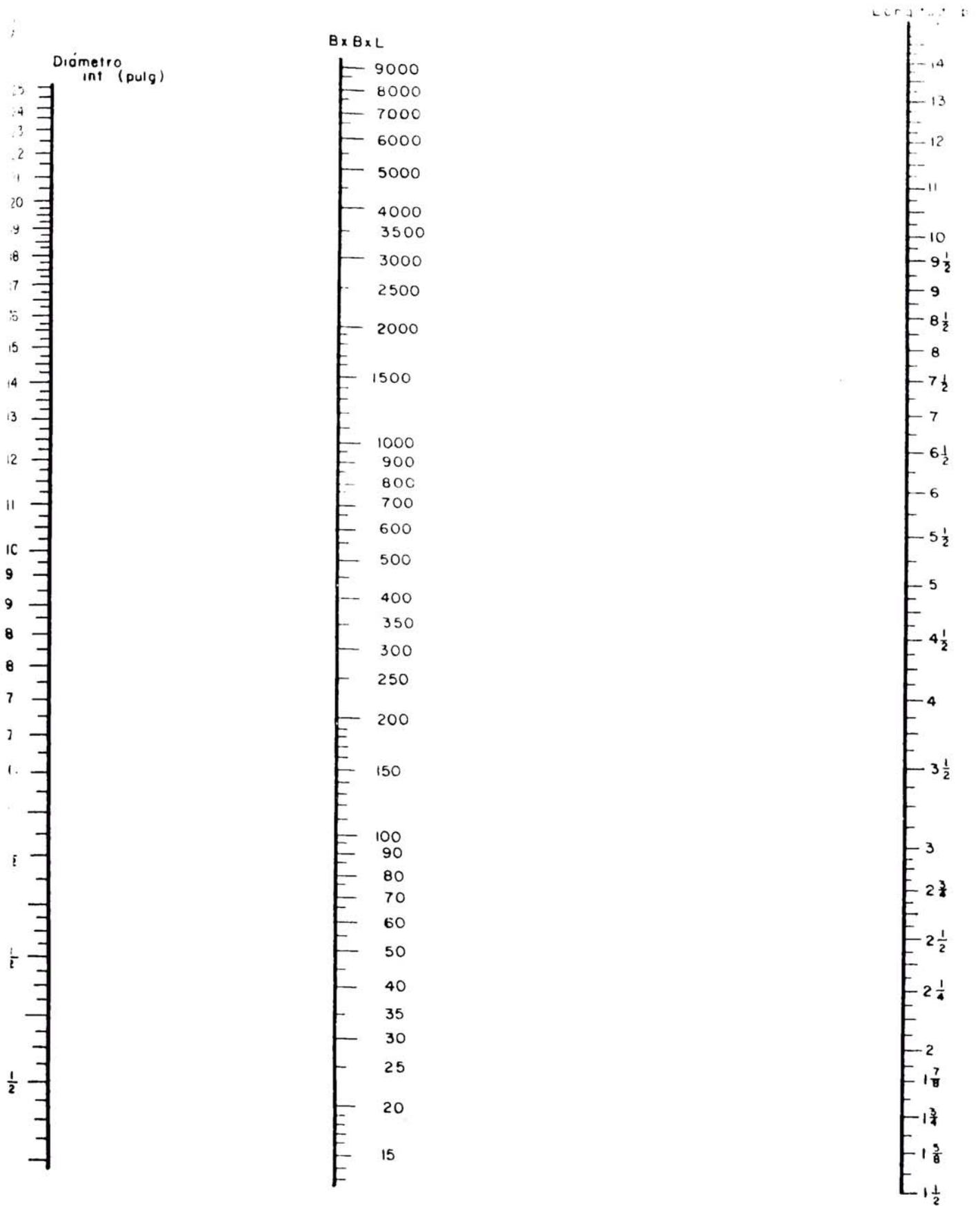
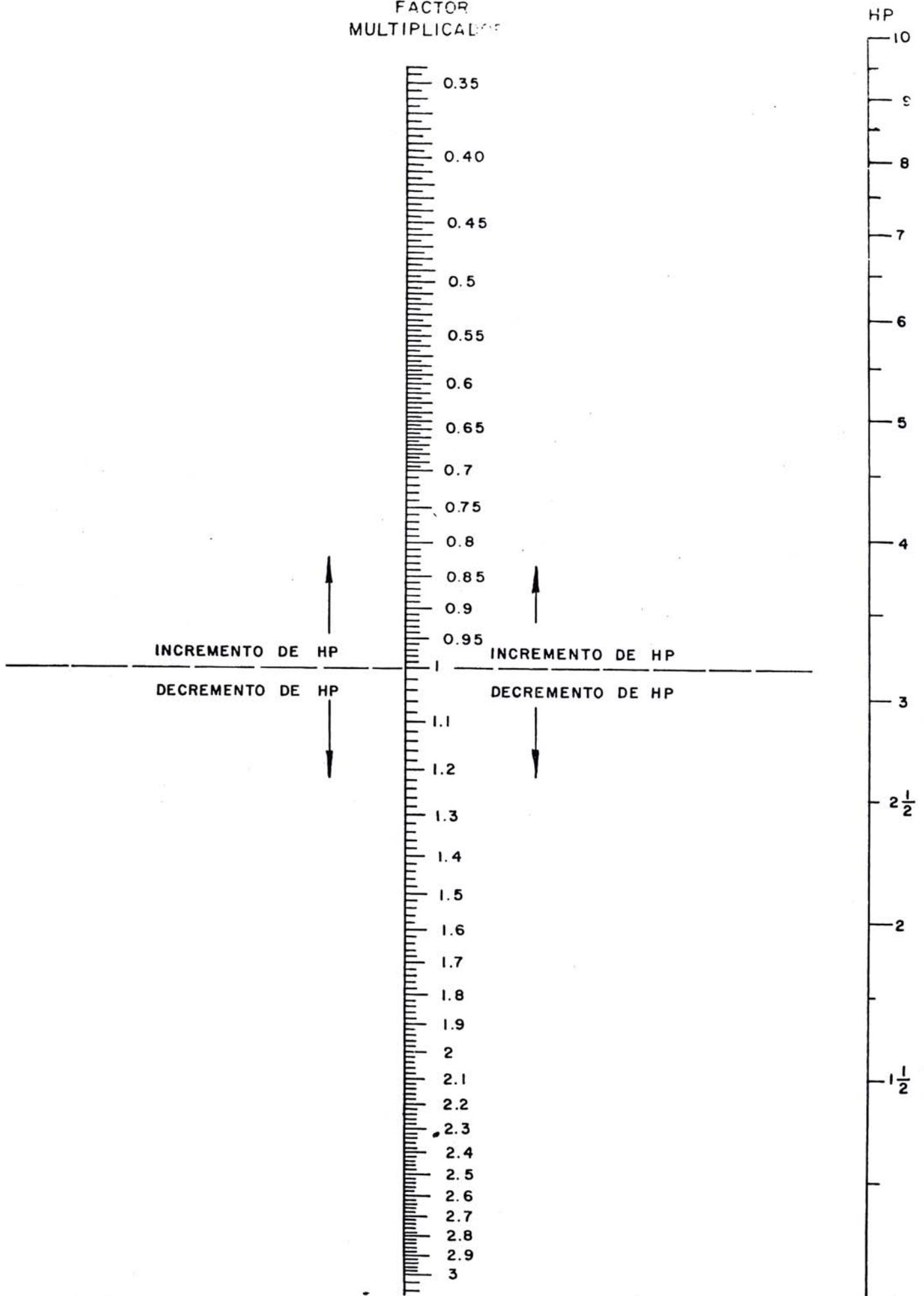


GRAFICO 3.4 NOMOGRAMA DE CONVERSION DE CONEXION



Graf. 3.5 NOMOGRAMA PARA HALLAR LOS VALORES BxBxL

FACTOR
MULTIPLICACION



Graf. 3.6 NOMOGRAMA PARA HALLAR EL FACTOR DE CAMBIO DE VUELTAS EN BOBINADOS

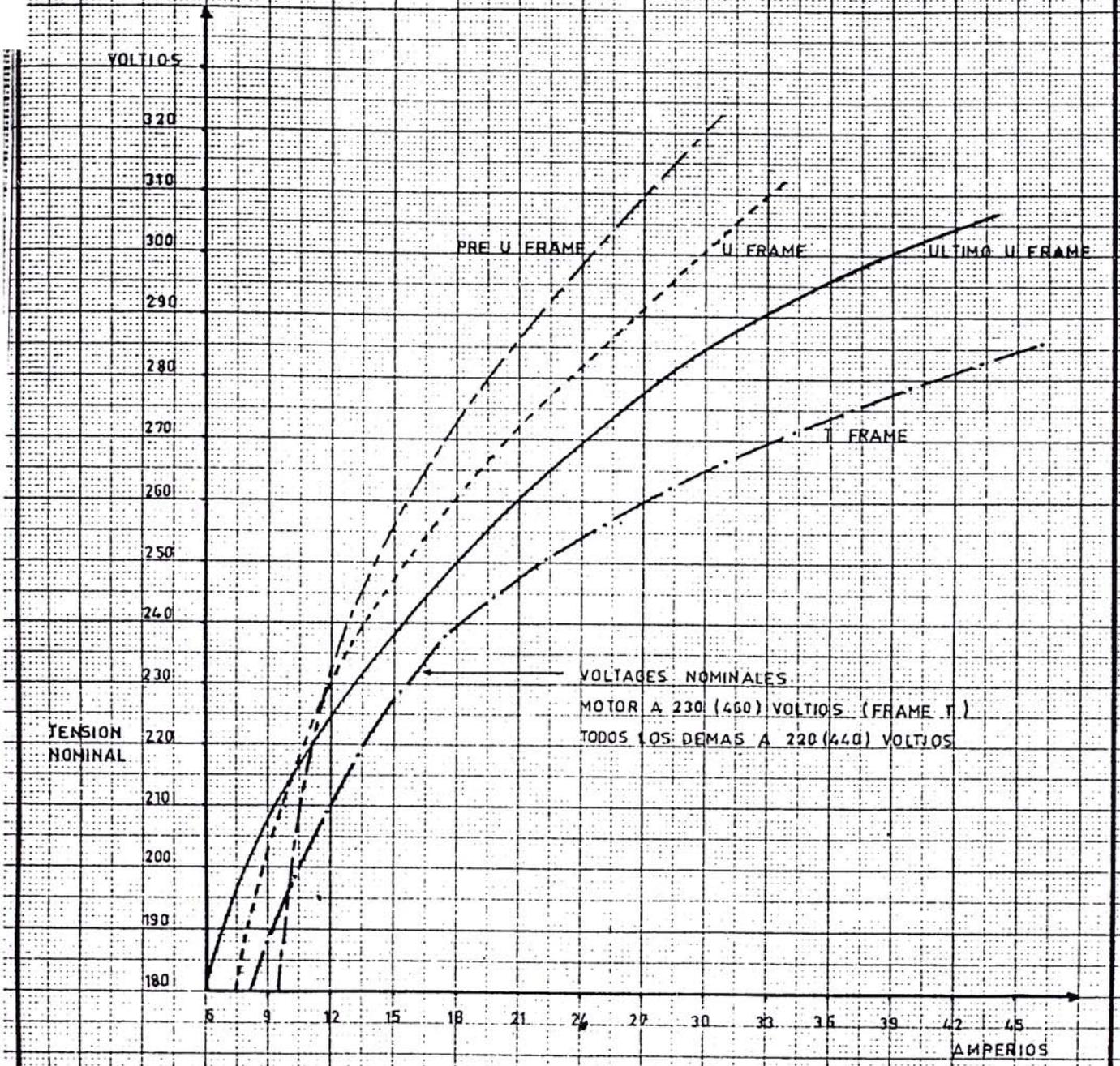


GRAFICO 3.7 a CURVAS DE SATURACION PARA SERIES DE FRAMES
O CARCAZA.

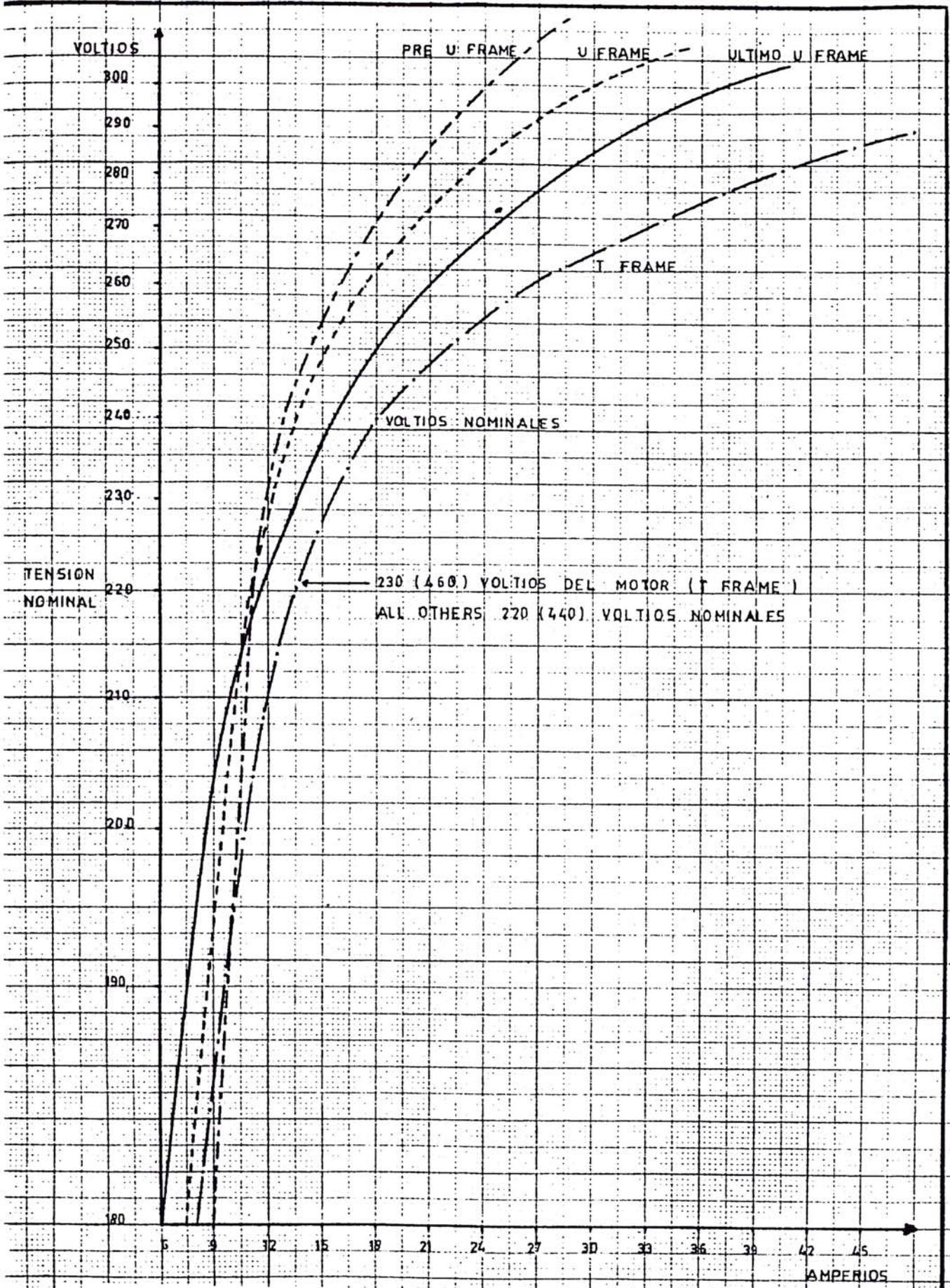


GRAFICO 3.7 b CURVAS DE SATURACION PAR SERIES DE FRAMES O CARCAZAS.

CAPITULO IV

REPARACION POR PROGRAMA

4.1 Generalidades

Una de las funciones más importantes que se realiza dentro del taller eléctrico son las "Reparaciones por Programa", que es una consecuencia de las inspecciones por programa y los servicios por programa que después de ejecutados va a devenir en la correcta operatividad de las operaciones y en el funcionamiento eficiente de equipos, máquinas y herramientas que están sujetas a la planificación y programación del Mantenimiento Preventivo.

En este acápite se ha creído conveniente desarrollar algunos aspectos sustanciales de este tipo de actividad, que seguidamente se pasa a esbozar para una mejor comprensión del asunto a presentarse, Fig. 4.1. Se hace notar que este tipo de Reparación por Programa se realiza en coordinación con los talleres o secciones que envían sus equipos a reparar, ya que son ellos los que programan sus unidades para entrar en servicio.

Se ha tomado como ejemplo ilustrativo la Reparación por Programa que se realiza en las locomotoras que transportan el mineral.

El taller se encarga del mantenimiento y reparación de la parte eléc

trica de las locomotoras.

4.2 PERT (Programa Evaluation and Review Technique)

El P.E.R.T. que usa una amplitud de tres estimaciones de tiempo para cada actividad, fue desarrollado por la Armada de los Estados Unidos de Norte América en los últimos cincuenta años para administrar el programa POLARIS.

En aquel tiempo aproximadamente otro grupo que trabajaba independientemente desarrolló el Método del Camino Crítico (C.P.M.) con su estimación de tiempo para cada actividad.

Si bien el PERT es de especial aplicación en proyectos del tipo con precedentes, el C.P.M. es de máxima efectividad en proyectos con experiencia en obras semejantes (como proyectos de reparación general) permite estimaciones de tiempo y costos ajustados. Tanto el PERT como el CPM se valen de una red en el Sistema de Flechas o en el sistema de Precedencias o Sistema Roy. Los datos técnicos son muy parecidos hasta el momento de asignar estimaciones de tiempo a las actividades una vez que se ha completado el programa.

4.3 Estructura del Trabajo

El proyecto de una reparación, es determinar exactamente lo que se necesita para el desarrollo del trabajo; esta estructura es un cuadro que muestra las principales actividades que se tiene que desarrollar para lograr el propósito, en este caso, la reparación de una locomotora, y que se muestra en un formato detallado (Ver Fig. 4.2 y Cuadro 4.1), lo que se tiene que hacer y eses QUE se tiene que hacer, debe decidirse antes del QUIEN lo va a hacer. Esta hoja de tareas representada con los elementos de la estructura del trabajo en el eje vertical y en el eje horizontal los departamentos que desa-

rollan las tareas, y en las intersección de las tareas con los responsables, la letra "P" indica primera responsabilidad y la "S" representa responsabilidad de apoyo. Las hojas de tareas son un buen sistema para documentarse sobre las responsabilidades del trabajo.

4.4 Sistema de Flechas y Sistema Roy

Desarrollar un programa de redes, con ruta crítica, es describir la secuencia del trabajo, la red de ruta crítica es una de las partes más importantes del plan. Usando esta herramienta se puede proveer las actividades de recursos y casos de tal manera que se reduzca el tiempo y el costo para terminar el proyecto.

En el desarrollo del sistema, cada actividad se muestra como una línea y la línea cerrada por un círculo como evento o nódulo. Las definiciones de eventos y actividades se muestran en la Fig. 4.3.

Las actividades y eventos se construyen en la secuencia que deben desarrollarse las tareas. En el caso de que se puedan desarrollar dos tareas o actividades en forma simultanea, se muestran en paralelo, y si se tiene que terminar una antes que empiece la otra, se muestran en serie. Luego la red es una representación gráfica de todo el proyecto que muestra las relaciones de todas las tareas individuales.

4.5 Cálculo de la Duración de la Actividad

Esto se realiza mediante un cálculo simple sobre cada actividad.

Si no se tiene ninguna información anterior buena, se usa el PERT.

Cuando se usa PERT se hacen tres cálculos de tiempo requeridos para la realización del trabajo.

La siguiente fórmula es para el cálculo del tiempo esperado:

$$T_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Te : tiempo esperado

a : tiempo optimista, si todo va bien

b : tiempo pesimista, si todo va mal

m : tiempo más probable, si son aceptables.

Luego se hace los cálculos para todas las actividades.

$$T_a = \frac{2 + 4(4) + 12}{6} = 5$$

$$T_b = \frac{2 + 4(2) + 6}{6} = 3$$

$$T_A = \frac{6 + 4(7) + 10}{6} = 7$$

$$T_B = \frac{4 + 4(6) + 13}{6} = 7$$

$$T_C = \frac{8 + 4(11) + 18}{6} = 12$$

$$T_D = \frac{2 + 4(3) + 7}{6} = 4$$

$$T_E = \frac{2 + 4(3) + 7}{6} = 4$$

$$T_F = \frac{1 + 4(3) + 7}{6} = 3$$

$$T_G = \frac{1 + 4(2) + 3}{6} = 2$$

$$T_H = \frac{1 + 4(3) + 3}{6} = 2$$

$$T_I = \frac{1 + 4(3) + 3}{6} = 2$$

$$TJ = \frac{1 + 4(3) + 3}{6} = 2$$

$$TK = \frac{1 + 4(3) + 3}{6} = 2$$

$$TL = \frac{1 + 4(3) + 3}{6} = 2$$

$$TM = \frac{4 + 4(6) + 10}{6} = 6$$

$$TN = \frac{1 + 4(2) + 3}{6} = 2$$

$$TO = \frac{1 + 4(2) + 3}{6} = 2$$

$$TP = \frac{1 + 4(2) + 3}{6} = 2$$

$$TQ = \frac{1 + 4(2) + 3}{6} = 2$$

$$TR = \frac{2 + 4(3) + 10}{6} = 4$$

$$TS = \frac{1 + 4(2) + 3}{6} = 2$$

$$TT = \frac{1 + 4(2) + 3}{6} = 2$$

$$TU = \frac{1 + 4(2) + 3}{6} = 2$$

$$TV = \frac{2 + 4(2) + 6}{6} = 3$$

$$TW = \frac{1 + 4(2) + 3}{6} = 2$$

$$TX = \frac{2 + 4(3) + 10}{6} = 4$$

4.6 Cálculo de Holguras

El cálculo de holguras se realiza con las siguientes fórmulas.

$$HT = T_2 - I_1 - D$$

$$HL = T_1 - I_1 - D$$

$$HI = T_1 - I_2 - D$$

HT = Holgura total

HL = Holgura libre

HI = Holgura independiente

T_1 = Término más temprano

T_2 = Término más tarde

I_1 = Inicio más temprano

D = Duración de la actividad

En el diagrama solamente se usará holgura total.

A continuación se presenta el cuadro de Holguras:

CALCULO DE HOLGURAS

$HT = T_2 - I_1 - D$	$HL = T_1 - I_1 - D$	$HI = T_1 - I_2 - D$
HTa= 5-0-5 = 0	HLa = 5-0-5 = 0	HIA = 5-0-5 = 0
HTb= 8-5-3 = 0	HLb = 8-5-3 = 0	HIB = 8-5-3 = 0
HTA= 19-8-7 = 4	HLA = 15-8-7 = 0	HIA = 15-8-7 = 0
HTB= 15-8-7 = 0	HLB = 15-8-7 = 0	HIB = 15-8-7 = 0
HTC= 27-5-12 = 10	HLC = 17-5-12 = 0	HIC = 17-5-12 = 0
HTD= 23-15-4 = 4	HLD = 19-15-4 = 0	HID = 19-19-4 = 0
HTE= 19-15-4 = 0	HLE = 19-15-4 = 0	HIE = 19-15-4 = 0

HTF = 30-17-3 = 10	HLF = 21-17-3 = 1	HIF = 21-27-3 = 0
HTG = 25-19-2 = 4	HLG = 25-19-2 = 4	HIG = 25-23-2 = 0
HTH = 21-19-2 = 0	HLH = 21-19-2 = 0	HIH = 21-19-2 = 0
HTI = 30-19-2 = 9	HLI = 21-19-2 = 0	HIL = 21-19-2 = 0
HTJ = 32-19-2 = 9	HLJ = 27-21-2 = 4	HIJ = 27-30-2 = 5
HTK = 25-21-2 = 2	HLK = 25-21-2 = 2	HIK = 25-21-2 = 2
HTL = 23-21-2 = 0	HLL = 23-21-2 = 0	HIL = 23-21-2 = 0
HTM = 32-21-6 = 5	HLM = 27-21-6 = 0	HIM = 27-21-6 = 0
HTN = 25-23-2 = 0	HLN = 25-23-2 = 0	HIN = 25-23-2 = 0
HTO = 27-25-2 = 0	HTO = 27-25-2 = 0	HIO = 27-25-2 = 0
HTP = 34-27-2 = 5	HLP = 29-27-2 = 0	HIP = 29-32-2 = -5
HTQ = 34-27-2 = 5	HLQ = 29-27-2 = 0	HIQ = 29-27-2 = 0
HTR = 31-27-4 = 0	HLR = 31-27-4 = 0	HIR = 31-27-4 = 0
HTS = 34-27-2 = 5	HLS = 29-27-2 = 0	HIS = 29-27-2 = 0
HTT = 33-31-2 = 0	HLT = 33-31-2 = 0	HIT = 33-31-2 = 0
HTU = 36-29-2 = 5	HLU = 36-29-2 = -5	HIU = 36-34-2 = 0
HTV = 36-33-3 = 0	HLV = 36-33-3 = 0	HIV = 36-33-3 = 0
HTW = 36-29-2 = 5	HTW = 36-29-2 = 5	HIW = 36-34-4 = 0
HTX = 40-36-4 = 0	HTX = 40-36-4 = 0	HIX = 40-36-4 = 0

4.7 Ruta Crítica

Ayudados por el cuadro de precedencias Cuadro 4.2, los tiempos calculados y las holguras totales se desarrollan la red con ruta crítica tanto en el sistema de Flecha como en el sistema Roy (Figs. 4.4a, b).

4.8 Diagrama de Gantt

Este diagrama es el resultado en cuanto a tiempo se refiera de la duración del proyecto y se incluye también el personal empleado.

También es el cuadro de barras se observa las actividades con sus respectivas holguras, y finalmente el perfil de recursos, el personal usado como promedio se muestran en el cuadro 4.3a, 4.3b y Gráfico 4.1.

4.9 Cálculo de Factor de Aceleración

Factor de aceleración es el incremento del costo en reducir en un día la duración del proyecto, y cuando se hacen cálculos solamente usamos Factor de Aceleración de las actividades críticas empezando por el menor factor de aceleración.

Su fórmula es:

$$FA = \frac{CA - CN}{DN - DA}$$

CA = Costo acelerado

CN = Costo normal

DA = Duración acelerada

DN = Duración normal

A continuación se observa las figuras propuestas para una mejor ilustración y comprensión de estos puntos relativos a la ruta crítica, al diagrama de Gantt y al Cálculo del Factor de Aceleración.

4.10 Determinación de las Aceleraciones

Las aceleraciones son realizadas hasta que los costos directos e indirectos den un resultado de una curva óptima y costo óptimo.

En el caso de la presente se observa que de las 6 aceleraciones, la cuarta aceleración nos indica el óptimo.

Las aceleraciones se ven en las Figs. 4.6 a, b, c, d, e, f, y el cuadro de resultados y curva de costos en el cuadro 4.4 y Gráfico 4.2.

4.11 Control del Proyecto

Al ejecutar un proyecto el jefe responsable está obligado a controlar el trabajo para ver cual es la probabilidad de cumplimiento del

proyecto.

Se evalúa de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{b - a}{6}$$

σ = Desviación estandar

b = Tiempo pesimista

a = Tiempo optimista

La desviación total del proyecto se calcula con la fórmula:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \dots + \sigma_n^2}$$

(A, B, N, = actividades críticas).

Si se desea saber cual es la probabilidad de que la obra se termine dentro del tiempo Tx.

$$Z = \frac{T_x - T}{\sigma}$$

z = Probabilidad de cumplimiento del proyecto.

Tx = Tiempo supuesto

T = Tiempo de la red o duración del proyecto.

σ_p = Desviación estandar del proyecto solamente de las actividades críticas.

A continuación se presenta los cálculos pertinentes.

$$\sigma_a = \frac{12 - 2}{6} = 1.66$$

$$\sigma_b = \frac{6 - 2}{6} = 0.66$$

$$\sigma_B = \frac{13 - 4}{6} = 1.50$$

$$\sigma_E = \frac{7 - 2}{6} = 0.83$$

$$\sigma_H = \frac{3 - 1}{6} = 0.33$$

$$\sigma_L = \frac{3 - 1}{6} = 0.33$$

$$\sigma_N = \frac{3 - 1}{6} = 0.33$$

$$\sigma_O = \frac{3 - 1}{6} = 0.33$$

$$\sigma_R = \frac{10 - 2}{6} = 1.33$$

$$\sigma_T = \frac{3 - 1}{6} = 0.66$$

$$\sigma_V = \frac{6 - 2}{6} = 0.66$$

$$\sigma_X = \frac{10 - 2}{6} = 1.33$$

$$\sigma_P^2 = \sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \sigma_B^2 + \sigma_E^2 + \sigma_H^2 + \sigma_L^2 + \sigma_N^2 + \sigma_o^2 + \sigma_R^2 + \sigma_V^2 + \sigma_x^2$$

$$\sigma_P = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \sigma_B^2 + \sigma_E^2 + \sigma_H^2 + \sigma_L^2 + \sigma_N^2 + \sigma_o^2 + \sigma_R^2 + \sigma_V^2 + \sigma_x^2}$$

$$= \sqrt{1.66^2 + 0.66^2 + 1.5^2 + 0.83^2 + 0.33^2 + 0.33^2 + 0.33^2 + 1.33^2 + 0.33^2 + 0.66^2 + 1.33^2}$$

$$\sigma_P = \sqrt{10.648}$$

$$\sigma_P = 3.263$$

Cálculo de Probabilidad de Terminar la Obra en 45 días

$$Z = \frac{TX - T}{P} = \frac{45 - 40}{3.263} = 1.53$$

Cálculo de Probabilidad de Terminar la Obra en 39 días

$$Z = \frac{38 - 40}{3.263} = 0.6129$$

$$Z = - 0.6129 \text{ En la tabla } .7291$$

La probabilidad de terminar en 38 días es:

$$1.0000 - 0.7291 = 0.2709$$

$$\text{o sea} = 27.09 \%$$

(Z de la tabla 5.1)

Solución de Compromiso

Se observa que de acuerdo con la curva de Costo del Proyecto, el punto óptimo se alcanza con la cuarta aceleración, esto es desde el punto de vista económico ya que el costo total alcanza su valor más bajo, pero por otro lado la probabilidad de terminar la obra en el tiempo requerido (36 días) es del 12%.

Si consideramos 39 días como meta de finalización de la obra nuestras posibilidades en este caso serían del 40 % pero el costo total se eleva a 125,000 dólares.

Ahora bien, la pregunta es obvia ¿qué criterio debe primar?

Sacrificar el costo en aras de una mayor certidumbre de tener la obra lista en menos tiempo o tener menor costo con una probabilidad menos de acabalarla.

En este caso se debe tener en cuenta condiciones externas, como son las condiciones de operación, como afecta la producción, si su entrega en mayor tiempo paralizará otros equipos, etc.

Generalmente estas decisiones las toma la Gerencia Técnica.

Pero se debe tratar de que prime un criterio Técnico y no tratar de tener el trabajo listo en menos tiempo en un afán de aumentar la pro

ducción o reducir costos, pues al tener pocas probabilidades de tener a tiempo el trabajo, hace que se descuiden algunos factores como los de seguridad y chequeo del trabajo.

El factor humano es propenso a equivocarse cuando está sujeto a presiones.

Por otro lado puede suceder que un trabajo acelerado ocasione en un futuro cercano más pérdidas de la que se pudo ahorrar al acelerarlo. Toda solución que se adopte deberá ser hecha de acuerdo a las circunstancias y mayormente la experiencia dictará las pautas a seguir. En el caso tomado como ejemplo de la Reparación de Una Locomotora se puede adoptar el acelerar la obra en un día con lo que el costo se reduce en un 3% y las probabilidades de terminar la obra sólo en un 10%.

4.12 Ventajas de la Programación Mediante Redes

Las ventajas que ofrece la programación mediante redes, pueden resumirse de la siguiente manera:

- a) Permite que se desplieguen las inter-relaciones de las tareas individuales en forma gráfica.
- b) Es un plan que muestra el flujo de trabajo, y el tiempo asignado.
- c) Se muestra la secuencia crítica de los trabajos; por lo tanto, se pueden concentrar los recursos donde sean más útiles.

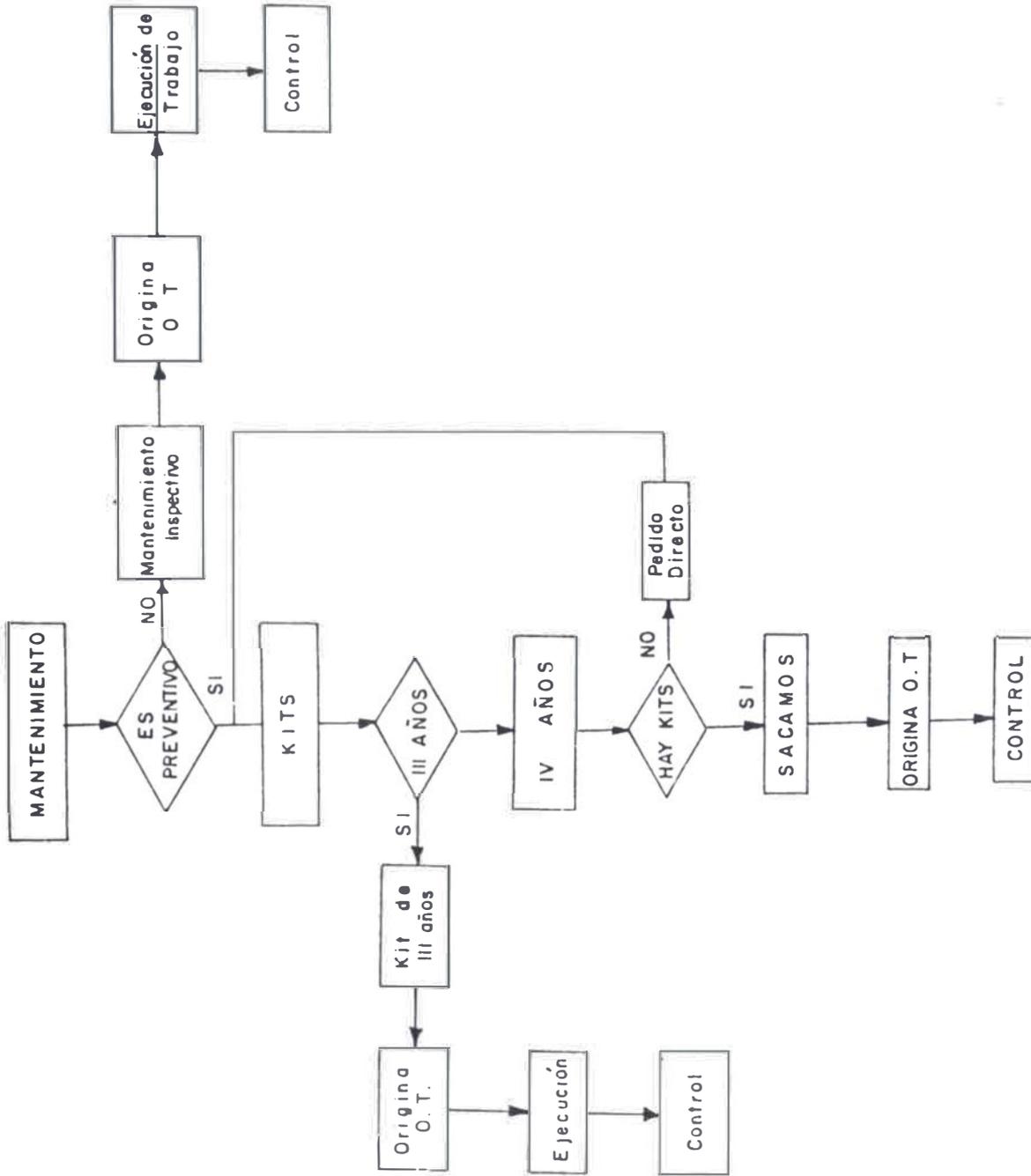


FIG. 4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO

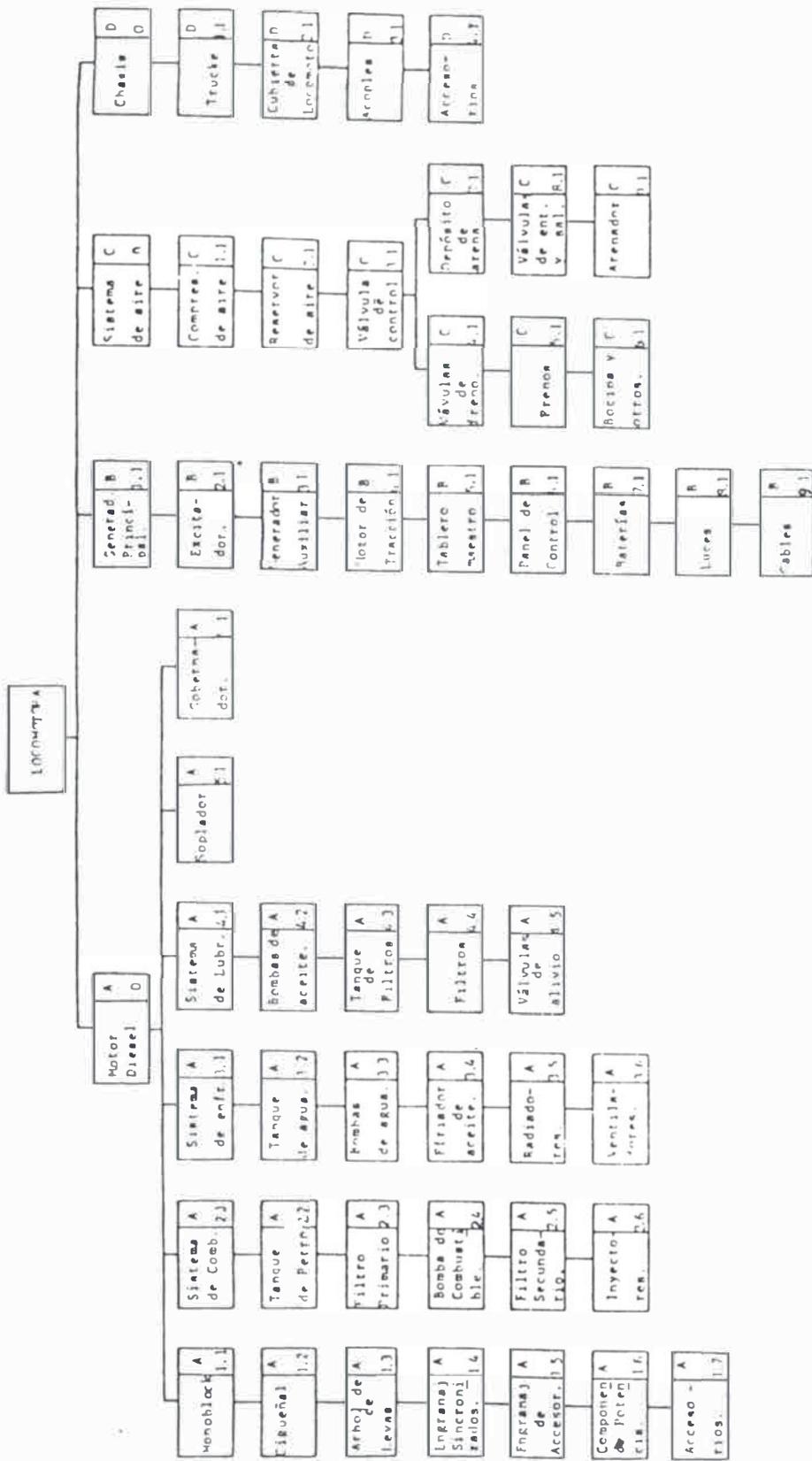
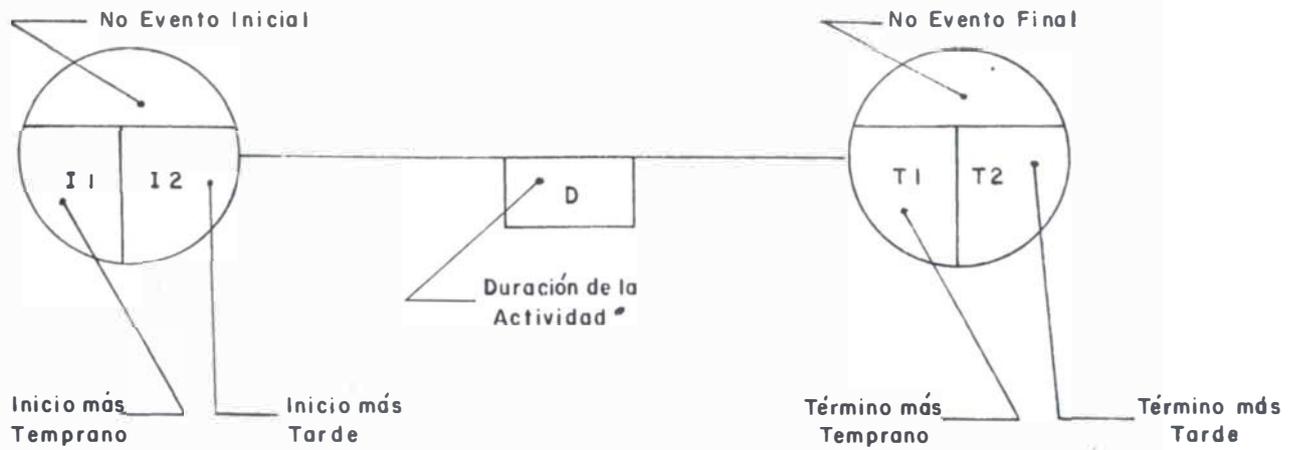
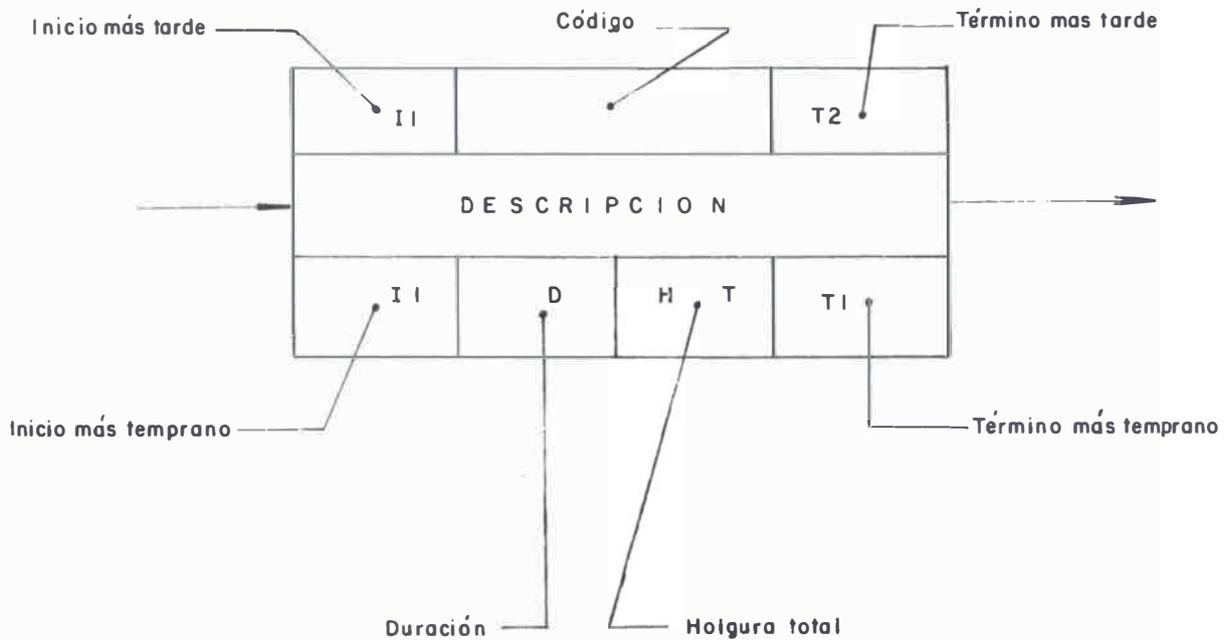


FIG. 4.2 DIAGRAMA DEL FIUC : IONICITA S.A.D.



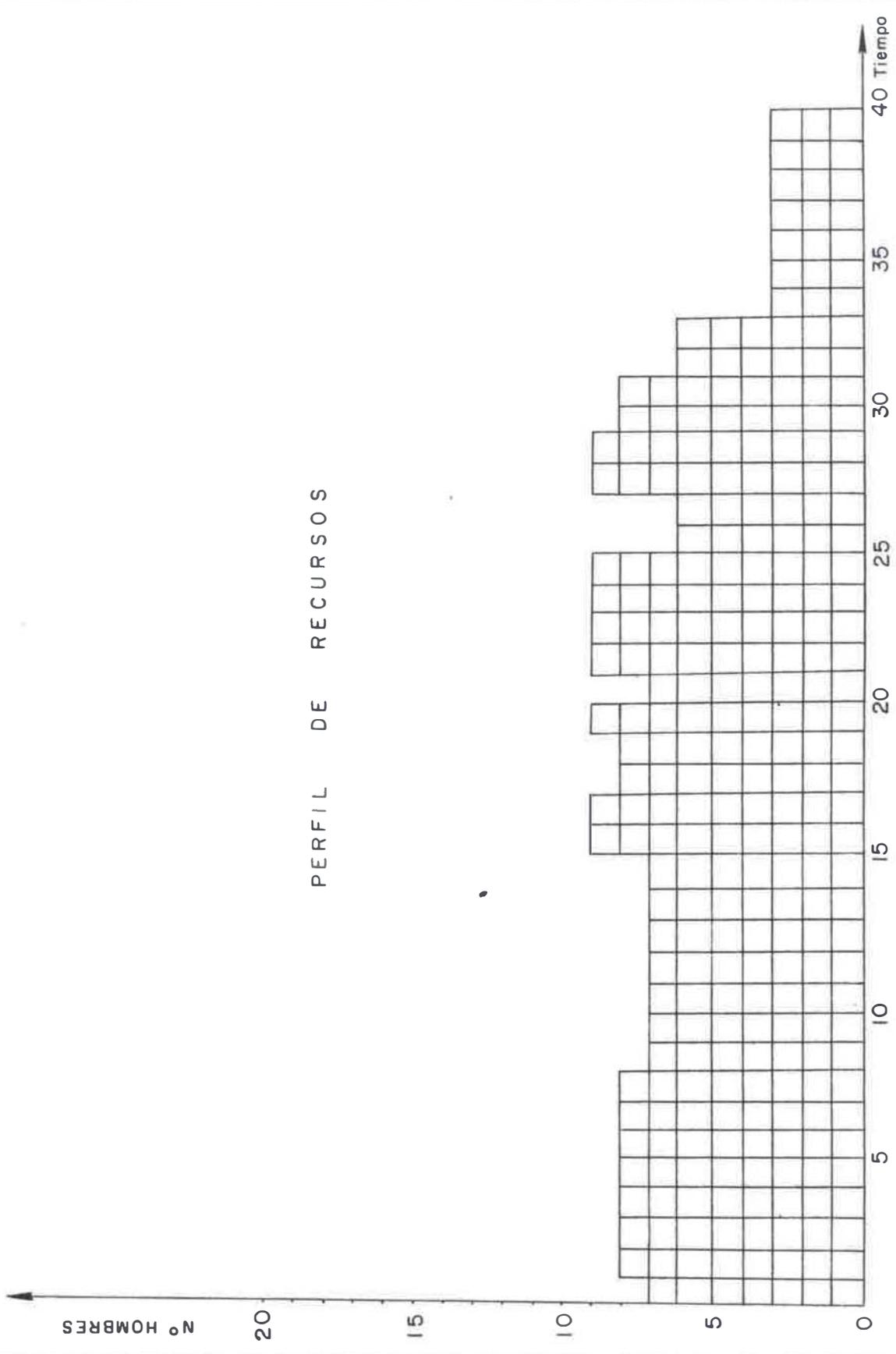
SISTEMA DE FLECHAS
(a)



SISTEMAS DE PROCEDENCIAS
(b)

Fig. 4.3

PERFIL DE RECURSOS



GR. FIGO 4.1

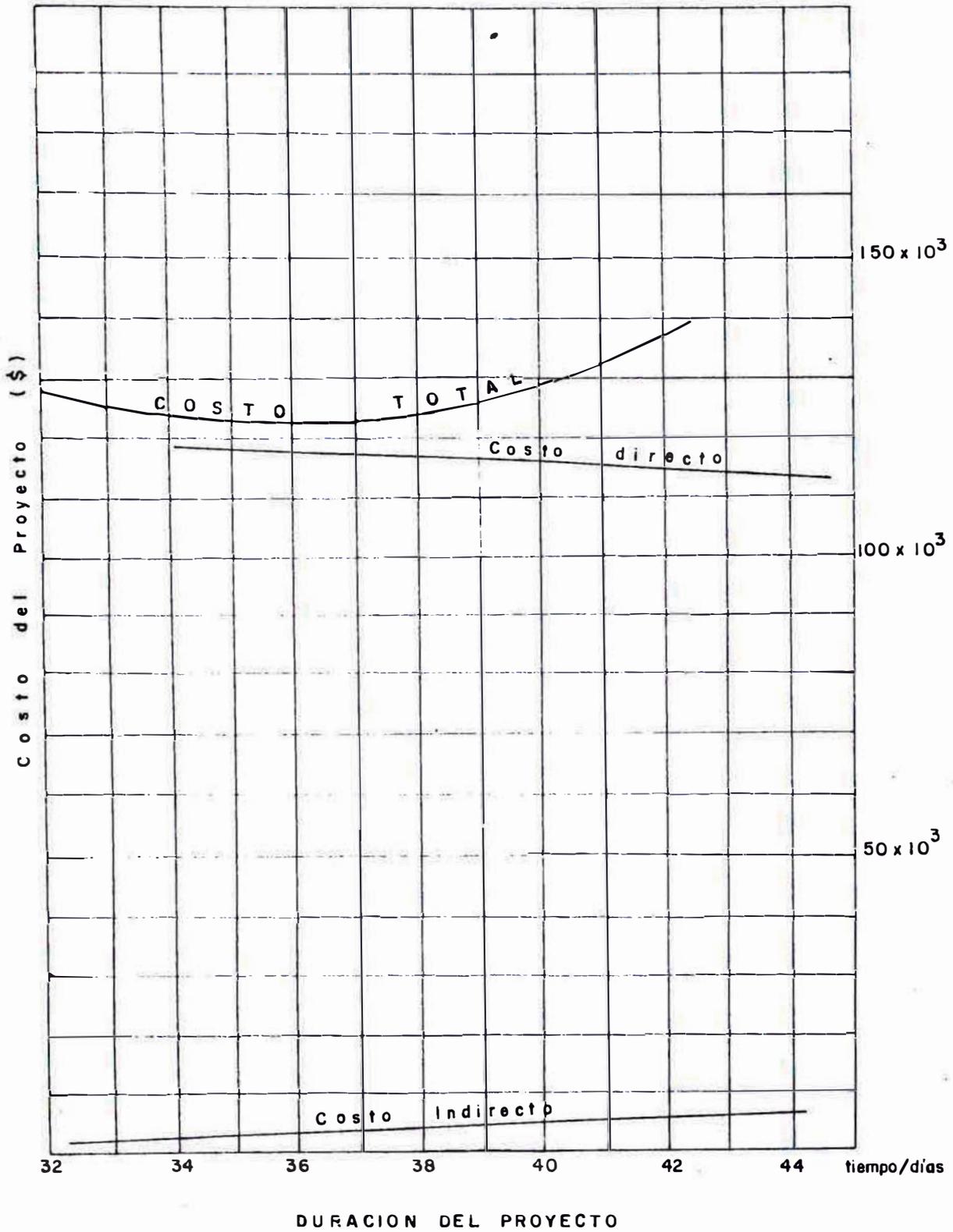


GRÁFICO 4.2

TRABAJO: _____		DEPARTAMENTO RESPONSABLE	REPARACION Locomotoras	TALLER ELECTRICICO	TALLER AIRE	TALLER FAB.	TALLER TORNOS	TALLER CARPINTERIA	TALLER TRANSPORTES	TALLER RADIAADORES	TALLER MOTORES
N° ORDEN: _____	DESCRIPCION DE LA TAREA										
a.	Requisición	P									
b.	Desensamble	P	S								
A.	Traslado y Arenado de Cabina				S						
B.	Arenado y Pintura Base a Platf.				S						
C.	Ensamble de Trucks	P	S								
D.	Trabajo de Sold. Cabina y Chasis.				S						
E.	Preparación de Plataforma.	P									
F.	Pintura a los Trucks	P									
G.	Pintura Base a la Cabina.	P									
H.	Instalación del Motor Diesel	P									
I.	Instalación del Sistema de Aire.			S							
J.	Instalación de los Trucks	P	S								
K.	Instalación de Soplador T/M.	P									
L.	Inst. de Generador Princ. y Aux.	P	S								
M.	Instalación Eléctrica		P								
N.	Inst. de Comp. y Enfriador aceite.	P								S	
O.	Instalación de Carbolv.	P									
P.	Chequeo de Paneles Eléctricos.		P								
Q.	Trabajo de Carpintería.							S			
R.	Alineamiento General	P									
S.	Inst. de Radiadores y Ventilador.	P					S				
T.	Instalación de Guías (Tornos)						S				
U.	Instalación de Vidrios, N°5	P						S			
V.	Prueba	P	S								
W.	Ajustes y Limpieza.	P									
X.	Pintura General.	P									

CUADRO DE PRECEDENCIAS

CODIGO	DESCRIPCION	NORMAL		ACELERADO		ACTIVIDAD PRECEDENTE
		DURACION	COSTO	DURACION	COSTO	
a	Requisición	5	1 667	4	1 777	-
b	Desensamble	3	139	2	247	a
A	Traslado y Arenado de cabina	7	677	6	797	b
B	Arenado y Pintura Base a la plataforma	7	661	6	744	b
C	Ensamble de Trucks	12	50332	8	50470	a
D	Trabajo desoldadura a la cabina y chasis	4	690	3	802	A
E	Preparación de plataformas	4	122	3	227	B
F	Pintura de los Trucks	3	96	2	170	C
G	Pintura base a la cabina	2	87	1	196	D
H	Instalación Motor Diesel	2	42896	1	42971	E
I	Instalación del sistema aire	2	302	1	386	E
J	Instalación de Trucks	2	74	1	148	F
K	Instalación del Soplador de T/M	2	67	1	133	H
L	Instalación Generador Principal y Auxiliar	2	7222	1	7302	H
M	Instalación Eléctrico	6	6000	3	6119	H
N	Instalación de Compresor y enrit fuerte	2	3315	1	3431	L
O	Instalación de cabina	2	218	1	327	G, K, N
P	Chequeo Canales Eléctricos	2	600	1	674	M, J
Q	Trabajo de Carpintería	2	227	1	296	O
R	Alineamiento General	4	114	3	222	O
S	Instalación	2	239	1	314	O
T	Instalación Guías al motor Gral. y Compr	2	80	1	165	R
U	Instalación de vidrios y números	2	150	1	236	O
V	Pruebas	3	513	2	624	T
W	Ajuste generador y Limpieza	2	73	1	120	S, P
X	Pintura general	4	236	3	348	V, W, U

NOTA: Los costos son en U.S. \$ a mayo 1983

CODIGO	NORMAL		ACELERADO		F. A.	ACELERACIONES											
	DURAC.	COSTO	DURAC.	COSTO		1°		2°		3°		4°		5°		6°	
						DUR.	AC.	DUR.	AC.	DUR.	AC.	DUR.	AC.	DUR.	AC.	DUR.	AC.
a	5	1667	4	1777	110												
b	3	139	2	247	108											108	
A	7	677	6	797	120												
B	7	661	6	744	83			1	83	1	83						
C	12	50332	8	50470	35												
D	4	690	3	802	112												
E	4	122	3	227	105									1	105		
F	3	96	2	170	74												
G	2	87	1	196	109												
H	2	42971	1	42971	75												
I	2	302	1	386	84												
J	2	74	1	148	74												
K	2	67	1	133	66												
L	2	7222	1	7302	80	1	80										
M	6	6000	3	6119	40												
N	2	3315	1	3431	116												
O	2	218	1	327	109												
P	2	600	1	674	74												
Q	2	227	1	296	69												
R	4	114	3	222	108										1	108	
S	2	239	1	314	75												
T	2	80	1	165	85							1	85				
U	2	150	1	236	86												
V	3	513	2	624	111												
W	2	73	1	120	47												
X	4	236	3	348	112												
					TOTAL	80	83	83	83	85	85	105	105	216			

COSTO DIRECTO	116797	116877	11690	117043	117128	117233	117449
COSTO INDIRECTO	4000	3900	3800	3700	3600	3500	3300
COSTO TOTAL	120797	120777	120760	120743	120728	120733	120749
	NORMAL	1º AC.	2º AC.	3º AC.	4º AC.	5º AC.	6º AC.

$$\frac{CA - CN}{DN - DA} = FA$$

(Fig. 518)

CUADRO 4.4 b

Conclusiones y Observaciones

- a) En la industria no es lo más frecuente tener que calcular integralmente las máquinas nuevas sino que se deducen éstas de las ya construídas mediante la transformación de algunas dimensiones.
- b) Todas las máquinas eléctricas mencionadas en este trabajo, tienen tres elementos en común. Estos son: el hierro activo para la conducción del flujo magnético, el bobinado para conducir la corriente eléctrica y el hierro inactivo u otros materiales apropiados a los otros dos elementos. Diferencias significativas en el número, arreglo y construcción de los bobinados y del hierro activo producen diversas características de performance.
- c) Los motores modernos son mucho más pequeños y ligeros que los motores de algunos años atrás. Ellos están precisamente diseñados para un rango exacto y es el resultado de la mejor calidad de los materiales y el mejoramiento de la técnica manufacturera.
Para obtener la máxima eficiencia y confianza de estos motores se debe tener el mayor cuidado en su aplicación, control y protección.
- d) Los nuevos materiales aislantes descubiertos, así como el mejoramiento de los barnices de alta temperatura ha permitido incrementar enormemente la vida de servicio de los motores y obtener motores más pequeños de igual potencia que los grandes de hace pocos años.
- e) Todos los autores y técnicos consultados, están de acuerdo en tener como limitación en cantidad de saturación, la permitida en la cantidad de hierro de la ranura más baja (Below Slot Iron).
La cantidad usada aquí es entre 90,000 a 95,000 líneas por pulgada cuadrada. Pero no todos están de acuerdo en el otro límite. Muchos sostienen que la saturación en los dientes es el otro límite.

Muchos otros y por el cual nos inclinamos, sostienen que es la densidad de flujo en el entrehierro, el otro factor limitante. Todo diseño es basado sobre la transmisión del máximo flujo usable a través del entrehierro hacia el rotor que a su vez nos da la salida mecánica. Si esto sucede, entonces para cualquier largo de ranura y diámetro interior del núcleo, la optima densidad en el entrehierro es menor ó igual a la saturación en el diente, esto está basado en un razonamiento que escapa a este trabajo y probado en el chequeo de tablas de fuentes internacionales para valores de BSI, saturación en el diente y en el entrehierro.

En las tablas que hemos usado la densidad de flujo usado está entre 38,000 y 42,000 líneas por pulg.².

- f) Este es un trabajo eminentemente práctico, por lo que no se pretende reemplazar ningún manual de diseño de máquinas existentes, pero sí permitir que cualquiera pueda chequear en forma rápida un bobinado con bastante exactitud ó rediseñar alguno existente.

Hemos encontrado que mediante las tablas aquí presentadas se ha ahorrado tiempo y trabajo en la solución de los diversos problemas que se presentan a diario, sobre todo en una empresa donde el factor tiempo y operación son críticos.

Lo más interesante en el uso de las diversas tablas, es que sólo cuatro medidas deben ser hechas:

- 1) Número de ranuras
- 2) Diámetro interno del núcleo (b)
- 3) Largo del paquete laminado ó ranura (l)
- 4) Cantidad de hierro bajo la ranura mas baja (B.S.I.)

Con estos datos se puede hallar el número de vueltas determinación

de la potencia de un motor, equivalencia de alambres en paralelo, conversión estrella-delta, etc. Con respecto al capítulo "Reparación por Programa" podemos decir:

- a) El gran número de operaciones que tiene que desarrollarse para lograr el eficiente funcionamiento de los complejos minero-metalúrgicos de S.P.C.C., requiere de una fuerza laboral altamente calificada, recursos y equipos suficientes para la naturaleza de sus operaciones.
- b) La planificación del sistema de mantenimiento preventivo ha simplificado el trabajo de mantenimiento por el adecuado uso de los recursos disponibles con el consiguiente ahorro económico.
- c) Los costos de mantenimiento experimentan un nivel óptimo con un grado de alta efectividad por dos razones fundamentales.
 - 1) Los costos directos experimentan disminución por el control computarizado del sistema.
 - 2) Los costos indirectos se incrementan a ritmo acelerado por factores políticos del país y por el costo del cobre en el mercado mundial.
- d) Por otro lado los costos de mantenimiento son difíciles de establecer pues se ven afectados por un factor de escalonamiento que es función de lo siguiente:
 - 1) Algunos materiales utilizados especialmente las bobinas preformadas y material aislante, deben ser adquiridos en el extranjero, estos costos en moneda nacional se ven afectados conforme varíe la relación de nuestra moneda con las de otros países.
 - 2) Los sueldos y salarios están sufriendo incrementos debidos

al alza del costo de vida lo que también afecta a los productos fabricados en el país.

- e) Dentro de los materiales de mantenimiento, el Sistema Kt es un sistema dinámico que ha permitido al Departamento de Mantenimiento ahorro económico significativo debido a los descuentos que realizan los proveedores y porque mediante la utilización de este sistema el costo de almacenamiento es nulo.
- f) Los cálculos adecuados del sistema nos han permitido reducir los costos de reparación, debido a que las piezas recuperables son enviadas a EE.UU. y no necesariamente se espera que termine su vida útil, lo que en otras palabras sería realizar un mantenimiento preventivo antes que un correctivo.

Aprovechando el sistema de "Exchange" de algunas empresas de EE. UU. mediante la cual se les envía el equipo a reparar y ellos envían otro equipo nuevo o reparado por el que se envió por lo que el tiempo de espera por la máquina a reparar es mínimo.

Es con este sistema que se llegan a abaratar los costos con el método de Reparación Por Programa.

BIBLIOGRAFIA

- * Multispeed and standard squirrel cage motors from datarule Publishing Comapany.
- * Electrical Fundamentals for Technicians de Robert L. Shrader.
- * ¿Quienes Somos?, Publicación del Departamento de Comunicaciones de Southern Perú Copper Corporation.
- * "Técnicas de Programación Mediante Redes" del Dpto. de Entrenamiento Cuajone, 1981
- * "Electric Motor Repair Shop" de Samuel Heller
- * National Electric Code
- * Artículos de la revista "Electrical Construction and Maintenance"
- * Artículos de la revista "World Mining"
- * Artículos de la revista "Electric Machinery MFG"
- * Catálogos de: " Potter & Rayfield, Inc. "
 - " Enterprises "
 - " Martindale "
 - " Clayton "
 - " Enerpac "

ANEXO

=====

CAPITULO II

- Fig. 2.A.1 Horno Eléctrico Grieve Hendry Modelo VB-500
- Fig. 2.A.2 Horno Electrico Modelo 333-E
- Fig. 2.A.3 Horno Eléctrico Modelo 6712-ETC
- Fig. 2.A.4 Horno Quemador Bayco Modelo BB-150
- Fig. 2.A.5 Extractor Hidraulico de 60 Toneladas
- Fig. 2.A.6 Cortador de Mica Modelo 62
- Fig. 2.A.7 Cortadora de Mica Tipo 10
- Fig. 2.A.8 Máquina Tensora para pones Bandas Tipo PB
- Fig. 2.A.9 Cortadora de Mica Tipo Industrial Modelo HA-2
- Fig. 2.A.10 Máquina Embobinadora Tipo WV
- Fig. 2.A.11 Torno para pner Bandas Tipo FA
- Fig. 2.A.12 Máquina Embobinadora Tipo FF
- Fig. 2.A.13 Cortadora de Bobinas Lancer
- Fig. 2.A.14 Probador Universal de Estatores y Rotores
- Fig. 2.A.15 Probador de aislamiento (Hypot) Tipo H18
- Fig. 2.A.16 Generador de Onda Baker
- Fig. 2.A.17 Dinamómetro Modelo DM-600
- Fig. 2.A.18 Extractor de Bobinas de Estatores SW
- Fig. 2.A.19 Máquina Descarbonizadora SW

CAPITULO III

- Gra. 3.A.1 Nomograma para hallar los valores BxBxL
- Gra. 3.A.2 Nomograma para hallar factor de cambio de vueltas en bobinados
- Gra. 3.A.3 Nomograma para hallar la ecuación $HP = RPM \times \frac{Torque}{5252}$
- Gra. 3.A.4 Nomograma para hallar la ecuación $HP = RPM \times \frac{Torque}{5252}$
- Gra. 3.A.5 Calibre de salida de motores versus amperios para varias clases de aislamiento.
- Gra. 3.A.6 Nomograma, voltios versus vueltas.
- Gra. 3.A.7 Nomograma de equivalencia de alambre.

CAPITULO IV

- Cua. 4.A.1 Tabla de Valores de Funcion de Distribución Normal Standard