

UNIVERSIDAD DON BOSCO



***“PROGRAMA DE DISEÑO DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS
ELECTROMECAÑICOS FASE I: TRANSFORMADORES SECOS”***

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREPARADO PARA LA FACULTAD DE
INGENIERÍA PARA OPTAR AL GRADO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

POR

WILFREDO MONROY MORALES



MARZO - 2002

SOYAPANGO

- EL SALVADOR -

CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DON BOSCO

RECTOR
ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET

SECRETARIO GENERAL
HERMANO MARIO OLMOS

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
ING. CARLOS BRAN

ASESOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN
ING. ANSELMO VALDIZON EVANGELISTA

JURADO EXAMINADOR
ING. JORGE ALBERTO BASAGOITIA
ING. SATURNINO GAMEZ GUADRON

UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELÉCTRICA

**“PROGRAMA DE DISEÑO DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS
ELECTROMECAÑICOS FASE I: TRANSFORMADORES SECOS”**

JURADO EVALUADOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN



ING. JORGE ALBERTO BASAGOITIA
JURADO



ING. SATURNINO GAMEZ GUADRON
JURADO



ING. ANSELMO VALDIZON EVANGELISTA
ASESOR

DEDICATORIA.

- **A DIOS TODOPODEROSO POR DARMELA VIDA, Y LA RAZON DE MI EXISTENCIA.**
- **A MIS PADRES BENIGNO Y OFELIA, POR AYUDARME Y GUIARME POR EL BUEN CAMINO SIEMPRE.**
- **A MI ESPOSA IRMA, POR TODO SU AMOR Y COMPRESIÓN, EN LOS MOMENTOS MAS DIFÍCILES DE MI CARRERA.**
- **A MI HIJO MARIO ALEXANDER, POR HABERLE QUITADO MOMENTOS DE DIVERSIÓN, SOLAZ Y ESPARCIMIENTO.**
- **A MIS HERMANOS, GUADALUPE, DANIEL, CRISTINA, LUCY, LUIS, RAUL, MARGARITA, POR SU APOYO MORAL.**
- **A MIS SOBRINOS, CON TODO MI AMOR Y CARIÑO.**
- **A MIS TIOS, ESPECIALMENTE A GUAYO, POR SU AYUDA.**
- **A MIS FAMILIARES Y AMIGOS, MUCHAS GRACIAS.**

WIL MONROY

AGRADECIMIENTOS.

- **AL ING. ANSELMO VALDIZÓN, POR SU ASESORIA DURANTE EL DESARROLLO DE ESTA TESIS.**
- **AL ING. JORGE BASAGOITIA Y AL ING. SATURNINO GÁMEZ POR HABER ACEPTADO SER LOS JURADOS EVALUADORES DEL PRESENTE TRABAJO.**
- **AL ING. FEDERICO MÉNDEZ POR SU AYUDA DURANTE EL DESARROLLO DEL PRESENTE TRABAJO.**
- **A TODAS LAS PERSONAS QUE DE UNA U OTRA FORMA ME BRIDARON SU AYUDA.**

OBJETIVOS.

- **Objetivo General.**

Realizar un estudio para el diseño del proceso para la fabricación de transformadores secos de baja tensión.

- **Objetivos Específicos.**

- Realizar un estudio para conocer el proceso para la fabricación de transformadores secos y su factibilidad.
- Determinar los detalles del control de calidad y adquisición de materiales para el proceso de fabricación de transformadores secos.
- Determinar los detalles de la función de la maquinaria, sin pretender el diseño de las mismas, involucradas en el proceso de construcción de transformadores secos.

ÍNDICE.

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	3
CAPITULO I. <u>Definir el proceso de adquisición de la materia prima para la fabricación en serie de transformadores.</u>.....	4
CAPITULO II. <u>Plantear el proceso de control de calidad de los materiales y la materia prima para la fabricación de los transformadores.</u>....	19
2.1. CONTROL DE CALIDAD DE LAS LÁMINAS.....	20
2.1.1. Análisis ferromagnético del material usado para la fabricación el núcleo.....	20
2.1.2. Composición química del material.....	20
2.1.3. Resumen de la prueba espectrométrica o espectrometría.....	21
2.1.4. Resumen del análisis (comparación con los patrones).....	22
2.1.5. Resultados obtenidos de la prueba espectrométrica.....	23
2.1.6. Prueba de dureza.....	24
2.2. CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES AISLANTES Y CONDUCTORES.....	27
CAPITULO III. <u>Establecer el proceso de fabricación para cada componente en el ensamble de los transformadores.</u>.....	33
3.1. <u>Cálculos de diseño generales para encontrar las características técnicas de transformadores.</u>.....	40
3.2. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL NÚCLEO.....	49
3.3. PROCESO DE CORTE DE LAS LAMINAS PARA EL NÚCLEO.....	54
3.3.1. Diseño de la matriz cortadora de lámina (troquel) [8].....	54
3.3.2. Proceso productivo para la fabricación del núcleo. I [7].....	57

	Página
3.3.3. Proceso productivo para la fabricación del núcleo. II [7].....	60
3.3.4. Evolución de un troquel Progresivo Cortador [7], [8].....	63
3.4. ELABORACIÓN DE LOS CARRETES.....	75
3.4.1. Carretes de cartón [7].....	75
3.4.2. Carretes de plástico inyectado.....	77
3.5. PROCESO INDUSTRIAL PARA LA FABRICACIÓN DE LOS CARRETES [9].....	80
3.5.1. <u>Alternativas de Carretes Termoplásticos para Algunos Valores de Potencias Estándares</u>	92
3.6. Control de Calidad.....	95
3.6.1. Control de calidad durante el proceso.....	95
3.6.2. Control de calidad dimensional.....	95
3.6.4. Control de calidad de transformadores terminados.....	110
3.6.5. Caja del transformador e instructivo [7].....	117
3.7. Consideraciones de temperatura, impedancia, BIL y protección para los transformadores.....	118
3.7.1. Nivel básico de aislamiento al impulso (BIL) [13].....	118
3.7.2. Valores típicos de impedancia para los transformadores. Medición de la impedancia.....	121
3.7.3. Rangos de temperatura de aislamiento.....	123
3.7.4. Protección de los transformadores.....	125
 CAPITULO IV. <u>Requerimientos funcionales de la maquinaria y equipo para los procesos de una planta</u>	 126
4.1. EQUIPO UTILIZADO EN EL CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES.....	128
4.1.1. ESPETRÓMETRO DE PRECISIÓN [14].....	128
4.1.2. MÁQUINA DIA TESTOR PARA LA PRUEBA DE DUREZA [6], [7].....	129

4.1.3. FUENTE DE ALTA TENSIÓN, AMPERÍMETRO Y VOLTÍMETRO PARA LA PRUEBA DE MATERIALES AISLANTES PARA LOS CARRETES [7].....	131
4.1.4. TENAZAS, PINZAS, CUCHILLAS Y DEMÁS ELEMENTOS NECESARIOS PARA REALIZAR DIVERSOS TIPOS DE CONEXIONES [7].....	133
4.2. MAQUINAS UTILIZADAS EN EL PROCESO PRODUCTIVO.....	134
4.2.1. PRENSA TROQUELADORA.....	134
4.2.2. CUCHILLA CORTADORA SEMIAUTOMÁTICA.....	135
4.2.3. MAQUINA CON RODILLOS: TRASPORTADORA DE LAMINA...	136
4.2.4. MAQUINA CONTROLADORA DEL PROCESO DE CORTE Y FRENADO DE LA LAMINA.....	138
4.2.5. CUCHILLA CORTADORA AUTOMÁTICA.....	140
4.2.6. MAQUINA TRASPORTADORA DE CORTE FINAL [7].....	142
4.2.7. MÁQUINA DE INYECCIÓN UTILIZADA PARA FABRICAR LOS CARRETES DE LAS BOBINAS [15].....	143
CAPITULO V. <u>Distribución en planta y los requerimientos de energía de la misma [7], [16]</u>.....	156
CAPITULO VI. <u>Establecer los procesos que deben desarrollarse en otras disciplinas de la ingeniería relacionadas con la fabricación de transformadores secos. Consideraciones importantes dentro del proceso.</u>.....	158
6.1. <u>Establecer las áreas de investigación y desarrollo tecnológico relacionadas con la fabricación de transformadores y máquinas eléctricas en general.</u>	160
6.2. <u>Diagrama de flujo global del proceso de Producción de Transformadores [7]</u>	163
6.3. <u>Diagrama de flujo para el proceso de construcción del núcleo.</u>	164

	Página
6.4. <u>Beneficios objetivos del trabajo [7]</u>.....	166
CONCLUSIONES.....	168
GLOSARIO.....	170
BIBLIOGRAFÍA.....	172
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo de graduación tiene por objetivo principal el estudio de los procesos electromecánicos para la construcción de transformadores secos.

El trabajo se divide en diversas etapas las cuales se interrelacionan entre sí, ya que diversos capítulos y apartados hacen referencias o aclaraciones con respecto a otros capítulos, y además, todos los temas tienen diversos enlaces, aclaraciones o diagramas que hacen mucho mejor la comprensión del documento.

El documento cubre las siguientes etapas:

- a. En los capítulos I y II, además de los anexos, se hace referencia a los procesos de adquisición de materiales y el control de calidad de los mismos. En los anexos se muestra la bibliografía sugerida para la obtención del material que describe los procesos metalúrgicos, y las direcciones y los catálogos para la complementación de los procesos. Para lograr este objetivo en su totalidad debe hacerse una inversión inicial en dólares.
- b. En el capítulo III se muestran los procesos de fabricación de los componentes para la construcción de transformadores, además se consideran las características técnicas estándares para transformadores de baja tensión.
- c. En el capítulo IV se consideran los requerimientos funcionales de la maquinaria y equipo para los procesos requeridos en una planta industrial. Es muy importante aclarar que el objetivo de los esquemas es ilustrar la función de cada máquina, y no pretende el diseño de las mismas, sino dar una guía y metodología para su eventual adquisición.
- d. En los capítulos V y VI se ilustra una sugerencia de la distribución en planta de los procesos y además se dan a conocer otras posibles áreas que pueden considerarse objeto de estudio de otros trabajos de graduación.

Hay otras áreas muy importantes y que por diferentes razones, entre ellas que no corresponden a los objetivos del presente trabajo, no se alcanzaron a cubrir y corresponde a futuros trabajos de graduación.

Algunas de estas áreas y los posibles desarrolladores de las mismas se mencionan a continuación:

- Costos y estudios de mercado: Ingeniería Industrial.
- Automatización: Ingeniería Mecánica o Eléctrica.
- Procesos constructivos electromecánicos de otras áreas: Ingeniería Mecánica o Eléctrica.

El contenido del presente trabajo es muy importante y puede dar la pauta para el desarrollo de proyectos similares en áreas como las que se mencionaron anteriormente.

Nota: Durante todo el trabajo se hace referencia al material bibliográfico utilizado para la realización de este documento. Cuando el lector encuentre un número entre corchetes y en negrilla, puede remitirse a la bibliografía para observar la fuente de referencia. Por ejemplo: **[7]** indica que se puede hacer referencia a la bibliografía para observar la procedencia.

OBJETIVO GENERAL.

Determinar el proceso de producción en serie de pequeños transformadores, secos.

El objetivo general del presente trabajo es establecer el proceso para lograr la producción de transformadores secos de baja tensión.

El proceso tratará de generalizarse para transformadores secos de baja tensión, esto significa que independientemente de la potencia y/o características técnicas que posea un transformador determinado, siempre y cuando este sea de baja tensión (voltaje igual o menor de 600 V), el proceso para la producción en serie generalmente será el mismo ya que la materia prima y la maquinaria utilizada para la fabricación tendrán características similares, simplemente variará la cantidad del recurso utilizado y el tamaño de las máquinas según sea la potencia manejada por los transformadores, ya que mientras mayor sea la potencia del transformador mayor será su tamaño, y por consiguiente se utilizará más materia prima.

En el desarrollo del presente trabajo se determinarán los procesos para lograr la producción de transformadores secos de baja tensión, entre los cuales se pueden destacar:

- El proceso de adquisición de materiales y materia prima.
- El proceso de control de calidad de los materiales y de la materia prima.
- El proceso de fabricación para cada componente que conforma el ensamble de los transformadores: núcleos, carretes, bobinas, terminales de conexión, ensamble del núcleo y ensamblaje del transformador.
- Proceso del control de calidad para cada uno de los componentes que conforman el ensamblaje del transformador.

En el presente trabajo se presentarán los bosquejos funcionales de las diversas máquinas necesarias para poder finalizar satisfactoriamente cada uno de las etapas que conforman el proceso general, así como los equipos, instrumentos, planta industrial e instalaciones requeridas desde un punto de vista genérico.

Los diversos esquemas de las máquinas presentadas ilustran las partes funcionales involucradas con los procesos sin detallar la maquina en sí, esto debido a que lo importante es presentar la maquinaria que se utilizarán en cada una de las etapas de fabricación y cuyos diseños podrían variar en el momento de realizar las pruebas respectivas en la fabricación de los transformadores, aparte de que el diseño de tales máquinas pertenece a otra disciplina. El objetivo es sin embargo, establecer los requerimientos funcionales básicos que dichas máquinas deben satisfacer para la ejecución de los procesos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

CAPITULO I. Definir el proceso de adquisición de la materia prima para la fabricación en serie de transformadores.

La adquisición de materiales y de materia prima es muy importante dentro de un proceso de producción, la adquisición de materia prima al más bajo costo y con una calidad aceptable nos proporcionará mayores ganancias al momento de la venta del producto final.

También es muy importante conocer los diversos proveedores donde pueda adquirirse la materia prima para la producción de transformadores.

Existen dos posibilidades a considerar para la obtención de la materia prima para la construcción de transformadores:

- a) Suministros de materiales a nivel local.

b) Suministros de materiales importados.

Dentro del presente trabajo, en lo posible, se tratará de descartar la posibilidad del suministro de materiales importados ya que la idea es **la generación de tecnología a nivel local. Esto plantea el desafío tanto de la industria nacional como de los programas de investigación de las universidades el desarrollo de la tecnología propia.**

Los procesos de fabricación de transformadores en un principio probablemente sea más conveniente llevarlos a cabo parcialmente con suministros importados mientras no se tenga la tecnología para producirlos localmente; sin embargo esto limitará nuestra competitividad.

Para establecer el listado de materiales con sus especificaciones técnicas para el desarrollo de los procesos se tiene que recurrir a las características de los artículos a producir: Transformadores secos para operar con voltajes menores a 600 voltios y con potencias menores o iguales a 30kVA. Sin embargo, los procesos pueden extenderse a transformadores de cualquier tamaño y tensión de trabajo con las modificaciones pertinentes. Considerando que inicialmente se importarían algunos materiales y componentes se detalla a continuación el proceso a seguir:

1. Estudio de demanda del producto.
2. Selección de suministrantes de materiales.
3. Diseño de productos con factibilidad de venta.
4. Listado de materia prima, componentes y accesorios.
5. Cotización de materia prima, componentes y accesorios, incluyendo información técnica de los fabricantes.

6. Preparación de espacio de bodega para la recepción de suministros.
7. Procesos de compra, transporte y recepción de materiales.

El numeral 1 forma parte no solo del estudio de prefactibilidad para el establecimiento de una planta de producción, pero también es un elemento rutinario de adquisición de insumos para los procesos productivos.

El numeral 2 involucra un proceso constante de identificación de fuentes de suministro de insumos con el fin de contar con bases de datos tanto de tipo técnico como de tipo comercial para una eficiente adquisición de insumos. Para el caso, inicialmente se necesitarán suministrantes de lámina de acero al silicio tanto sin troquelar como troquelada; de conductores esmaltados de diferentes calibres y tipos; materiales para la fabricación de los carretes; materiales de aislamiento; accesorios y otros elementos para la terminación de bobinas, ensambles, bases y acabados.

A manera de ejemplo se tiene:

Suministro de lámina de acero al silicio.

Suministrante 1. DIDELCO S.A. DE C.V.

Dirección: Paseo General Escalón N° 4711, San Salvador, PBX: 264- 2922 FAX: 263- 6636. En esta se encontraron tres tipos de láminas de acero pero con bajo contenido de silicio.

Suministrante2. ElectroMercantil S.A de C.V.

Distribuidores de Materiales Eléctricos.

Conmutador: 271-4333 Fax:271-2880, 271-2873

7a. Av. Sur No 113, entre C. Arce y C. Rubén Darío, San Salvador, El Salvador,
C.A. Igualmente suministra lámina con bajo contenido de silicio.

Suministrante 3. MANELCA-ELECTRÓNICA TRAFIVAL.

Dirección: Av. Principal Paraparal. CC Tutankamon G1, Vía los Guayos.

Carabobo, Venezuela (ver anexos). Suministra lámina con porcentaje de silicio adecuado.

Material para carretes de las bobinas.

Para carretes de cartón:

-Cajas y Bolsas S.A. Presente y Futuro del Empaque .

Conmutador : 294-1811 al 17

Servicio al cliente : 294-1825

Fax:: (503) 294-1821

E-Mail: ventas@cydsa.sv

Apdo postal: 1239, S.S.

Bld. del Ejército Nacional Km 7 ½, San Salvador, El Salvador, C.A.

- Cartonera Centroamericana S.A. de C.V.

Tel: 294-1777

Bld. del Ejército Nacional Km 8 ½, San Salvador, El Salvador, C.A.

-D´Empaque S.A de C.V. Cajas.

Tels: 228-1511, 229-2107

Telefax: 228-1364

E-mail: dempaque@quik.elsv.com

4ta. Calle Oriente y 9a. Av. Sur No. 7, Nueva San Salvador.

1 cuadra al poniente de Muebles Molina.

Para carretes de plástico:

Los lugares adonde se puede adquirir la materia prima virgen en nuestro país son los siguientes:

- TYP. S.A. DE C.V. Tubos y Perfiles Plásticos, S.A. de C.V.
Tel (503) 278-1155 con 8 líneas troncales
e-mail: typsa.sal@cyt.net
Blvd. Pynsa. Ciudad Merliot, La Libertad, El Salvador, C.A.
Apartado postal (06) 1270
Fax: (503) 278-2151

- DYNATEC, S.A de C.V. Empresa petroquímica netamente salvadoreña trabajando para El Salvador y Centro América.
Tel. (503) 277-3066
Fax (503) 278-2151
Colonia Los Alpes contiguo a subestación CEL, Soyapango, San Salvador, El Salvador, C.A.
Apartado Postal (06) 1270

- EL PANDA. Plásticos
Tel. 278-8628
Tel. y Fax. 278-8553
Urbanización Jardines de la Hacienda, pol. A1-16 calle El Pedregal, Ciudad Merliot, La Libertad, El Salvador, C.A.

Suministro de conductores esmaltados.

Los lugares adonde se pueden adquirir diversos tipos de conductores en el país son los siguientes:

- Conelca. Phelps Dodge de El Salvador
Blvd. del Ejército Nacional km 11, Ilopango

Tels.: 295-0866, 295-0872, 295-0873

Fax: 295-0859, San Salvador, El Salvador, C.A.

- ElectroMercantil S.A. de C.V.

Conmutador: 271-4333

Fax: 271-2880, 271-2873

1a. Av. Sur No.113, entre C. Arce y C. Rubén Darío, San Salvador, El Salvador, C.A.

- Moeller. Distribuidor exclusivo: Prestegard Eléctrico S.A. de C.V.

Tels.: 222-2263, 222-1212, 222-2273, 271-1690

Telefax: 221-3850

prestegard@cibercon.com.sv

San Salvador, El Salvador, C.A.

Materiales de aislamiento.

- Surtielectric. Importación y Distribución Directa de Materiales.

Tels.: 281-1542

Fax: 221-1435

Av. España No. 520, San Salvador, El Salvador, C.A.

- ElectroMercantil S.A de C.V.

Distribuidores de Materiales Eléctricos.

Conmutador: 271-4333 Fax:271-2880, 271-2873

7a. Av. Sur No 113, entre C. Arce y C. Rubén Darío, San Salvador, El Salvador, C.A.

Suministro de Terminales y Elementos Adicionales.

- ElectroMercantil S.A de C.V.

Distribuidores de Materiales Eléctricos.

Conmutador: 271-4333 Fax:271-2880, 271-2873

7a. Av. Sur No 113, entre C. Arce y C. Rubén Darío, San Salvador, El Salvador, C.A.

- Casa Ama S.A de C.V.

Materiales Eléctricos para Alta y Baja Tensión. Industriales y Residenciales.

PBX: 225-1133, 225-1175, 225-1628, 225-1887

Fax: 225-8977

29 C. Pte. y 1a. Av. Norte No 118, San Salvador, El Salvador, C.A.

Apdo. Postal: (06) 453

- Matelectric S.A. de C.V. Todo lo relacionado con Materiales Eléctricos

Teléfonos : 271-1333, 271-1362, 221-0224

Fax : (503) 221-0236

5a. Calle Pte. No. 217, San Salvador, El Salvador, C.A.

-Tornicentro. La tornillería más grande de Centroamérica.

Tels.: 222-9570, 229578, 222-1010

Fax: 222-1480

Alameda Juan Pablo II No. 420, San Salvador, El Salvador, C.A.

Los numerales 3, 4 y 5 involucran bases de datos conteniendo características, especificaciones y codificación de catálogos técnicos y comerciales que permitan una eficiente adquisición de los insumos.

Suministro de lámina de acero al silicio.

La siguiente es una muestra de las especificaciones o características que se pueden encontrar para este suministro:

a. Lámina troquelada.

TIPO	A	B	C	D	E	F	G	Kg. cm
EI	40	34	13	7	20	-	-	0.085
EI	48	40	16	8	24	-	-	0.108
EI	57	47.5	19	9.5	28.5	-	-	0.145
EI	66	55	22	11	33	44	55	0.230
EI	68	58	22	12	34	46	57	0.240
EI	75	62.5	25	12.5	37.5	50	62.5	0.290
EI	84	70	28	14	42	56	70	0.350
EI	96	80	32	16	48	64	84	0.480
EI	108	90	36	18	54	72	90	0.598
EI	120	100	40	20	60	80	100	0.735
EI	135	112.5	45	22.5	67.5	90	112.5	0.935
EI	150	125	50	25	75	100	125	1.130
EI	180	150	60	30	90	120	150	1.660
EI	192	160	64	32	96	128	160	1.850
EI	240	200	80	40	120	160	200	2.870
EI	300	250	100	50	150	200	250	4.600

Tabla 1.2. Láminas Monofásicas EI (dimensiones en mm) [1]

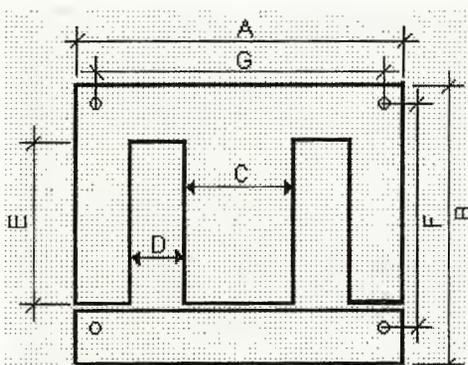


Fig. 1.1. Medidas para las láminas monofásicas

TIPO	A	B	C	D	E	F	G	Kg. cm.
EIT	125	125	25	25	75	100	100	0.900
EIT	150	150	30	30	90	120	120	1.290
EIT	200	200	40	40	120	160	160	2.297
EIT	250	250	50	50	150	200	200	3.596
EIT	300	300	60	60	180	240	240	5.162
EIT	350	350	70	70	210	280	280	7.037
EIT	400	400	80	80	240	320	320	9.235
EIT	500	500	100	100	300	400	400	14.720

Tabla 1.2. Láminas Trifásicas EIT. Dimensiones en mm [1]

Kg. cm.

Indica el peso del núcleo por centímetro de apilamiento de láminas.

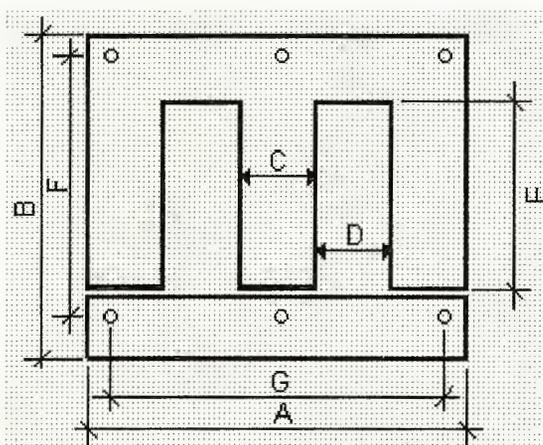


Fig.1.2. Medidas para láminas trifásicas

Chapa del Núcleo	Símbolo	42	54	60	78	84	92	106	130	150	170	195	Unidad
Altura chapa impar	h	3.5	4.5	5.0	6.5	7.0	7.4	8.5	10.5	12.0	14.0	18.0	cm
Longitud de chapa	l	4.2	5.4	6.0	7.8	8.4	9.2	10.6	13.0	15.0	17.0	19.5	cm
Ancho culata	e	0.7	0.9	1.0	1.3	1.4	1.2	1.45	1.75	2.0	2.25	2.75	cm
Altura chapa par	m	2.8	3.6	4.0	5.2	5.6	6.1	7.05	8.75	10.0	11.7	15.2	cm
Altura ventana	c	2.1	2.7	3.0	3.9	4.2	4.9	5.6	7.0	8.0	9.5	12.5	cm
Ancho del núcleo	d	1.4	1.8	2.0	2.6	2.8	2.5	2.9	3.5	4.0	4.5	5.5	cm
Ancho ventana	a	0.7	0.9	1.0	1.3	1.4	2.1	2.4	3.0	3.5	4.0	4.25	cm
Diámetro de los agujeros	ϕf	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.55	0.66	0.66	0.78	1.08	cm
Medidas de sujeción	g	2.8	3.6	4.0	5.2	5.6	6.1	7.05	8.75	10.0	11.7	15.2	cm
Distancia entre agujeros	i	3.5	4.5	5.0	6.5	7.0	8.0	9.4	11.5	13.5	15.0	17.0	cm

TABLA 1.3. Dimensiones para láminas normalizadas tipo E/I DIN E41-302 [2]

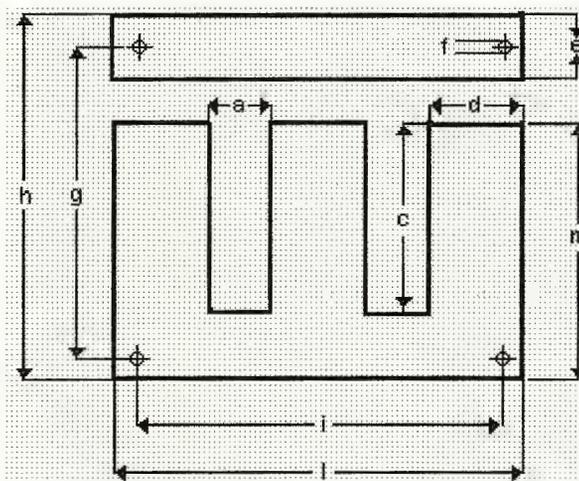


Fig. 1.3. Láminas normalizadas de la forma E/I

b. Lámina sin troquelar.

- i) Lámina cuya medida es de 1/64" (0.39 mm) de 1x2m.
- ii) Lámina cuya medida es de 1/32" (0.79 mm) de 1x2m.

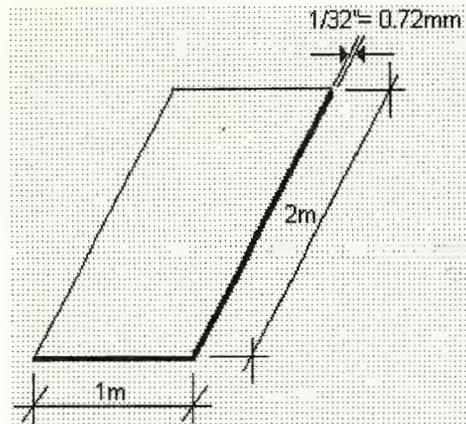


Fig. 1.4: Detalle de lámina

Lámina cuya medida es de 3/64" (1.19 mm) con 1x2m.

NOMBRE COMÚN	COMPOSICIÓN	DENSIDAD DE FLUJO SATURADO (T)	FUERZA (D) COERCITIVA DC (A.V/cm)	DENSIDAD DEL MATERIAL (g/cm ³)	FACTOR DE PERDIDA A 3KHZ Y 0.5T (W/kg)
Magnesil Silectron Microsil Supersil	3% Si 97% Fe	1.5- 1.8	0.5- 0.75	7.63	33.1
Deltamax Orthonol 49 Sq. Mumetal	50% Ni 50% Fe	1.4- 1.6	0.125- 0.25	8.24	17.66
Allegheny 4750 48 Alloy Carpenter 49	48% Ni 52% Fe	1.15- 1.4	0.062- 0.187	8.19	11.03
4-79 Permalloy Sq. Permalloy 80Sq. Mumetal 79	79% Ni 17% Fe 4% Mo	0.66- 0.82	0.025- 0.05	8.73	5.51
Supermalloy	78% Ni 17% Fe 5% Mo	0.65- 0.82	0.0037- 0.01	8.76	3.75

TABLA 1.4. Características del núcleo magnético de algunos materiales [3]

Como se observa en la tabla 1.4., materiales como el magnesil, silectron, microsil y el supersil pueden considerarse como materiales de acero al silicio, esto debido a sus porcentajes del 3% de Si y el 97% de Fe; estos materiales tienen las propiedades más adecuadas para la construcción de núcleos de transformadores.

Actualmente en nuestro país sólo existen materiales con un alto porcentaje de hierro, los cuales se venden en forma de láminas de medidas de 1/32" y 1/64" de espesor. Por medio de importaciones pueden adquirirse láminas de acero al silicio, las cuales poseen las características más adecuadas y óptimas para la construcción de transformadores.

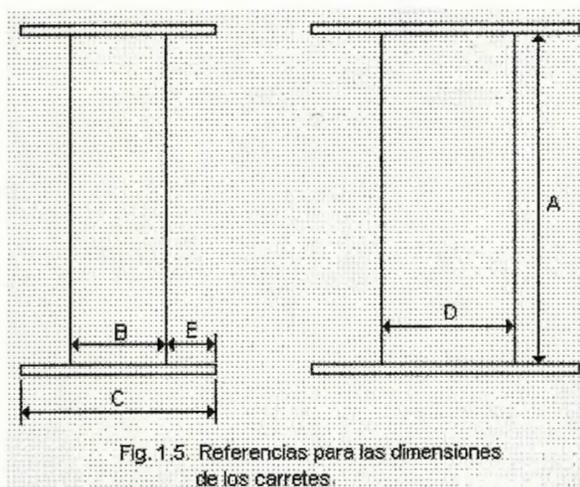
Material para carretes para las bobinas.

La siguiente es una muestra de las especificaciones o características que se pueden encontrar para este suministro:

POTENCIA	DIMENSIONES (En mm)				
	A	B	C	D	E
VA					
40	63	36	58	54	12
63	70	40	66	60	14
100	70	40	66	60	14
200	90	52	84	78	18
250	90	52	84	78	18
320	95	56	88	82	18
400	105	60	98	90	21
500	105	60	98	90	21
800	126	72	118	108	24
1KVA	130	76	122	112	25
1.3KVA	136	78	127	117	26
2.0KVA	140	82	131	121	30
3.0 KVA	168	96	156	144	32
0.4 KVA	170	100	160	148	36
8.0 KVA	210	120	195	180	40
10.0 KVA	214	124	199	184	44
16.0 KVA	252	120	234	216	48
20.0 KVA	256	124	238	220	52
30.0 KVA	294	168	273	252	56

TABLA 1.5. Dimensiones de los carretes termoplásticos [4]

La figura 1.5. sirve de referencia para comprender las dimensiones de los carretes mostrados en la tabla 1.5.



Dentro de la producción en serie se pueden fabricar transformadores haciendo pedidos especiales de los mismos, los cuales lógicamente tendrán un recargo adicional en su costo. El pedido de estos elementos puede hacerse bajo el siguiente formato:

Características generales	
Nombre de la instalación:	_____
Lote No.:	_____
Cantidad de equipo:	_____
Datos generales del equipo	
Voltaje en el primario:	_____
Voltaje en el secundario:	_____
Corriente en el primario:	_____
Corriente en el secundario:	_____
Potencia en kVA:	_____
Tipo de transformador	
Monofásico o trifásico:	_____
Cantidad de unidades (cifra y letras):	_____
Temperatura de trabajo:	_____
No. de fases:	_____
Frecuencia nominal:	_____
Valores de las pruebas del transformador	
Corriente de magnetización:	_____
Potencia consumida en vacío:	_____
Corriente de cortocircuito:	_____
Potencia de cortocircuito:	_____
Relación de transformación:	_____
Z%:	_____
BIL:	_____

Tabla 1.6. Formato general para el pedido de transformadores

Suministro de conductores esmaltados.

La siguiente es una muestra de las especificaciones o características que se pueden encontrar para este suministro:

Calibre AWG	Diámetro (mm)				Peso (kg/km)	Longitud (m/kg)	R a 20°C (ohms/km)
	Desnudo	Cubierto					
	Nominal	Mínimo	Nominal	Máximo			
8	3.264	3.271	3.317	3.363	74.71	13.30	2.06
9	2.906	2.918	2.959	3.000	59.24	16.80	2.60
10	2.588	2.601	2.639	2.677	47.00	21.20	3.27
12	2.053	2.068	2.101	2.134	29.61	33.4	5.21
14	1.628	1.648	1.676	1.692	18.60	53.7	8.28
16	1.290	1.308	1.334	1.349	11,73	85.1	13.10
18	1.024	1.041	1.062	0.077	7.395	135	20.90
20	0.812	0.830	0.848	0.861	4.672	214	33.1
22	0.644	0.660	0.676	0.686	2.913	342	53.1
24	0.511	0.528	0.541	0.551	1.845	542	84.3
26	0.405	0.419	0.432	0.439	1.161	857	134
28	0.321	0.335	0.345	0.356	0.7321	1357	214
30	0.255	0.267	0.277	0.284	0.4622	2153	341
32	0.202	0.216	0.223	0.231	0.2976	3317	531
34	0.160	0.170	0.178	0.183	0.1845	5402	856
36	0.127	0.135	0.142	0.147	0.1172	8527	1361
38	0.101	0.107	0.114	0.119	0.0745	13603	2126
40	0.080	0.081	0.089	0.094	0.0450	21469	3543
42	0.0635	0.066	0.071	0.076	0.0289	34532	5444

Tabla 1.7. Dimensiones y Características Principales para Alambre de Cobre Esmaltado [5]

El numeral 6 está relacionado con sistemas de control de bodegas y el equipamiento correspondiente tal que permita el ingreso, almacenaje, rápida ubicación, manejo apropiado y flujo eficiente de insumos a los procesos de producción y los procesos de control de calidad respectivos. El control de calidad de los suministros está íntimamente relacionado con el numeral 7,

especialmente en lo que respecta al cumplimiento de los términos de referencia en los aspectos técnicos de los suministros con la finalidad de darle cumplimiento a los contratos de compra de los suministros. Es a través de este control de calidad que se determina si son aceptados o rechazados los envíos y se genera la documentación necesaria para los casos en que hayan reclamos o rechazos. También garantiza los niveles de calidad de los insumos a los diferentes procesos productivos con el objetivo de evitar una alta proporción de defectos o fallas en el producto por causa de insumos defectuosos.

CAPITULO II. Plantear el proceso de control de calidad de los materiales y la materia prima para la fabricación de los transformadores.

Las pruebas de control de calidad de la materia prima deberán llevarse a cabo antes de proceder a procesar las partes que conforman los transformadores. Las pruebas deberán realizarse después del desembarque de cada uno de los materiales tomando diversas muestras al azar de cada uno de los elementos que se han adquirido y realizando las pruebas en los mismos para verificar la calidad del material que se ha comprado.

Entre las pruebas que deben realizársele a la materia prima están:

- ⇒ Prueba espectrométrica o de composición química y prueba de dureza para las láminas que conforman el núcleo.
- ⇒ Prueba de las características magnéticas de las láminas.
- ⇒ Prueba del nivel de aislamiento del material para los carretes de las bobinas.
- ⇒ Pruebas de aislamiento para conductores.

Las pruebas pueden realizarse teniendo los elementos necesarios tales como un espectrómetro de precisión para la prueba espectrométrica, una máquina de dureza Brinell para la prueba de dureza y una fuente de alta tensión y medidores para la prueba de rigidez dieléctrica.

2.1. CONTROL DE CALIDAD DE LAS LÁMINAS.

2.1.1. Análisis ferromagnético del material usado para la fabricación del núcleo.

Un material magnético puede analizarse desde diversos puntos de vista, ya que el análisis dependerá de las características técnicas que se deseen obtener y conocer de ese material; entre los análisis que se pueden hacer a un material están: análisis ferromagnético, análisis de dureza, análisis de maleabilidad, ciclo de histéresis, etc.

Para la construcción del núcleo de un transformador se deben conocer principalmente las características magnéticas y las propiedades químicas del material a utilizar en el corte y elaboración de las láminas que conforman el núcleo del elemento.

En la presente investigación, el análisis del material utilizado para la construcción del núcleo se limitará a las características mencionadas anteriormente, ya que estas características nos proporcionan información relevante para la obtención de un transformador con las características técnicas adecuadas para su funcionamiento óptimo, además esto le dará un mayor período de vida útil al transformador.

2.1.2. Composición química del material.

Para conocer la composición química de un material determinado puede hacerse una prueba denominada **espectrometría**, utilizando un aparato llamado Espectrómetro de Precisión; esta prueba consiste en bombardear la lámina de material con una descarga de alto voltaje (3000 A 5000V) para que el material desprenda una cierta cantidad de energía.

A continuación se muestran los pasos necesarios para hacer un análisis espectrométrico de un material determinado. Además, se muestra un resumen del uso del espectrómetro de precisión.

2.1.3. Resumen de la prueba espectrométrica o espectrometría.

- Se hacen análisis de ensayos para determinar la composición química para materiales metálicos, en una gran gama de aceros, aleaciones de cobre (bronce y latón), aluminio de alta pureza y aleaciones de aluminio.

- Cuando se aplica energía se pierde en calor absorbido por los electrones, pero habrá suficiente energía para que un electrón cambie de orbital de energía, luego emite la energía ΔE que ha absorbido llamado fotón, la cual es energía en forma de onda electromagnética.

- La probeta o muestra de material es atomizada en un área de 3mm de diámetro, con energía de un arco eléctrico (3000 a 5000 V).

- El protón es descompuesto en un prisma en sus colores espectrales a un ángulo de difracción determinado para cada elemento.

- Conocidos los ángulos, la luz es emitida hacia una serie de fotoceldas para captar este espectro, también llamado canal de medición.

- Existe una ventanilla que conecta el panel de prueba con el prisma y ésta a un diámetro medido en nanómetros.

- ☑ La cantidad de energía liberada por la muestra del material es proporcionada al prisma, luego hacia las fotoceldas y éstas generan una corriente proporcional a la energía liberada para cargar el capacitor asociado.

- ☑ Luego con el patrón de curvas estándar que posee la computadora se cuadran y ubican las curvas respectivas para cada elemento y su composición se obtiene en base a esta serie de curvas.

2.1.4. Resumen del análisis (comparación con los patrones).

- ☑ Se selecciona una matriz, o sea una gama de curvas, de los componentes de los materiales.

- ☑ Se estandarizan los patrones.

- ☑ Luego con un solo patrón se cuadran/ubican las curvas para cada elemento y su composición para una confiabilidad o certeza del 100%.

- ☑ El tiempo promedio de quema se da así:
 - i) Preintegración: Que es el ingreso de argón para el vacío.
 - ii) Integración, que es el análisis en si.

- ☑ Hay tolerancias para los valores:
 - i) Intensidad ± 5000 joule.
 - ii) Concentración $\pm 0.1\%$ y $\pm 0.01\%$ para valores pequeños.

2.1.5. Resultados obtenidos de la prueba espectrométrica.

Se realizó la prueba espectrométrica en algunos materiales. Los resultados obtenidos se muestran en las respectivas tablas de datos anexas al final del documento.

Es importante notar que el primer material analizado, el cual se suponía que era acero al silicio, está compuesto en su mayor parte por hierro, y que tiene un pequeño porcentaje de otros elementos, entre ellos silicio. Los pequeños porcentajes de los otros elementos son sólo impurezas de diversos materiales, por lo tanto, se puede concluir que **el material es lámina de hierro**. Ver los resultados de esta prueba en los anexos.

El segundo material analizado está compuesto por un mayor porcentaje de silicio, por lo tanto tendrá mejores características magnéticas que el primero. Este material corresponde a la lámina del núcleo de un transformador de 110/12Vac, el cual fue desarmado para lograr hacer el análisis correspondiente, siendo este un transformador de origen chino. Ver los resultados de esta prueba en los anexos. También en los anexos se observan los datos obtenidos para una tercer lámina analizada, siendo la del núcleo de un transformador de baja tensión, siendo también de 110/12Vac, cuyo núcleo posee una cantidad aceptable de silicio, lo cual nos dice que este transformador posee características magnéticas aceptables.

2.1.6. Prueba de dureza.

Esta prueba sirve para determinar el nivel de dureza de cualquier lámina de material, además de realizarse en otros materiales con formas diversas, no necesariamente láminas.

La forma en que se realiza un ensayo Brinell se describe a continuación.

- a) Se regula la carga deseada en una parte posterior de la máquina.
- b) Se desbloquea la palanca inferior de la máquina de su posición de parada y se desplaza hacia arriba y hacia atrás.
- c) Luego la palanca de mando superior, la cual esta ubicada en la parte superior derecha de la máquina, se presiona hasta abajo hasta su posición final de carrera. El penetrador pivota hasta que se encuentra en una posición vertical por encima de la pieza en análisis y con la cual además, la carga entra en acción.
- d) Una vez la segunda palanca está en su posición de final de carrera, se tira de ella, hacia adelante y el penetrador entra en operación, se retira de la huella y el objetivo pivota desde atrás a la posición vertical durante la ultima parte de su carrera.
- e) Se observa la medida de la marca dejada por el penetrador, en un microscopio iluminado con su respectiva regla de graduación.
- f) Se obtiene la dureza deseada directamente de datos de tablas anexas al final del documento y/o usando las formulas que se muestran en el ejemplo al final del apartado, las cuales sirven para calcular el nivel de dureza.

La razón por la cual se le hizo la prueba Brinell a la lámina del transformador, ya que también existe la prueba de dureza Rockwell, es que la prueba de dureza Brinell se realiza sobre hierro y acero de una resistencia de 1000 – 1500 N/m², aproximadamente y sobre todos los metales no ferrosos, por lo tanto esta era la prueba más apropiada a realizar al metal en estudio.

La tabla 2.1. indica las cargas de ensayo para los metales con diferentes diámetros de bolas. Muestra también el diámetro de bola que se debe elegir para un espesor de pared mínimo determinado.

Espesor de probeta en mm	Diámetro de bola en mm	Acero no templado	Latón cobre duralumini o	Cobre antifricción aluminio puro	Plomo y aleaciones de plomo
Mayor que 6	10	(3000)	(1000)	(500)	250
Mayor que 3	2	(750)	250	125	62.5
Mayor que 1.5	2.5	187.5	62.5	31.25	15.625
Mayor que 0.6	1	30	10	5	

TABLA 2.1. Cargas de ensayo para materiales con diferentes diámetros de bolas [6]

Las cargas de ensayos entre paréntesis no existen en una máquina Día Testor 2. Estas se encuentran sólo en el modelo Día Testor 3.

Las demás cargas de la prueba Brinell están incluidas en la máquina modelo Día Testor 2. En la tabla 2.2. están escalonadas las demás cargas como se muestra, por relación de las diferentes porta-bolas.

PORTABOLA DE MEDIDAS EN mm			
1 mm	2.5 mm	5 mm	10 mm
5	15.6	62.5	250
10	31.25	125	
30	62.5	250	
	187.5		

TABLA 2.2. Cargas de ensayo para una maquina modelo Dia Testor 2 [6]

Un ejemplo de como se usan las tablas de datos para realizar la prueba de dureza Brinell se explica a continuación. El ejemplo es bastante sencillo para facilitar al lector un análisis relativamente fácil de lo que se pretende explicar. La prueba puede variar dependiendo de la marca de la máquina con que se realice, aunque los principios básicos para su realización siempre serán los mismos.

Sea una pieza de acero no templado a ensayar según la prueba Brinell. Según la tabla es necesario elegir una bola de 2.5 mm, de la carga de 187.5 y aumentos 70X. El diámetro de la huella de la bola que se observa después de realizar la prueba Brinell tiene un tamaño de 0.98 mm. En la tabla del método de dureza Brinell y Vickers que se muestra en los anexos se encuentra que $d=0.98$ mm, por lo tanto, y calculando como se muestra con la fórmula respectiva para una carga de 187.5, la dureza Brinell obtenida es de 239 Brinell.

HB_{\approx}	$\frac{2F}{\pi \times D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	
HB_{\approx}	$\frac{2 \times 187.5}{\pi \times 2.5 (2.5 - \sqrt{2.5^2 - 0.98^2})}$	D= Diámetro de la esfera en mm
HB_{\approx}	$\frac{375}{\pi \times 2.5 (2.5 - 2.299913)}$	d= Diámetro de la huella de la prueba Brinell
HB_{\approx}	$\frac{375}{\pi \times 2.5 (0.200087)}$	F= Carga en kg
HB_{\approx}	$\frac{375}{\pi \times 0.5002175}$	d_m = Diagonal Media
HB_{\approx}	$\frac{375}{1.5706829}$	
HB_{\approx}	239 Brinell	

En los anexos al final del documento se muestran las tablas para las pruebas de dureza y la conversión de los mismos.

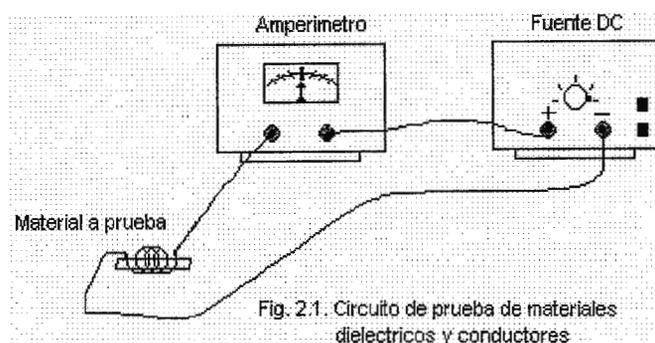
El control de calidad de la materia prima utilizada en la fabricación de los transformadores es muy importante debido a que la calidad de cada uno de

los componentes que forman parte del transformador nos proveerá un producto final de óptima calidad.

2.2. CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES AISLANTES Y CONDUCTORES.

Para tener conocimiento acerca del nivel de aislamiento de los posibles materiales para hacer los carretes (no solamente para los carretes de cartón) se realizó una prueba sencilla para conocer el nivel de conductividad de algunos materiales, y así además, elegir materiales aislantes adecuados para la construcción de carretes para transformadores. La prueba se hizo encontrando la conductividad de algunos materiales, lo que nos indica el nivel de aislamiento ya que la conductividad y el aislamiento son recíprocos entre sí, además se utilizaron diferentes materiales aislantes y conductores para tener una buena muestra en los resultados y así lograr hacer una comparación adecuada entre los materiales en análisis.

La prueba consistió en armar un circuito como el que se muestra en la figura 2.1., en este circuito tenemos una muestra de material, entre aislantes y conductores a los cuales se les hace el análisis; el material conducirá cierta cantidad de corriente y dicha corriente es medida ya que hay un amperímetro en serie con el circuito, según el nivel de voltaje V_{dc} utilizado en la prueba.



Los resultados de las mediciones obtenidas se muestran en las tablas 2.3., las cuales se muestran a continuación [7]:

PRUEBAS DE CONDUCTORES			
Material	Medida del material (ϕ + largo + ancho + etc.)	Voltaje	Corriente
Cobre cable THMN # 14 trenzado	$\phi = 2.3 \text{ mm}$, $l = 6.6 \text{ cm}$	0.75 V	280 mA
Pieza de aluminio	Espesor = 3.6 mm, $l = 5.55 \text{ mm}$	0.75 V	350 mA
Cable conductor esmaltado # 18 (se le quitó el esmalte)	$\phi = 1.75 \text{ mm}$, $l = 5.2 \text{ cm}$	0.75 V	360 mA
Cable conductor esmaltado # 20 (se le quitó el esmalte)	$\phi = 0.75 \text{ mm}$, $l = 3 \text{ cm}$	0.75 V	370 mA
Cable # 24 (se le quitó el esmalte)	$\phi = 0.40 \text{ mm}$, $l = 5 \text{ cm}$	0.75 V	380 mA
Estaño 60/40	$\phi = 1.65 \text{ mm}$, $l = 3.2 \text{ cm}$	0.75 V	370 mA
Aluminio galvanizado	Espesor = 1 mm, $l = 2.23 \text{ mm}$	0.75 V	360 mA
Chapa de transformador	Espesor = 0.65 mm, $l = 11 \text{ mm}$	0.75 V	360 mA
Chapa de acero al silicio	Espesor = 0.75 mm, $l = 7 \text{ mm}$	0.75 V	360 mA

TABLA 2.3.a. Resultados de las pruebas de dieléctricos [7]

PRUEBAS DE DIELECTRICOS			
Material	Medida del material	Voltaje	Corriente
Poliducto de $\frac{1}{2}$ '' ϕ	l = 2.26 cm ancho = 2.7 cm espesor = 1.3 mm	4.85 KV	4 μ A
Papel pescado	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.2 mm	4.85 KV	3.9 μ A
Papel pescado	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.5 mm	4.85 KV	3.9 μ A
Papel pescado	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 1.2 mm	4.85 KV	3.8 μ A
Papel pescado	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 2.0 mm	4.85 KV	3.8 μ A
Fólder (cartulina de fólder)	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.25 mm	4.85 KV	6 μ A
Fólder (cartulina de fólder)	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.50 mm	4.85 KV	8 μ A
Fólder	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.75 mm	4.85 KV	10 μ A
Fólder	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 1.0 mm	4.85 KV	13 μ A

TABLA 2.3.b. Resultados de las pruebas de dieléctricos [7]

PRUEBAS DE DIELECTRICOS			
Material	Medida del material	Voltaje	Corriente
Papel bond	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.1 mm	4.85 KV	15 μ A
Papel bond	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.2 mm	4.85 KV	10 μ A
Papel bond	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.4 mm	4.85 KV	0.1 mA
Papel bond	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.8 mm	4.85 KV	0.15 mA
Hule	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.35 mm	4.85 KV	0 A (no conduce)
Plástico (con que se hacen botellas de plástico)	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.30 mm	4.85 KV	3.5 μ A
Acrílico Platificado (material de carrete de transformador)	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 1.25 mm	4.85 KV	3.5 μ A
Cartoncillo	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.45 mm	4.85 KV	14 μ A
Cartoncillo	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 1.4 mm	4.85 KV	0.1 mA
Cartón	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 1.9 mm	4.85 KV	14.5 μ A
Carrete plástico de transformador	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 1.55 mm	4.85 KV	2.5 μ A
Papel bond con barniz aislante	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm	4.85 KV	0 A (no conduce)

	espesor = 0.15 mm		
Papel bond con barniz aislante	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.25 mm	4.85 KV	38 μ A
Papel bond con barniz aislante	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.45 mm	4.85 KV	9 μ A
Acrílico	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.7 mm	4.85 KV	4 μ A
Fólder con barniz	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.3 mm	4.85 KV	3.2 μ A
Fólder con barniz	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.6 mm	4.85 KV	2 μ A
Fólder con barniz	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 0.9 mm	4.85 KV	1.2 μ A
Fólder con barniz	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 1.1 mm	4.85 KV	1.0 μ A
Cartón con barniz	l = 2.5 cm ancho = 2.5 cm espesor = 1.95 mm	4.85 KV	3 μ A

TABLA 2.3.c. Resultados de las pruebas de dieléctricos [7]

Las tablas anteriores muestran que los materiales más adecuados para fabricar los carretes para transformadores son los materiales aislantes, siendo estos según las pruebas: cartón, plástico y papel. El hule tiene un excelente nivel de aislamiento, pero no conviene utilizarlo debido a su bajo nivel de dureza.

Además el papel puede usarse como aislante entre bobinado y bobinado al momento de fabricar las bobinas del transformador, sin descartar el papel pescado, el cual es el papel propicio para el aislamiento de las bobinas.

Después de las respectivas pruebas de conductividad y aislamiento, y con base a los resultados obtenidos, puede observarse que un material propicio para construir los carretes para las bobinas es el cartón, no sólo por sus propiedades como un excelente material aislante, sino también por su facilidad para doblarlo y su nivel de dureza relativo, ya que el cartón no se deformará ante los esfuerzos a los cuales será sometido y podrá contener perfectamente las bobinas que se enrollen sobre el mismo, siempre y cuando se elija un cartón cuyo grosor sea el adecuado según la capacidad del transformador a construir.

Las pruebas de control de calidad de la materia prima deberán llevarse a cabo antes de proceder a procesar las partes que conforman los transformadores.

CAPITULO III. Establecer el proceso de fabricación para cada componente en el ensamble de los transformadores.

Descripción general del proceso de fabricación en serie de transformadores secos.

a. NÚCLEO.

El proceso para la fabricación del núcleo de los transformadores comienza con la adquisición de la lámina para conformar las columnas del núcleo, sea esta lámina comprada en pliegos que luego se troquela para obtener la forma del núcleo deseada o bien la adquisición del núcleo previamente troquelado. También se puede considerar la adquisición de lámina enrollada en algún carrete, de manera similar a como se adquiere el cable conductor.

Dentro de este trabajo se presentarán los lugares en los cuales se puede adquirir la lámina en forma de pliegos, el cual es el primer paso para lograr la fabricación de los núcleos para la fabricación de transformadores.

Después se explicarán las diferentes pruebas de calidad del material. Las pruebas que aplican para conocer la calidad de las láminas de los transformadores son: La prueba espectrométrica, que nos determina la composición química de las láminas y los diferentes niveles de impurezas que ésta posee; la prueba de dureza Brinell, con la cual se conoce el nivel de dureza de la lámina y se puede establecer si es necesario algún tipo de tratamiento térmico de la lámina.

Después de comprobar la calidad de las láminas se procederá a cortar las láminas, estos según el diseño del núcleo de los transformadores, para el caso pueden ser núcleos de forma EI, C, F, etc.; aunque este trabajo se centra principalmente en núcleos de la forma EI.

El proceso de corte de los núcleos se realiza de dos posibles formas las cuales se definen como proceso I y proceso II dentro de este trabajo.

El proceso I se realiza haciendo cortes de rectángulos pequeños a partir de láminas de mayor tamaño; luego se procede a cortar los núcleos con una prensa troqueladora, previo diseño del molde para troquelar, según la forma del núcleo. Este proceso presenta pérdidas de material al momento de hacer los cortes de la lámina.

El proceso II se realiza efectuando los cortes en las láminas directamente con la prensa troqueladora, previo diseño del troquel, y presenta la ventaja con respecto al proceso anterior de que no existen desperdicios de lámina.

El proceso para diseñar el molde para una prensa troqueladora se describe detalladamente durante el desarrollo del trabajo.

b. CARRETES.

Para poder fabricar los carretes de los transformadores pueden considerarse carretes plásticos fabricados a partir de un proceso de inyección en una máquina inyectora de plástico, o además, carretes de cartón que son más económicos aunque de menor calidad en lo que se refiere a su nivel de dureza y resistencia térmica.

El objetivo de esta parte del trabajo será explicar el tipo de material con que se pueden fabricar los carretes del núcleo, el cual puede ser cartón, y además, plástico reciclable junto con plástico virgen para los carretes de plástico.

Luego de que se haya adquirido el material para fabricar los carretes, se explicará el proceso a seguir para fabricar los carretes. Se explicará la

forma artesanal para fabricar carretes de cartón y la forma de fabricar los carretes de plástico utilizando una máquina inyectora de plástico. En este último proceso se explican las partes que conforman una inyectora de plástico y el funcionamiento básico de sus partes; además se determinan las diferentes presiones de trabajo, temperaturas de trabajo en las diferentes partes de la máquina para conseguir el elemento plástico deseado, o sea el proceso industrial para la fabricación de los carretes.

c. BOBINAS.

El proceso para fabricar las bobinas del núcleo de los transformadores comienza con la adquisición del conductor esmaltado que se enrollará sobre los carretes.

Afortunadamente el conductor esmaltado para las bobinas pueden encontrarse en nuestro país en diversos almacenes de materiales eléctricos; por lo tanto no representa un obstáculo mayor la adquisición de este elemento.

Después de que se haya elegido el calibre del conductor adecuado para fabricar las bobinas, se procederá a enrollar el conductor sobre los carretes utilizando una bobinadora manual. Antes de este proceso se le harán las respectivas pruebas de control de calidad al cable conductor, entre ellas la prueba del nivel de aislamiento del conductor, las prueba de resistencia óhmica, y la prueba del espesor del conductor.

Después de haber ido enrollando correctamente el conductor sobre los carretes, tanto para la bobina del primario como para la del secundario, se dejarán listos los extremos de los conductores para unirlos (soldarlos) a los terminales de conexión los cuales a su vez se soldarán con los terminales de la fuente de alimentación y con alguna carga cuando vaya a utilizarse el transformador. Cuando el bobinado se ha terminado se

envuelve todo con una o dos capas de papel aislante, sujetos con algún tipo de pegamento o también podrían ser atados con cordoncillos. Este proceso nos asegurará que las bobinas estén firmemente sujetadas al carrete respectivo del transformador.

d. ENSAMBLE DEL TRANSFORMADOR.

Después de establecer el proceso para obtener las láminas troqueladas del núcleo, y los procesos para obtener los carretes y las bobinas con sus respectivos terminales de conexión, se puede proceder al ensamble del transformador considerando el tipo de núcleo.

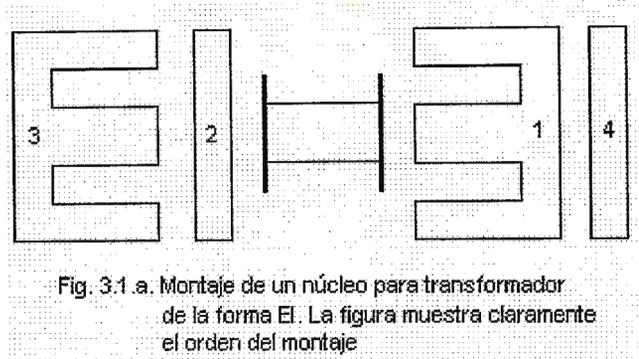
Cuando el bobinado se ha terminado se envuelve todo con una o dos capas de papel aislante, sujetos con algún tipo de pegamento o también podrían ser atados con cordoncillos.

En los núcleos de la forma EI se irán introduciendo las láminas alternadamente de tal forma que se vayan traslapando entre sí; el proceso se irá repitiendo hasta completar el núcleo magnético del transformador.

De forma similar se pueden montar los transformadores tipo F y los transformadores con núcleo tipo C.

A veces se monta el núcleo del transformador apilando una lámina sobre la otra hasta obtener una columna de láminas y realizar así el ensamble con las bobinas.

La figura 3.1.a. muestra el orden en el cual se pueden ir montando las láminas para un núcleo tipo EI.



El núcleo se terminará de montar ejerciendo sobre las láminas una cierta presión para lograr que entren en el carrete las últimas láminas.

Las láminas se terminan de fijar utilizando pernos pasados con sus respectivas tuercas. Es lógico establecer que si los carretes de los transformadores fueran de cartón, esto significa que estamos ante la presencia de transformadores de inferior calidad con respecto a transformadores con carretes de plástico inyectado.

e. BARNIZADO.

En este proceso se colocarán los transformadores en un tanque al vacío; bajo condiciones de vacío se procederá a aplicarles un baño de barniz para que obtengan un nivel adecuado de aislamiento. El objetivo de realizar este proceso en un tanque al vacío es el de que el barniz penetre adecuadamente en los transformadores.

f. SECADO.

Después del proceso de barnizado, los transformadores se colocarán en un horno regulado a la temperatura adecuada para lograr el nivel de secado necesario para que no haya conductividad eléctrica entre las láminas, y también evitar algún cortocircuito en las bobinas de cada transformador. Prácticamente este proceso es complementario al proceso de barnizado.

g. TERMINALES DE CONEXIÓN.

Afortunadamente, la adquisición de materiales para los terminales de conexión no representa mayor problema en nuestro medio, ya que terminales para remacharlos en los faldones de los carretes, así como tuercas y tornillos que se pueden utilizar como terminales de conexión pueden adquirirse fácilmente en los diversos almacenes de materiales eléctricos que hay en nuestro país.

Después de adquirir el material para los terminales de los carretes se procederá a medir la perfecta conductividad de los mismos, proceso con el cual se estará efectuando el control de calidad de dichos elementos.

Realizando el montaje de los terminales de conexión sobre los carretes se procederá a soldar los extremos del conductor de las bobinas, tanto para el devanado primario como para el devanado en el secundario.

Si los carretes fueran carretes de cartón, entonces y debido a la simplicidad de los transformadores, no sería necesario montar terminales de conexión en los transformadores, sino que simplemente se dejarán libres los extremos para las futuras conexiones.

h. PRUEBAS DEL TRANSFORMADOR.

Una vez terminados y montados los transformadores se procederá a realizarles las respectivas pruebas de control de calidad. Las pruebas más importantes a realizar son las siguientes:

- Prueba de vacío y prueba de cortocircuito: Estas sirven para poder conocer los parámetros eléctricos de los transformadores.
- Relación del transformador: Con esta prueba pueden conocerse los voltajes y corrientes que manejan los transformadores, tanto en su devanado primario como en el secundario, y además se conocerá si

los transformadores poseen los parámetros de diseño especificados en su proceso de fabricación.

- Prueba de polaridad: Con esta prueba puede conocerse si los transformadores poseen polaridad aditiva o sustractiva.
- Prueba de aislamiento: Sirve para conocer si los transformadores poseen niveles de aislamiento adecuados entre sus puntos principales. Por ejemplo se pueden realizar las pruebas de continuidad de las fases con respecto a la masa del transformador, para ello se utilizaría un tester; el tester deberá marcar una resistencia infinita entre cada una de las fases y la masa del transformador.

i. ENVIÑETADO.

Se refiere al proceso en el cual se le colocará a cada uno de los transformadores una viñeta que muestre las características técnicas principales de los elementos, entre las cuales se tienen: Voltaje, corriente, potencia y forma de conexión. Este proceso podría ser reemplazado en un momento determinado por un método de marcado de cada uno de los elementos. Lo importante es que los transformadores indiquen de alguna forma sus características técnicas principales.

j. EMPACADO, EMBODEGADO Y DESPACHO.

Una vez terminado cada uno de los transformadores y después de realizadas las pruebas de calidad respectivas, se procederá al empaqueo, lo cual incluye el diseño y empaqueo de un manual del usuario que servirá para conocer más detalladamente las características técnicas y conexión correcta de cada uno de los elementos.

El empacado está íntimamente relacionado con el proceso de embodegado, ya que después del empacado de los elementos debe procederse a guardarlos en la bodega de productos terminados. Por último solo quedaría esperar el momento de despachar cada uno de los productos terminados.

3.1. Cálculos de diseño generales para encontrar las características técnicas de transformadores.

A continuación se muestran los cálculos de diseño generales para encontrar las características técnicas de transformadores de baja tensión, basándose en algunas de las condiciones propias del elemento, siendo éstas su peso, volumen y eficiencia.

- I. Características de los transformadores a fabricar.
 - a. Peso y Volumen.

Los fabricantes de transformadores utilizan códigos numéricos para clasificar las características del núcleo de los transformadores: Estos códigos representan la habilidad de las características de potencia del transformador.

Estos números son usados por los fabricantes de núcleos para resumir las propiedades eléctricas y dimensionales en sus catálogos. Estos están disponibles para núcleos con láminas de tipo EI, núcleos tipo C, núcleos de potencia, y núcleos de bobinados tipo toroidal.

- i) El producto del área A_p y sus relaciones.

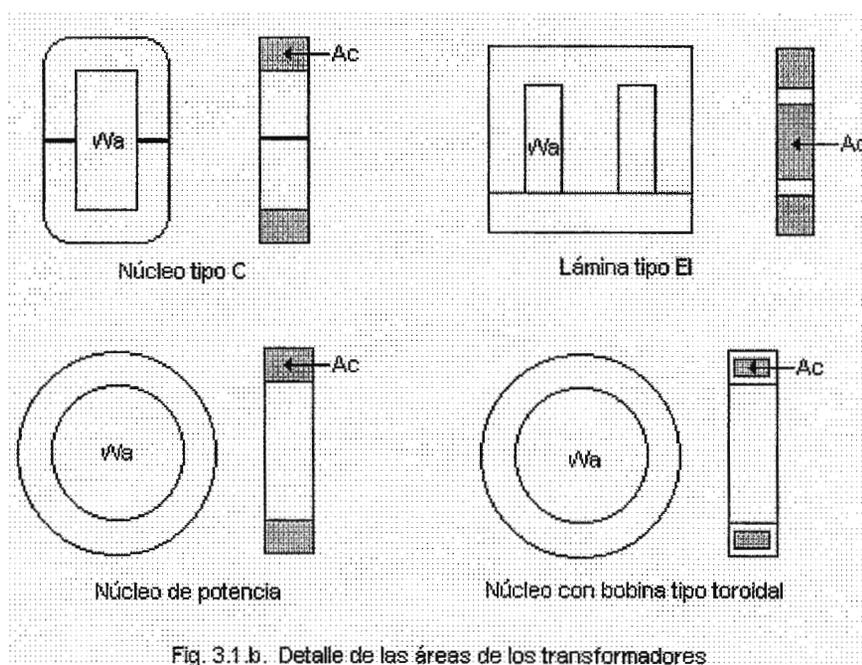
El área A_p de un núcleo es el producto del área de la ventana disponible W_a en donde encaja el núcleo en el carrete, dada en centímetros cuadrados (cm^2), multiplicada por el área efectiva de la sección

transversal del núcleo A_c , dada también en centímetros cuadrados (cm^2), el área A_p por lo tanto viene dada por la fórmula:

$$A_p = w_a A_c \quad [\text{cm}^4]$$

Y se da en unidades de cm^4 .

Las figura 3.1.b. muestra las áreas que se utilizan para encontrar el producto del área del producto para un núcleo de las formas mencionadas anteriormente.



Hay una relación única entre el número o código característico del producto del área A_p para núcleos de transformadores como los analizados anteriormente y varios de los parámetros importantes que deben ser considerados en el diseño de transformadores.

Esta relación se muestra en la tabla de constantes de diseño para transformadores.

La tabla 3.1. fue desarrollada usando las curvas y núcleos adecuados de los datos mostrados en las tablas anexas y nos muestra precisamente las constantes que se utilizan para poder calcular el volumen, peso y otros parámetros importantes de diseño de los transformadores para las formas mencionadas anteriormente.

Como cualquier diseño de elementos, el cálculo de parámetros como el volumen, peso, densidad de corriente, etc., siempre se hará bajo ciertas condiciones o consideraciones que se irán explicando a medida se vaya estudiando el cálculo de los diferentes parámetros de manera individual.

Núcleo	Pérdidas	K_j (25° C)	K_j (50° C)	(X)	K_s	K_w	K_v
Núcleos de potencia	$P_{cu} = P_{fe}$	433	632	-0.17	33.8	48.0	14.5
Lámina EI	$P_{cu} = P_{fe}$	366	534	-0.12	41.3	68.2	19.7
Núcleo tipo C	$P_{cu} = P_{fe}$	323	468	-0.14	39.2	66.6	17.9
Núcleo con bobina tipo toroidal	$P_{cu} = P_{fe}$	250	365	-0.13	50.9	82.3	25.0
		$J = K_j A_p^{(x)}$		$A_t = K_s A_p^{0.50}$			
		$W_t = K_w A_p^{0.75}$		$Vol = K_v A_p^{0.75}$			

TABLA. 3.1. Constantes de diseño para encontrar los parámetros del núcleo [3].

ii) Volumen del transformador.

El volumen de un transformador se relaciona directamente con el producto del área A_p de un transformador, tratando los volúmenes como cantidades completamente sólidas sin sustraerles la ventana del núcleo.

Esto se puede observar en la figura 3.2., en la cual puede notarse la consideración del volumen del transformador como un sólido cúbico, sin importar la forma irregular del mismo.

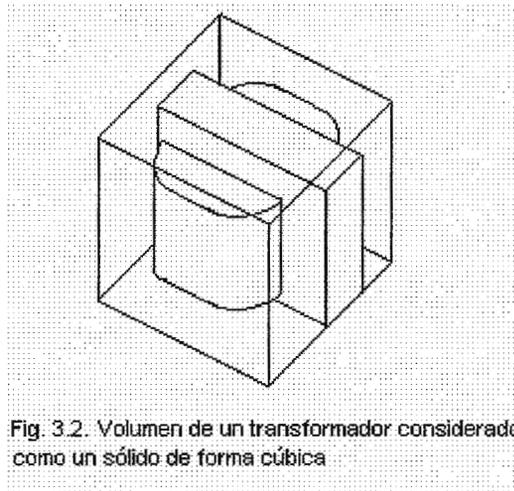


Fig. 3.2. Volumen de un transformador considerado como un sólido de forma cúbica

La fórmula para encontrar el volumen de un transformador está derivada del siguiente concepto:

El volumen varía de acuerdo con el cubo de cualquier dimensión lineal l (designada como l^3 en las fórmulas) donde el área del A_p varía a la cuarta potencia.

$$\text{Vol} = k_1 l^3$$

$$A_p = K_2 l^4$$

$$l^4 = A_p / K_2$$

$$l = (A_p / K_2)^{0.25}$$

$$l^3 = [A_p / K_2]^{0.25 \cdot 3} = (A_p / K_2)^{0.75}$$

$$\text{Vol} = K_1 (A_p / K_2)^{0.75}$$

$$\text{Vol} = K_1 (A_p^{0.75} / K_2^{0.75})$$

$$K_v = k_1 / K_2^{0.75}$$

$$\text{Vol} = K_v A_p^{0.75}$$

Entonces la fórmula volumen/producto del área esta dada por **[3]**:

$$\text{Vol} = K_v A_p^{0.75}$$

En el cual K_v es una constante relacionada con la configuración del núcleo, cuyos valores según el tipo de núcleo están dados en la tabla 3.2.

TIPO DE NÚCLEO	K_v
Núcleo de potencia	13.1
Lamina EI	19.7
Núcleo tipo C	17.9
Núcleo con bobina tipo toroidal	25.0

TABLA 3.2. Constante de diseño K_v **[3]**

Esta constante fue obtenida promediando los valores de la columna 15 de las tablas anexas. También en estas tablas se muestra el producto del área en la columna 3.

iii) **Peso del transformador.**

El peso total W_t de un transformador se relaciona directamente con el producto del área A_p . La fórmula de la cual se deriva el peso de un transformador está de acuerdo a la siguiente relación.

El peso W_t varía de acuerdo con el cubo de cualquier dimensión lineal l (designada l^3 en las fórmulas) donde además el área del producto A_p varía a la cuarta potencia:

$$W_t = K_3 l^3$$

$$A_p = K_2 l^4$$

$$l^4 = A_p / K_2$$

$$l = (A_p / K_2)^{0.25}$$

$$l^3 = [(A_p / K_2)^{0.25}]^3 = (A_p / K_2)^{0.75}$$

$$W_t = K_3 (A_p / K_2)^{0.75}$$

$$W_t = K_3 (A_p^{0.75} / K_2^{0.75})$$

$$W_t = K_3 / K_2^{0.75}$$

$$W_t = K_w A_p^{0.75}$$

La fórmula peso/producto del área está dada por [3]:

$$W_t = K_w A_p^{0.75}$$

La anterior es la fórmula para calcular el peso de un transformador en el cual K_w es una constante relacionada con la forma del núcleo, los cuales se muestran en la tabla 3.3. Los datos se han obtenido de las tablas anexas, promediando los valores de las columnas 14 y 3 para W_t y A_p respectivamente.

TIPO DE NÚCLEO	K_w
Núcleo de potencia	58.8
Lamina E I	68.2
Núcleo tipo C	66.6
Núcleo con bobina tipo toroidal	82.3

TABLA 3.3. Constante de diseño K_w [3]

iv) Eficiencia.

La eficiencia de un transformador es un buen camino para medir la efectividad del diseño del mismo. La eficiencia está definida como el rango de la potencia de salida P_o a la potencia de entrada P_{in} . La diferencia entre P_o y P_{in} se da debido a las pérdidas en el transformador.

Las pérdidas de potencia en un transformador están determinadas debido a las pérdidas en el núcleo y las pérdidas cuadráticas en las bobinas o cobre. Así tenemos que las pérdidas de potencia en un transformador vienen dadas por la fórmula:

$$P_{\Sigma} = P_{fe} + P_{cu}$$

Donde P_{fe} representa las pérdidas en el núcleo y P_{cu} representa las pérdidas en el cobre.

La eficiencia máxima en un transformador es alcanzada cuando las pérdidas en el núcleo se igualan a las pérdidas en el cobre.

Las pérdidas en el cobre se incrementan con el cuadrado de la potencia de salida multiplicada por una constante k , la cual queda definida por:

$$P_{cu} = KP_o^2$$

Lo cual puede describirse así:

$$P_{\Sigma} = P_{fe} + P_o^2$$

Además:

$$P_{in} = P_o + P_{\Sigma}$$

Entonces la eficiencia viene dada por:

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{\Sigma}}$$

Entonces:

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{fe} + KP_o^2} = \frac{P_o}{P_{fe} + P_o + KP_o^2}$$

Derivando (1) con respecto a P_o , encontramos las condiciones para obtener la eficiencia máxima de un transformador. A continuación se muestra la resolución de esta derivada:

$$-P_o - 2kP_o^2 + P_{fe} + P_o + kP_o^2 = 0$$

Por lo tanto, tenemos:

$$P_{fe} = kP_o^2 = P_{cu} \quad [3]$$

Condiciones para las cuales se da la máxima potencia en el transformador.

a. Bobinas.

La selección del material para fabricar las bobinas del núcleo implica una elección adecuada del conductor esmaltado.

El conductor utilizado en la fabricación de las bobinas tendrá un calibre el cual dependerá de la potencia que maneje el transformador. Además el calibre del conductor del primario variará con respecto al calibre del conductor utilizado en el secundario, dependiendo si es un transformador reductor o elevador.

El cálculo del calibre del conductor que se utilizará en las bobinas del transformador puede resumirse en los siguientes pasos, si conocemos el área de la ventana W_a del transformador:

- i) Se calcula el área del bobinado del primario.
- ii) Se calcula el área del cable con aislamiento A_w , usando el factor constante S_2 , siendo $S_2 = \text{área de bobinado} / \text{área de la ventana}$
- iii) Según el dato obtenido en el paso anterior, se encuentra el equivalente del conductor AWG directamente de datos de tablas.

b. Carretes.

La elaboración de los carretes en los cuales se enrollan las bobinas de los transformadores puede considerarse dentro de tres posibilidades principales, las cuales son carretes elaborados de cartón, carretes de plástico inyectado y carretes de material aislante fenólico. Dentro de este trabajo se descartará la última posibilidad debido al alto costo de la fibra fenólica dentro del mercado.

En cuanto a los carretes de cartón la materia prima a utilizar será cartón, cartoncillo y cartón reciclado. Definitivamente, con el uso de estos materiales pueden construirse carretes de cartón utilizando material a bajo costo, siempre y cuando se deseen construir transformadores a bajo costo y de menor calidad si los compramos con transformadores de plástico inyectado.

3.2. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL NÚCLEO.

Para calcular la sección del núcleo magnético de un transformador se necesitan conocer por lo menos dos de sus parámetros principales; generalmente los parámetros principales con los cuales se puede diseñar el núcleo de un transformador son el voltaje y la corriente, parámetros con los cuales se puede conocer la potencia aparente del transformador en voltioamperios (VA).

A partir del valor del voltaje y la corriente en el secundario podemos obtener la potencia aparente y con el uso de las curvas de potencia contra cm^2 mostradas en los anexos se puede obtener el área del núcleo del transformador.

En estas curvas el eje Y representa la potencia aparente del transformador en voltioamperios (VA), los valores aumentan de abajo hacia arriba en forma logarítmica; en el eje X se presenta el área en centímetros cuadrados de la sección del núcleo del transformador, cuyos valores aumentan de izquierda a derecha en forma logarítmica.

Situadas en forma diagonal aparecen siete pendientes que relacionan la potencia aparente y la sección del núcleo según la frecuencia de trabajo aplicada al transformador. En nuestro país la pendiente de trabajo es la de 60 Hz ó ciclos por segundo (c/s), por lo tanto se tendrá que trabajar con la pendiente ubicada en el centro de las curvas.

La forma para calcular las dimensiones del núcleo de un transformador puede verificarse con un ejemplo sencillo, el cual se muestra a continuación.

Supongamos que la tensión en el secundario de un transformador es de 190 V y que maneja una corriente de 5 A. Como es normal, en nuestro país, la frecuencia nominal es de 60 Hz. La potencia aparente del transformador será

$$240 \times 5A = 1200VA$$

de $190 \text{ V} \times 5 \text{ A} = 950 \text{ VA}$. Con este valor se busca en el eje Y del anexo el punto que corresponde a una potencia aparente de 950 VA ; partiendo de este punto se traza una horizontal que corte la pendiente de frecuencia de 60 Hz . A partir de este punto de intersección se baja una vertical que al cortar el eje X nos indicará la sección transversal del núcleo del transformador correspondiente a una potencia de 950 VA .

Se puede comprobar que para una potencia de salida de 950 VA se necesita una sección transversal del núcleo w_a de 28 cm^2 .

El núcleo, como sabemos, está formado por una serie de láminas o chapas magnéticas en las cuales se colocan las bobinas del primario y del secundario. La forma de las chapas responde a los distintos tipos de transformadores y sus dimensiones están normalizadas.

La forma de chapa mas empleada en pequeños transformadores, y en la cual se centra este trabajo, es la forma E/I, denominación derivada de su forma. Las chapas E/I pueden cortarse también en forma de F en cuyo caso desaparece la I, y el empalado se forma yuxtaponiendo chapas iguales en forma de F.

En el transformador de 950 VA y cuya sección w_a es de 28 cm^2 , si se desea trabajar con una chapa E/I se tendrá un ancho de la ventana del núcleo igual a 4.25 cm , este valor se obtiene aproximadamente al dividir el área de la sección transversal A_c del transformador entre su área del producto A_p y cuyos datos se muestran en las tablas de datos de diseño anexas al final del documento (columnas 3 y 16), aunque se deben hacer aproximaciones para evitar tener que hacer interpolaciones para obtener valores que no se encuentren en las tablas. La fórmula que determina esta operación ya se detalló anteriormente y es la siguiente: $A_p = w_a A_c \text{ [cm}^4\text{]}$.

$$V_{\text{del N.}} = \frac{L_0}{A_p}$$

$$A_p = 117.2 A_c$$

Observando el ancho de la ventana del núcleo, cuyo valor es de 4.25 cm, se pueden obtener todas las medidas o dimensiones del núcleo auxiliándonos de la tabla 3.4. En esta tabla se muestran las dimensiones del núcleo en unidades de centímetros. Según esta tabla las dimensiones del núcleo de un transformador de 950 VA son las siguientes:

Altura Chapa Impar	=	18.0 cm.
Longitud de Chapa	=	19.5 cm.
Ancho de Culata	=	2.75 cm.
Altura Chapa Par	=	15.25 cm.
Altura Ventana	=	12.5 cm.
Ancho del Núcleo	=	5.5 cm.
Ancho de Ventana	=	4.25 cm.

Estos cálculos se pueden ahorrar si se consiguen las láminas previamente troqueladas como las mostradas en la Tabla 3.4.

Chapa del Núcleo	Símbolo	42	54	60	78	84	92	106	130	150	170	195	Unidad
Altura chapa impar	H	3.5	4.5	5.0	6.5	7.0	7.4	8.5	10.5	12.0	14.0	18.0	cm
Longitud de chapa	L	4.2	5.4	6.0	7.8	8.4	9.2	10.6	13.0	15.0	17.0	19.5	cm
Ancho culata	E	0.7	0.9	1.0	1.3	1.4	1.2	1.45	1.75	2.0	2.25	2.75	cm
Altura chapa par	M	2.8	3.6	4.0	5.2	5.6	6.1	7.05	8.75	10.0	11.7	15.2	cm
Altura ventana	C	2.1	2.7	3.0	3.9	4.2	4.9	5.6	7.0	8.0	9.5	12.5	cm
Ancho del núcleo	D	1.4	1.8	2.0	2.6	2.8	2.5	2.9	3.5	4.0	4.5	5.5	cm
Ancho ventana	A	0.7	0.9	1.0	1.3	1.4	2.1	2.4	3.0	3.5	4.0	4.25	cm
Diámetro de los agujeros	ϕ_f	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.55	0.66	0.66	0.78	1.08	cm
Medidas de sujeción	G	2.8	3.6	4.0	5.2	5.6	6.1	7.05	8.75	10.0	11.7	15.2	cm
Distancia entre agujeros	I	3.5	4.5	5.0	6.5	7.0	8.0	9.4	11.5	13.5	15.0	17.0	cm

TABLA 3.4. Dimensiones para láminas normalizadas tipo E/I DIN E41-302

También puede encontrarse la cantidad de láminas o chapas por las cuales estará conformada el núcleo. Esto puede determinarse teniendo los datos del área por el ancho del núcleo.

Para el ejemplo anterior, sabiendo que el área encontrada es de 28 cm^2 y con una anchura de núcleo de 5.5 cm , la altura deberá ser:

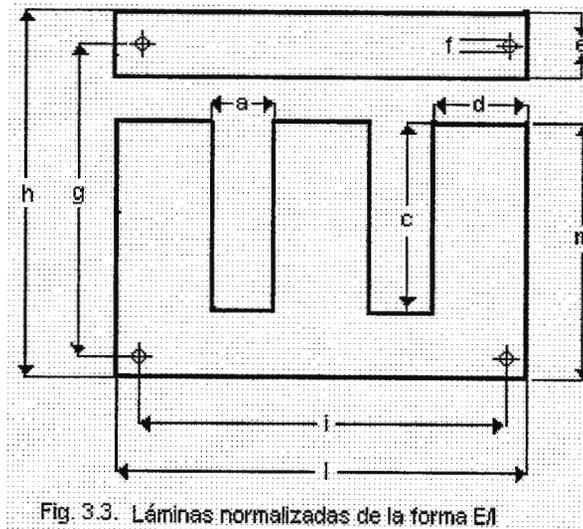


Fig. 3.3. Láminas normalizadas de la forma E/I

$$A = d \times h; \quad h = A/d$$

$$h = 28 \text{ cm}^2 / 5.5 \text{ cm}$$

$$h = 5 \text{ cm}$$

Donde A es el área del núcleo

d es la anchura del núcleo

h es la altura del núcleo

Si se dispone de una lámina de 0.5 mm de espesor, entonces el número aproximado de chapas o láminas será:

Altura del núcleo $h = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm}$

Grueso de una lámina $= 0.5 \text{ mm}$

Número de láminas $= \frac{50 \text{ mm}}{0.5 \text{ mm}} = 100$

El núcleo estará formado por 100 chapas E/I 195 de 0.5 mm

3.3. PROCESO DE CORTE DE LAS LAMINAS PARA EL NÚCLEO.

TROQUELADO: Proceso por medio del cual la aplicación de grandes fuerzas por herramientas para prensas durante un corto intervalo de tiempo, resulta en el corte (cizallado) o deformación del material de trabajo. También el troquelado se puede definir como el proceso de corte en serie de láminas para obtener un producto.

Una aplicación de troquelado, completada de ordinario por la simple aplicación de presión, resulta con frecuencia en la producción de una parte terminada en menos de un segundo.

Utilizando un proceso de troquelado se puede realizar el proceso de corte de las láminas de manera rápida y efectiva, ya que el promedio de tiempo de corte de un juego de láminas EI es de menos de un segundo. A continuación se describe el proceso de diseño de la matriz o molde utilizado para troquelar núcleos de la forma EI, presentándose la ventaja de que el proceso es similar para otros tipos de lámina.

3.3.1. Diseño de la matriz cortadora de lámina (troquel) [8].

Las dimensiones generales de una matriz se determinarán por el espesor de la pared mínima, requerida para resistencia, y por el espacio necesario para montar los tornillos y pasadores, así como el montaje de la placa extractora.

Los requerimientos del espesor de la pared para resistencia dependerán del material por cortar. Las esquinas agudas en el contorno pueden conducir a roturas en el tratamiento térmico, y se requiere por tanto, un espesor de pared más grande en esos puntos.

Deberán proporcionarse dos pasadores únicamente en cada matriz o elemento que requiera un posicionamiento permanente y preciso. Se

usarán, además, dos o más tornillos dependiendo del tamaño del elemento montado.

El grosor o espesor de las matrices es regido por la resistencia necesaria para resistir las fuerzas de corte, y dependerá del tipo y espesor del material a cortar. Para materiales muy delgados un espesor de $\frac{1}{2}$ plg (12.7mm) será suficiente, pero excepto para herramientas temporales, el espesor de acabado muy pocas veces será menor de $\frac{7}{8}$ plg (22.22mm), lo que permite el empleo de agujeros ciegos para tornillos y permite también construir la herramienta a una clase de altura de disparo mas angosta para conveniencia del cuarto de prensas.

A continuación se muestran las dimensiones del cálculo para el diseño de un troquel para las dimensiones del núcleo de un transformador cuyas medidas E/I se muestran en la figura 3.4.

Vale mencionar que los pasos para los cálculos del diseño de este troquel se omitirán por las siguientes razones:

- a) Este troquel presenta la desventaja de que genera demasiado desperdicio de material en el momento del corte; Debido a esto el troquel debe ser modificado de tal forma que se aproveche toda la tira de lámina. El troquel modificado se encuentra en una sección posterior del documento [7].
- b) Más adelante se analizan todos los pasos necesarios para el diseño de un troquel, para ser más específico, el troquel modificado que sí aprovecha toda la tira de lámina, o sea que no se desperdicia el material procesado. Esto se analiza en una sección posterior del documento.

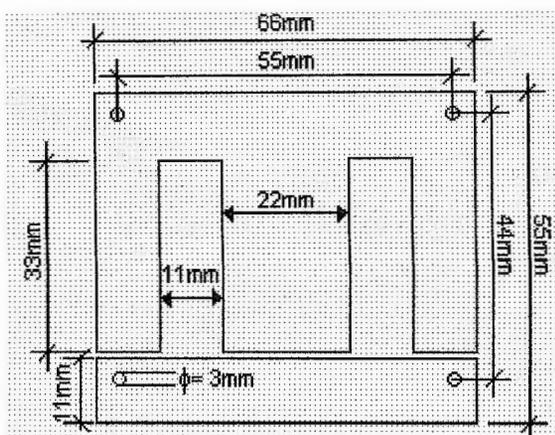


Fig. 3.4. Datos para el diseño de un troquel de un transformador monofásico

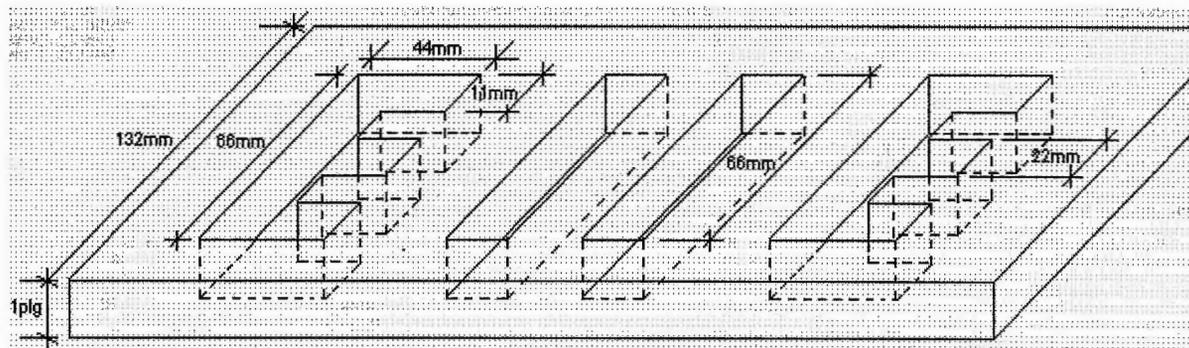


Fig. 3.5.a. Vista isométrica de la matriz hembra para la máquina troqueladora

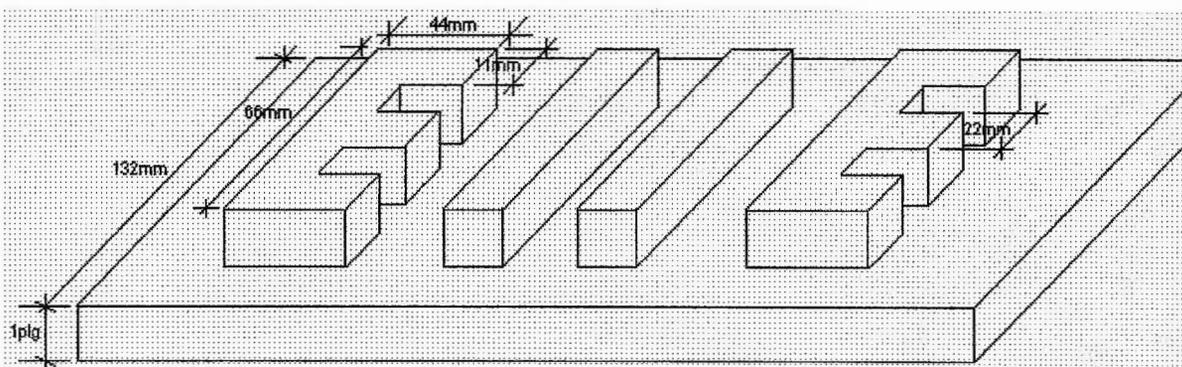


Fig. 3.5.b. Vista isométrica de la matriz macho para la máquina troqueladora

3.3.2. Proceso productivo para la fabricación del núcleo. I [7].

Para lograr la producción masiva del núcleo de los transformadores y obtener la mayor producción en el menor tiempo posible se puede utilizar algún tipo de maquinaria semi-automatizada ó automatizada, la cual sea capaz de hacer el corte de la lamina de manera rápida y precisa obteniendo cortes exactos según las dimensiones que tendrá el núcleo del transformador.

Esta máquina deberá ser una mesa con los soportes o bases adecuadas para que sobre ella pueda descansar la lámina de manera que ésta quede fija para poder hacer un corte preciso en el menor tiempo posible. La mesa de trabajo deberá tener unas prensas o sargentos debidamente calibrados, de tal manera que la lámina quede fija para poder hacer el corte. El corte lo realizaría una cuchilla de acero, siendo este acero un material con la dureza necesaria para lograr hacer los cortes prolongando la vida útil de esta cuchilla, el movimiento de la cuchilla será regido por un motor colocado sobre la cuchilla. Este motor al momento del encendido, accionara una serie de mecanismo para lograr el corte del material en el proceso. El tiempo de accionamiento del motor para lograr el corte será el necesario para que haya una transición entre un corte y otro y así se obtendrán todos los cortes requeridos para obtener las láminas que conforman el núcleo de los transformadores.

Si tomamos el núcleo para un transformador como el que se utilizó en la figura 3.4., los cortes que se tendrían que realizar y los tiempos necesarios para su ejecución, se muestran a continuación.

Para un núcleo para el transformador de la figura 3.4., cortaríamos un total de 14 tiras de 7x200 cm.

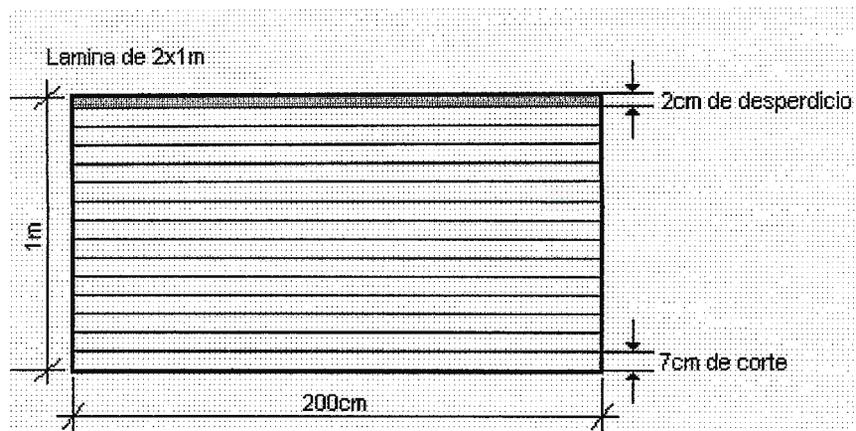


Fig. 3.6. Corte de 14 tiras de lámina de 7x200cm de medida

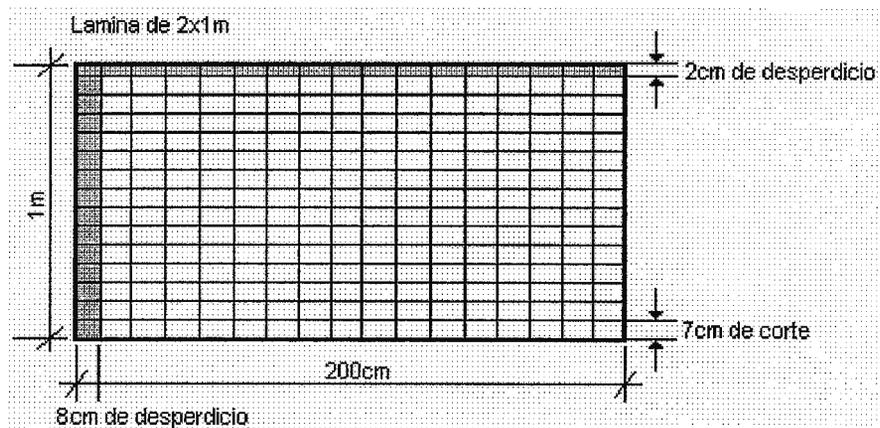


Fig. 3.7. Corte de 224 rectángulos de tiras lámina de 7x2cm de medida

El tiempo de corte en la máquina automática de la lámina es de 2 segundos, por lo tanto, si necesitamos cortar las 14 tiras como una primera opción de corte nos llevará el siguiente tiempo, considerando además 1 segundo de maniobra entre corte y corte:

$$t_1: 14 \text{ tiras de } 7 \times 200 \text{ cm: } 14 \times 3 \text{ seg} = 42 \text{ seg.} = 0.7 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de corte} = 0.7 \text{ min.}$$

Si cortamos, como segunda opción 224 rectángulos de lámina con un tiempo de corte de 3 segundos más 1 segundo de maniobra, o sea

reacomodo de la lámina entre corte y corte, el tiempo total de corte será el mostrado a continuación:

$$t_2: 224 \text{ rectángulos de } 7 \times 12 \text{ cm: } 224 \times 6 \text{ seg} = 896 \text{ seg.} = 15 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de corte} = 15 \text{ min.}$$

Por último hay que tomar en cuenta el tiempo del corte para obtener la forma final del núcleo EI, el cual necesita un tiempo de corte de 3 segundos más 2 segundos de maniobra, o sea reacomodo de la lámina entre corte y corte, este tiempo de corte es el mostrado a continuación; considerando que por cada rectángulo de 7×12 cm podemos obtener dos núcleos de la forma EI por corte:

224 rectángulos troquelados para lograr obtener dos núcleos de la forma EI a la vez cuya forma se muestra en la figura 4.1.:

$$t_3: 224 \text{ cortes} \times 5 \text{ seg} = 1120 \text{ seg} = 19 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de corte} = 19 \text{ min}$$

El tiempo total del corte para obtener los núcleos de la forma EI será igual a la suma de los tres tiempos de los tres procesos, el cual será:

$$\text{Tiempo total de corte} = t_1 + t_2 + t_3$$

$$t_T = (42 + 896 + 1120) \text{ seg} = 2058 \text{ seg} = 34 \text{ min}$$

Ahora, si suponemos una jornada de trabajo de 8 horas diarias, esto equivale a 480 min, entonces podemos obtener datos equivalentes de láminas de 1×2 m que se pueden procesar en una jornada diaria de trabajo, la cual equivale al total mostrado a continuación:

$$\frac{480 \text{ min}}{34 \text{ min}} = 14 \text{ láminas procesadas de } 1 \times 2 \text{ m}$$

$$\text{34 min}$$

Por lo tanto, el total de láminas EI que se pueden obtener es:

$$14 \times 224 \times 2 = 6272 \text{ láminas EI}$$

El 2 es un factor constante, debido a que el troquel procesa dos láminas EI por corte.

Si el transformador en proceso (figura 4.1) tiene un altura de núcleo de 50 mm (5cm), el espesor de la lámina de 0.5 mm, podemos obtener el número de láminas necesaria para montar el núcleo, el cual es:

$$\frac{50 \text{ mm}}{0.5 \text{ mm}} = 100 \text{ láminas por núcleo}$$

Con este dato podemos obtener el total de núcleos que se pueden construir por jornada laboral:

$$\frac{6272 \text{ láminas EI}}{100 \text{ láminas / núcleo}} = 62 \text{ núcleos por jornada laboral}$$

El corte del núcleo EI del transformador se realiza en una troqueladora, máquina que nos sirve para acelerar el proceso de producción de los núcleos; esto debido a que el tiempo de corte es de únicamente 3 segundos y se puede obtener un nivel de producción aceptable con cortes precisos y milimétricos, siempre y cuando se le dé el mantenimiento adecuado a la máquina y se tengan las medidas de diseño correctas del troquel.

3.3.3. Proceso productivo para la fabricación del núcleo. II [7].

En el proceso anterior se observaban demasiadas pérdidas de láminas cuando se realizaba el corte del material. A continuación se presenta un proceso que tratará de disminuir las pérdidas al mínimo.

CALCULO DE LA MATRIZ Y EL TROQUEL.

Tomando como referencia las dimensiones que se muestran en la figura 3.4., y si se quieren cortes para obtener un núcleo EI.

- i) Si se troquela un núcleo para una tira de lámina con las medidas rectangulares mostradas (véase la figura 3.8.a.).



- ii) Cálculo del centro de presión.

$$X = (I_1x_1 + I_2x_2 + I_3x_3 + I_4x_4) / (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)$$

$$X = (110 \times 0 + 66 \times 33 + 110 \times 66 + 66 \times 33) / 352$$

$$X = (2178 + 7260 + 2178) / 352$$

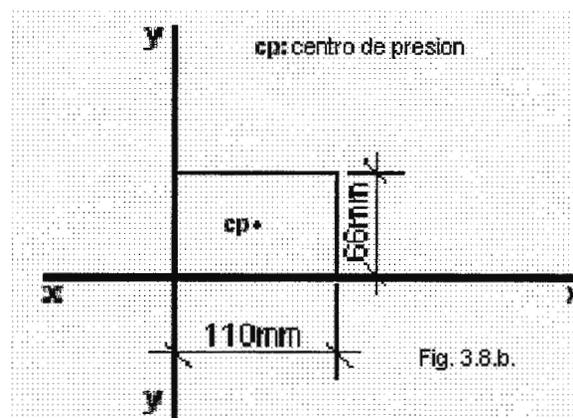
$$X = 33 \text{ mm}$$

$$Y = (I_1y_1 + I_2y_2 + I_3y_3 + I_4y_4) / (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)$$

$$Y = (110 \times 55 + 66 \times 0 + 110 \times 55 + 66 \times 110) / 352$$

$$Y = (6050 + 6050 + 7260) / 352$$

$$Y = 55 \text{ mm}$$



- iii) La holgura del troquel, según tablas de diseño será $0.0065 \text{ plg} = 0.17 \text{ mm}$

iv) Presión requerida para cortar y cizallar

Presión para los hoyos de 3 mm de diámetro

$$P = \pi DST$$

D = Diámetro

S = Resistencia al corte en lb/plg² (datos de tabla)

T = Espesor del material

Se puede considerar para material de acero al carbono y es de 42000 lb/plg² estirado en frío.

Para los hoyos de 3 mm de diámetro la presión es:

$$P = (3.14)(0.118)(42000)(0.01969) \quad \pi = 3.14$$

$$P = 306.416 = 139 \text{ kg}$$

$$D = 3 \text{ mm} = 0.118 \text{ plg}$$

$$S = 42000 \text{ lb/plg}^2$$

$$T = 0.5 \text{ mm} = 0.01969 \text{ plg}$$

Presión para las l de 11 mm de ancho por 66 mm de largo

$$P = SLT$$

$$1 \text{ lb} - 0.4536 \text{ kg}$$

$$1 \text{ plg}^2 - 6.45 \text{ cm}^2$$

$$P_1 = (42000)(0.433)(0.01969)$$

$$P_1 = 358 \text{ lb} = 162 \text{ Kg}$$

$$S = 42000 \text{ lb/plg}^2$$

$$L_1 = 11 \text{ mm} = 0.433 \text{ plg}$$

$$T_1 = 0.5 \text{ mm} = 0.01969 \text{ plg}$$

$$P_2 = (42000)(2.598)(0.01969)$$

$$P_2 = 2148 \text{ lb} = 974 \text{ Kg}$$

$$S = 42000 \text{ lb/plg}^2$$

$$L_2 = 66 \text{ mm} = 2.598 \text{ plg}$$

$$T_2 = 0.5 \text{ mm} = 0.01969 \text{ plg}$$

$$P_T = (358)(2) + (2148)(2)$$

$$P_T = (716) + (4296)$$

$$P_T = 5012 \text{ lb} = 2273 \text{ kg}$$

v) Cálculo del grosor de la matriz.

Esto se hace en base a tablas

Si el espesor del material a cortar es de $0.5 \text{ mm} = 0.01969 \text{ plg}$
 $= 0.02 \text{ plg}$

Espesor $0.5 \text{ mm} = 0.02 \text{ plg}$

De la tabla 4.2., tenemos que el grosor de la matriz es de $0.06 \text{ plg} = 1.5 \text{ mm}$, pero por cuestiones de diseño se sugiere un mínimo grosor de la matriz de 1 plg .

3.3.4. Evolución de un troquel Progresivo Cortador [7], [8].

i) Se quieren troquelar cuadros para los núcleos mostrados en la figura 3.4., pero se obtendrán dos núcleos El por ancho de lámina. Se cortarán dos láminas El por ancho de lámina en los siguientes pasos (véanse las figuras 3.9.):

a. Cortando los agujeros de 3 mm de diámetro en el primer paso del troquel.

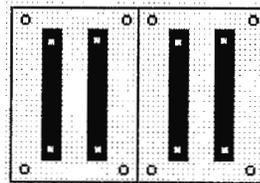


Fig. 3.9.a.

b. Cortando las l's de $11 \times 66 \text{ mm}$ en el segundo paso del troquel.

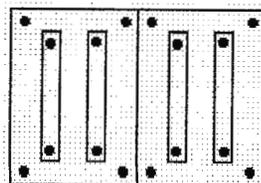


Fig. 3.9.b.

- c. Cortando los cuadros de 66 x 88 mm con cuchilla.

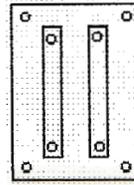


Fig. 3.9.c.

- d. Cortando las E con cuchilla.

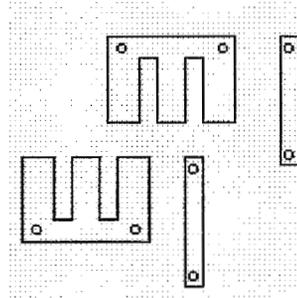


Fig. 3.9.d.

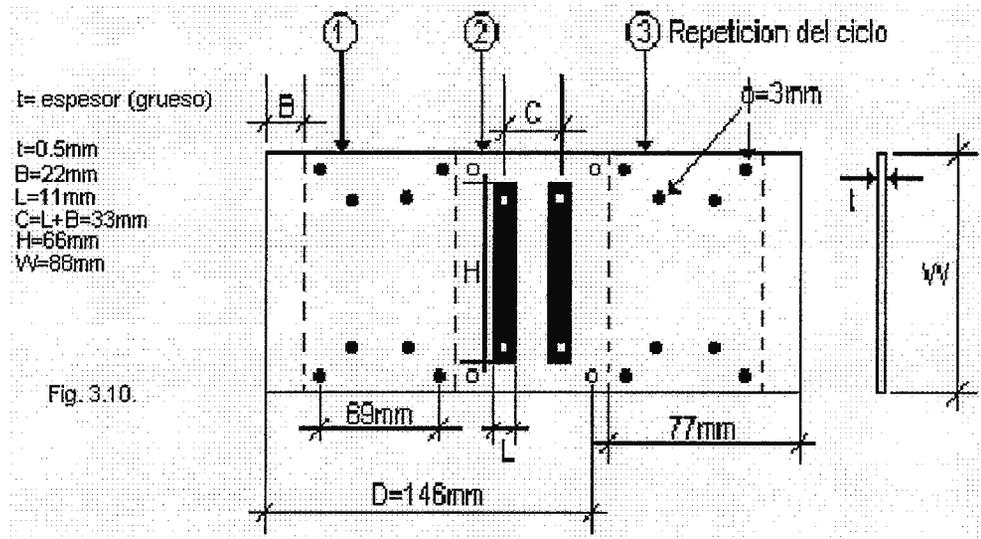
- ii) Pasos para el diseño del troquel para los núcleos E1 cuyas medidas se observan en la figura 3.4.

PASO 1. Generales.

1. La producción es de alta productividad en forma continua; por tanto, se utilizará un troquel de primera clase.
2. Tipo de prensa que se puede utilizar: se puede usar una prensa de 5.0 ó 10 ton, esto dependerá del tonelaje necesario para troquelar la lámina, lo cual se analiza más adelante.

PASO 2. Diseño de la tira para troquelar [7], [8].

Grueso o espesor del material: Este es especificado como 0.5 mm de lámina de hierro con pequeños porcentajes de carbono, el cual se puede adquirirse en un almacén proveedor de lámina (véase la figura 3.10.).



Como primer paso y primer tope de tuerca se perforarán todos los cuatro agujeros de las esquinas y los agujeros centrales (paso 1). Como segundo paso y segundo tope de tuerca se cortarán las dos l's de la lámina (paso 2). Este ciclo de corte se repetirá para los sucesivos avances de lámina a través del troquel (paso 3). Luego que se termina toda la tira de lámina se reinicia el corte colocando una tira de lámina nueva.

PASO 3. Tonelaje de la Prensa.

De datos de tablas, y tomando la resistencia al corte S del acero al carbono como referencia y el cual es aproximadamente igual a 42000 lb/plg^2 estirado en frío, se obtiene el tonelaje de la prensa:

$$\begin{aligned}
 P &= Slt & S &= 42000 \text{ lb/plg}^2 & 1 \text{ lb} &- 0.4536 \text{ kg} \\
 & & l &= 2L + 2H = 154 \text{ mm} = 6.06 \text{ plg} & 1 \text{ plg} &- 25.4 \text{ mm} \\
 & & t &= 0.5 \text{ mm} = 0.01969 \text{ plg} \\
 P &= (42000 \text{ lb/plg}^2)(60.06 \text{ plg})(0.01969 \text{ plg}) \\
 P &= 5012 \text{ lb} \\
 P &= 5012 \text{ lb} = 2273 \text{ kg} = 1.14 \text{ ton} = 2 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Con una troqueladora como la que se encuentra en el departamento de mecánica de la Universidad Don Bosco, la cual es de 40 ton, no habría problema al troquelar lámina delgada para transformadores, incluso ésta se encuentra sobredimensionada para los cortes indicados.

PASO 4. Cálculo de la Matriz y la Placa de la Matriz.

I. La Matriz.

El perímetro de corte es igual al perímetro de corte de las l's, siendo este igual a: $l = 2L + 2H = 154 \text{ mm} = 6.06 \text{ plg}$; el perímetro de corte de los agujeros se desprecia para efecto de cálculo del grueso de la matriz.

Siendo $l = 154 \text{ mm} = 6.06 \text{ plg}$ y el espesor del material $t = 0.5 \text{ mm} = 0.019 \text{ plg}$, el grosor de la matriz se obtiene de la tabla 3.5. Este grosor se multiplica por el factor para bordes cortantes que exceden los $50.8 \text{ mm} = 2 \text{ plg}$ y el cual se muestra en la tabla 3.6.

De la tabla 3.5. el grosor del material para una lámina de espesor $t = 0.5 \text{ mm} = 0.02 \text{ plg}$ es de $1.52 \text{ mm} = 0.06 \text{ plg}$. Como el perímetro de corte es mayor que 50.8 mm , especificando es igual a $l = 154 \text{ mm} = 6.06 \text{ plg}$ el grosor de la matriz se

multiplica por el factor de 1.75 mostrado en la tabla 4.3. por lo tanto:

$$1.52 (1.75) = 2.66 \text{ mm} = 0.10 \text{ plg} \text{ ----> Grosor de la matriz.}$$

Por lo tanto puede usarse una matriz igual a 1 pulgada (25.4 mm) de espesor que es un valor más comercial, y además, es el valor mínimo aceptable para diseñar matrices.

GROSOR DEL MATERIAL, PLG	GROSOR DE LA MATRIZ, PLG
0.01	0.03
0.02	0.06
0.03	0.085
0.04	0.11
0.05	0.13
0.06	0.15
0.07	0.165
0.08	0.18
0.09	0.19
0.10	0.20

TABLA 3.5. Grosor de la matriz por tonelada de presión [8]

PERÍMETRO DE CORTE, PLG	FACTOR DE EXPANSION
2 a 3	1.25
3 a 6	1.5
6 a 12	1.75
12 a 20	2.0

TABLA 3.6. Factores para bordes cortantes que exceden de 50.8 mm (2 plg) [8]

El ancho de la tira a troquelar es de 88 mm = 3.46 plg dejando un margen extra en cada lado de la tira de lámina igual a $1 \frac{1}{4}$ plg = 31.75 mm se tendrá:

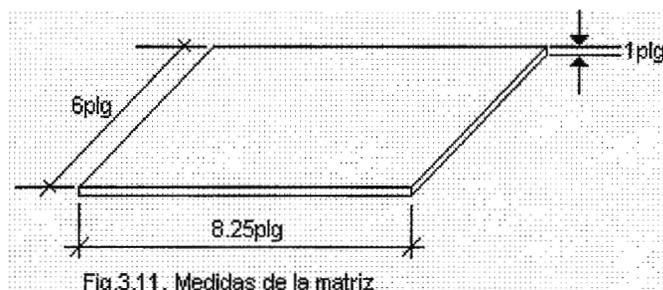
$$3.46 \text{ plg} + 2 \frac{1}{2} \text{ plg} = 6.0 \text{ plg} = 151.4 \text{ mm, de ancho.}$$

La distancia del borde de la tira de lámina en el paso 1 a los agujeros de la derecha de la tira, nos dará el largo de la matriz. Este largo es igual a $D = 146 \text{ mm} = 5.75 \text{ plg}$ a lo cual se le agregan $1 \frac{1}{4}$ plg a cada lado, por lo tanto, el largo de la matriz será:

$$5.75 + 2 \frac{1}{2} = 8.25 \text{ plg} = 210 \text{ mm}$$

Por lo tanto la matriz será de:

1 x 6 x 8.25 plg de medidas (véase la figura 3.11.)



II. La Placa de la Matriz

Se coloca entre la matriz y el portamatriz, se emplea una placa de acero para máquinas para asegurar la placa de la matriz al portamatriz y se utilizan tronillos de cabeza y pasadores de $\frac{1}{2}$ plg. Se utiliza un mínimo de dos veces la cabeza del tornillo para la distancia del borde de la matriz al borde de la placa de la matriz, lo que será igual a 1 plg. Dos veces esa distancia = 2 plg, o sea, que se añaden 2 plg al tamaño de la matriz, con lo cual las medidas de la placa de la matriz son:

1 x 8 x 10.25 plg (véase la figura 3.12.)

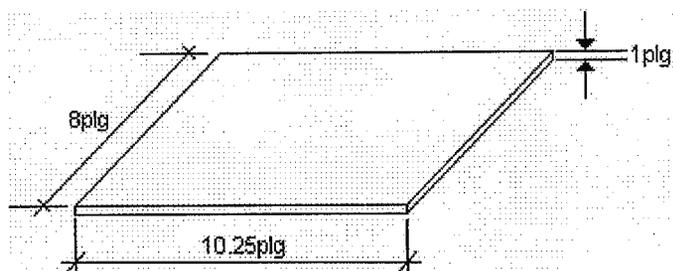


Fig. 3.12. Medidas de la placa de la matriz

La figura 3.13. muestra como quedan ajustadas la matriz y la placa de la matriz. Se observan las aberturas de la matriz que se han calculado en los pasos anteriores.

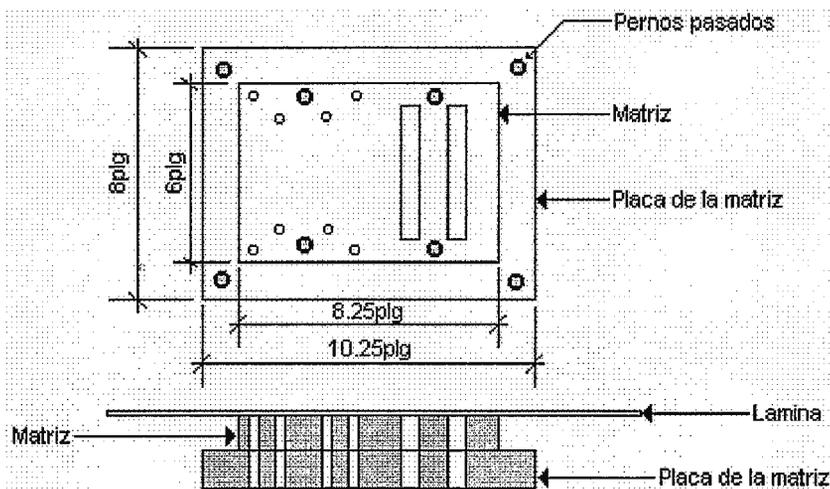


Fig. 3.13. Ajuste de la matriz y la placa de la matriz con pernos pasados.
Corte donde se observan los agujeros de la matriz

PASO 5. Cálculo de los punzones.

Una buena medida requiere que se reduzca a la dimensión básica del punzón cortador el 10% del grueso del material a cortar. Este mismo valor se utilizará para las aberturas en la matriz de los agujeros a perforar en la pieza. Las reglas de las holguras se aplicaran a las aberturas de la matriz que se utilizará para troquelar los núcleos.

Para el paso 2 (l's) la ranura deberá ser de 11 mm de ancho por 66 mm de largo. El grueso del material es de 0.5 mm; $10\% = 0.05$ mm.

La matriz tendrá $11 + 0.05 = 11.05$ mm de ancho

$66 + 0.05 = 66.05$ mm de largo

El punzón será igual a $11 - 0.05 = 10.95$ mm de ancho

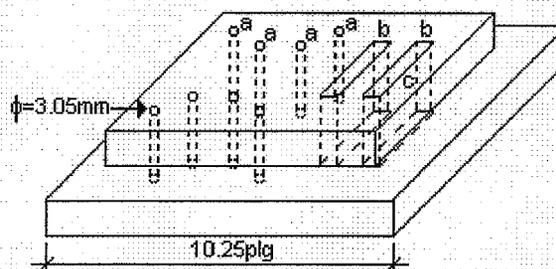
$66 - 0.05 = 65.95$ mm de largo

Para los agujeros del paso 1, los cuales son de 3 mm de diámetro

La matriz tendrá $3 + 0.05 = 3.05$ mm de diámetro

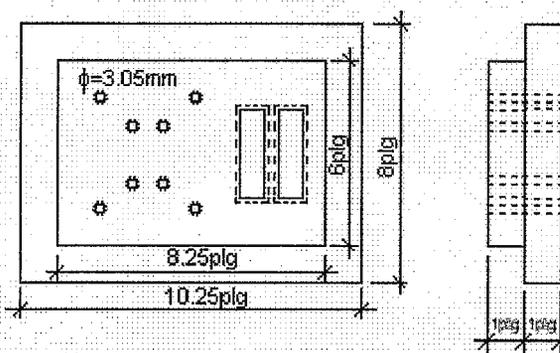
El punzón tendrá $3 - 0.05 = 2.95$ mm de diámetro

En la figura 3.14. se observa el dibujo isométrico y las vistas lateral y en planta de la matriz hembra que conformaría la máquina troqueladora.



Medidas de las aberturas.
Agujeros: $a = \phi 3.05$ mm
 $b = 11.05$ mm
 $c = 66.05$ mm

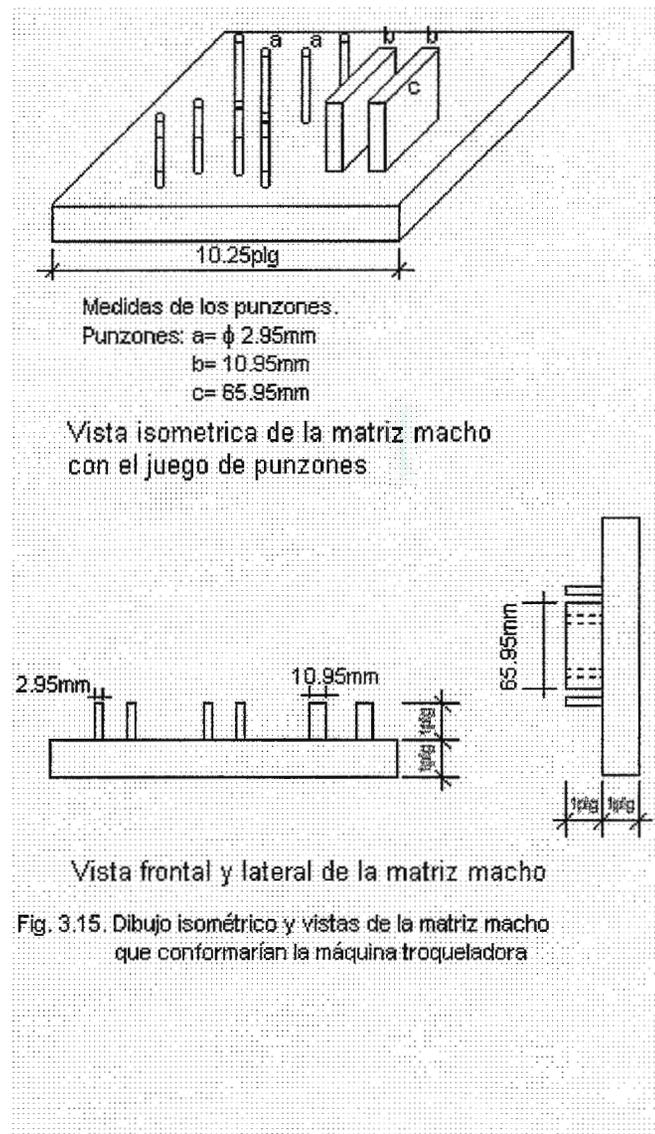
Vista isométrica de la matriz hembra y la placa de la matriz



Vistas de planta y lateral de la matriz hembra

Fig. 3.14. Dibujo isométrico y vistas de la matriz hembra que conformarían la máquina troqueladora.

En la figura 3.15. se observa el dibujo isométrico y las vistas lateral y en planta de la matriz macho (punzones) que conformaría la máquina troqueladora.



Con este tipo de diseño de troqueladora se puede obtener una mayor producción que el diseño presentado anteriormente, el cual tenía muchas desventajas.

La principal ventaja de diseño que se presenta al usar directamente la máquina troqueladora (sin cortes previos con cuchillas) es que se aprovecha la tira del material en su totalidad, o sea que este diseño no presenta desperdicio de material.

Otra ventaja es que se obtiene un nivel de producción mucho mayor que el diseño presentado como proceso I.

El hecho que la troqueladora se limite a cortar tiras en forma de I y agujeros, hace que se utilice toda la tira de la lámina que se está siendo troquelada, esto si suponemos que la lámina viene en forma de carretes largos de una distancia determinada como si fueran rollos de papel higiénico que se pueden colocar sobre un eje que gire libremente para irse desenrollando a medida que se vaya troquelando.

A continuación se presenta el análisis de la cantidad de producción para el diseño con la troquelada que aprovecha todo el material de la tira de lamina(proceso II); se supondrá una tira de lamina de 100m de largo por 88mm de ancho esto para obtener núcleos de forma EI para las medidas del núcleo de la figura 3.4.

Si se compra el carrete de lamina de 100m de largo por 88mm de ancho entonces, contrario al proceso anterior, no serán necesarios los cortes iniciales con la cuchilla por lo tanto nos ahorramos valiosos segundos de producción.

Como se aprovecha toda la tira del material; la lámina se podrá colocar como se muestra en la figura 3.16.

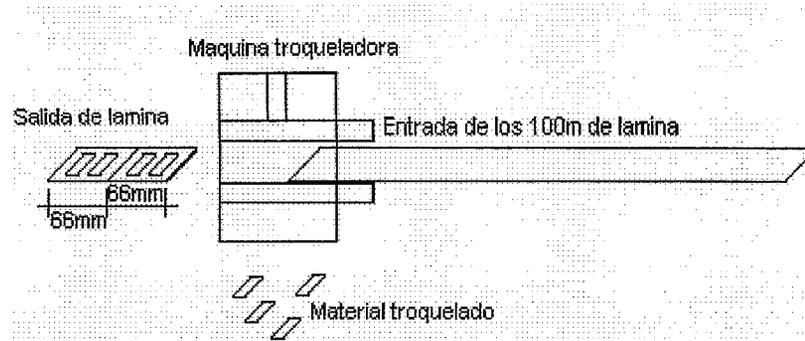


Fig. 3.16. Diagrama esquemático que resume el proceso de troquelado para los núcleos de la forma EI

Obteniendo la cantidad de producción de láminas, si se considera que el tiempo de troquelado de las láminas es de 1.2 segundos y sabiendo que tenemos la tira de 100m por 88mm de ancho de los cuales saldrán dos laminas EI por cada rectángulo de 88 x 66 mm; entonces se puede obtener el tiempo y cantidad de producción.

- i) Cantidad de laminas producidas por 100m de material

Si se obtienen dos láminas EI por cada 66mm de lámina, entonces por 100 m:

$$\frac{100000 \text{ mm}}{66 \text{ mm}} = 1515 \times 2 = 3030 \text{ Láminas EI por cada 100 m}$$

- ii) Si el tiempo de troquelado es de 1.2 segundos, entonces los 100 m se pueden troquelar en el siguiente tiempo:

$$\begin{array}{rcl} 1 & - & 1.2 \\ 1515 & - & X \end{array} \quad \rightarrow \quad X = 1515 \times 1.2 \text{ seg} = 1818 \text{ seg}$$

Entonces el tiempo para procesar 100 m de lámina es de 1818 seg, lo que equivale a 0.505 hora = 0.5 horas

iii) Para obtener el número de láminas producidas en 1 hora revertimos el cálculo anterior.

Para obtener las láminas troqueladas en 1 hora dividimos el número de segundos en 1 hora entre 1.2 seg.

$$\frac{3600 \text{ seg.}}{1.2 \text{ seg.}} = 3000 \times 2 = 6000 \text{ láminas EI producidas en 1 hora}$$

Si consideramos una jornada laboral de 8.5 horas obtenemos la producción diaria:

$$6000 \text{ láminas EI} \times 8.5 \text{ horas} = 51000 \text{ láminas EI diarias.}$$

iv) Si consideramos una semana laboral de 5 días la producción de láminas EI es:

$$51000 \text{ lám.} \times 5 \text{ días} = 255000 \text{ láminas semanales}$$

v) Si consideramos 25 láminas EI por cada núcleo de transformador, el total de núcleos de transformadores es de:

$$\frac{255000 \text{ lám}}{25 \text{ lám}} = 10200 \text{ núcleos EI para transformadores}$$

vi) Si la cuchilla corta la lámina en un tiempo de 0.5 segundos ya que esta es la tercera y cuarta parte del proceso para obtener el cuadro total entonces el tiempo para una jornada de 51000 láminas será:

$$51000 \text{ cortes} \times 0.5 \text{ seg} = 25500 \text{ seg} = 7 \text{ horas}$$

Lo que prácticamente complementa la jornada semanal de trabajo.

3.4. ELABORACIÓN DE LOS CARRETES.

Para la elaboración de los carretes en los cuales se enrollan las bobinas del transformador se pueden considerar tres posibilidades de material para la construcción, destacándose los siguientes tipos de carretes:

- i) Carrete de cartón.
- ii) Carrete de plástico inyectado, el cual puede ser ensamblado.
- iii) Carrete aislante de fenólica.

De las anteriores sólo se analizarán las posibilidades i e ii.

3.4.1. Carretes de cartón [7].

Un procedimiento sugerido para construir carretes de cartón se describe a continuación:

Se compran lotes de cartón reciclado (1) para usarlos como materia prima; además del cartón reciclado se comprará cartoncillo (2), el cual se usará para reforzar y conformar la estructura del carrete. El cartoncillo se colocará sobre el cartón; o sea que la estructura realmente no está conformada por cartón sino que en realidad es un carrete de cartoncillo colocado sobre un cartón lo cual le dará mayor resistencia a la pieza fabricada.

El cartón y el cartoncillo se cortarán en una sola operación, colocándose uno encima de otro y se usará una cuchilla (3) de tamaño adecuado, similar a la que se estudió en el capítulo del proceso productivo I para el núcleo. El tamaño del cartón que se deberá cortar dependerá del tamaño del núcleo del transformador, específicamente la parte central del núcleo nos da las medidas de corte adecuadas. Indiferentemente del tamaño exacto de la parte central del núcleo del transformador, el cartón cortado (4) tendrá una forma rectangular para que pueda ser doblado en un molde (5) que puede ser de madera; el cartón se doblará de tal manera que uno de

los extremos u orilla se traslapa al otro para completar la pieza, siendo esto necesario además para pegar los extremos entre sí y cerrar el carrete.

Por último puede usarse pegamento especial a base de calor para unir los extremos de los carretes. Una vez formado el carrete se puede proceder a enrollar el alambre esmaltado para empezar a conformar las bobinas del transformador. La figura 3.17. resume el proceso descrito anteriormente [7].

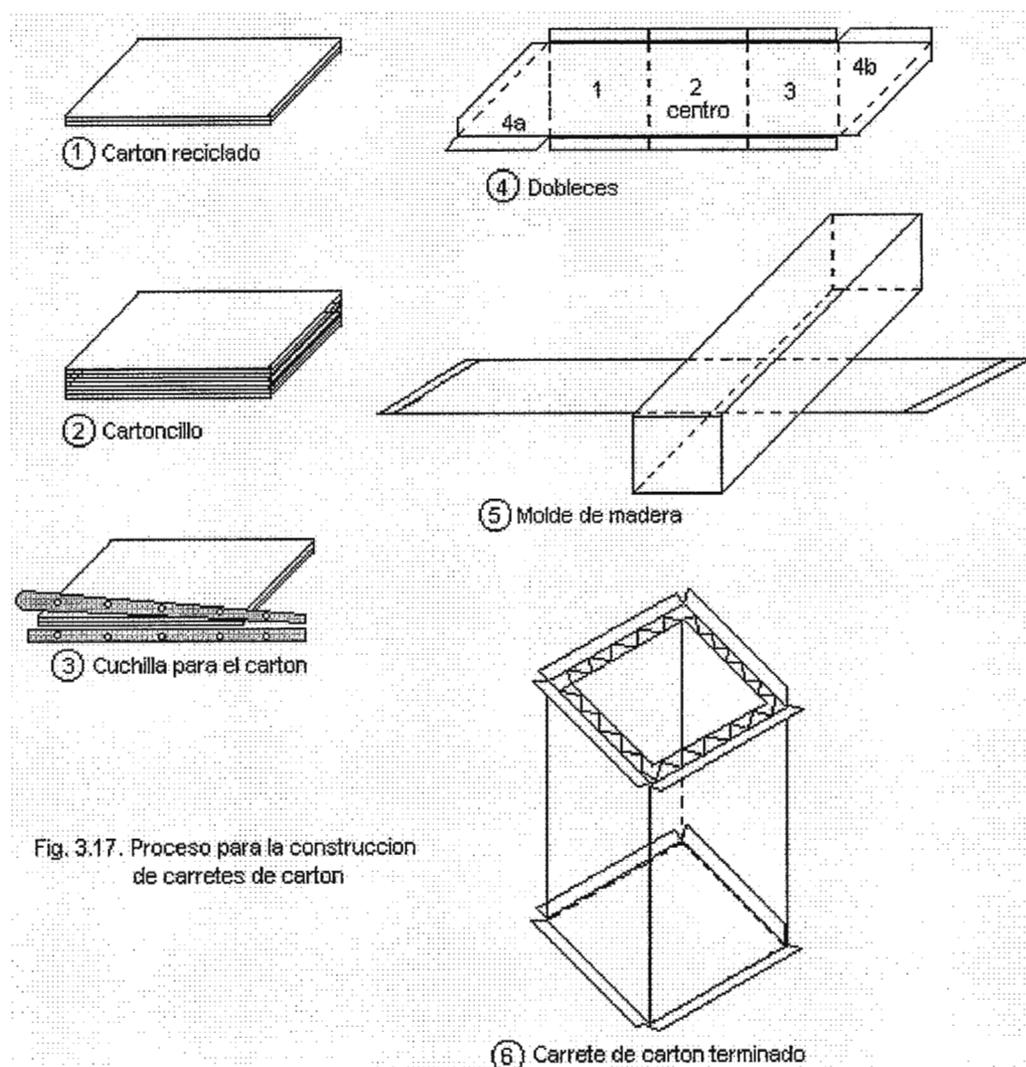


Fig. 3.17. Proceso para la construcción de carretes de cartón

3.4.2. Carretes de plástico inyectado.

La fabricación de los carretes para las bobinas puede hacerse utilizando una máquina inyectora de plástico, cuya finalidad será la producción en serie de dichos carretes.

I. Materia Prima Utilizada para Fabricar los Carretes de Plástico.

Los carretes plásticos utilizados para enrollar el conductor de las bobinas deberán tener ciertas propiedades, destacándose entre ellas: Estabilidad dimensional, rigidez elevada, baja tendencia a la deformación, resistencia a la abrasión, dureza elevada y excelente rigidez dieléctrica. La familia de los poliésteres termoplásticos o poliésteres termoplásticos de ingeniería, como también se les conoce, es muy amplia e incluye polímeros con aplicaciones muy variadas como son fibras, películas, botellas y piezas de ingeniería.

La diferencia entre estos grados radica básicamente en el peso molecular y grado de cristalinidad. Los poliésteres de ingeniería tienen valores elevados de estas características. Su nombre refleja el tipo de productos que se fabrican con estos plásticos, artículos que requieren elevado desempeño mecánico, químico y térmico.

Los poliésteres termoplásticos que existen como plásticos de ingeniería específicamente son:

-Homopolímeros: PET (polietilén tereftalato) y PBT (polibutilén tereftalato).

-Aleaciones: PET/PBT, PET/PC, PTT/PS.

-Elastómeros termoplásticos, los cuales conforman los hules termoplásticos.

-Poliuretano.

II. Propiedades de los Poliésteres Termoplásticos.

a) Propiedades Físicas.

La densidad del PET grado ingeniería es de 1.38g/cm^3 la del PBT es de 1.30g/cm^3 y su estructura presenta un alto nivel de cristalinidad (40–50%) por lo que ambos son termoplásticos de color blanco opaco.

El polietilén tereftalato presenta alta absorción de agua, en promedio es entre 0.04% y 0.25% durante 24 horas a 23°C , la mayor absorción se observa en grados de alta tenacidad.

b) Propiedades Mecánicas.

El polietilén tereftalato PET posee resistencia mecánica media, pero rigidez y dureza elevadas, baja resistencia al impacto y gran resistencia a la abrasión. El PBT tiene una resistencia mecánica menor que el plástico anteriormente mencionado y cuenta con una mejor resistencia al impacto a bajas temperaturas. En la tabla 3.7. observa la comparación del PET con respecto al PBT, y además muestra las condiciones de los mismos plásticos cuando se han reforzado con el 33% de fibra de vidrio.

Propiedad	Unidades	PET	PET 33% FV	PBT	PBT 33% FV
Densidad	g/cm^3	1.38	1.52	1.30	1.52
Absorción de agua	%	0.1	0.04	0.09	0.07
Contracción	%	-	-	1.6-2.2	-
Resistencia a tensión (ruptura)	N/mm^2	42	165	42	165
Elongación punto de ruptura	%	70	2	200	3
Resistencia al impacto Izod C A 23°C A -20°C	KJ/m^2 Kj/m^2	No rompe -	No rompe -	No rompe -	45 -
Temperatura de deflexión 1.86N/mm^2 0.45N/mm^2	$^\circ\text{C}$ $^\circ\text{C}$	80 115	230 > 250	65 170	205 275
Resistencia dieléctrica	KV/mm	60	45	45	32

TABLA 3.7. Propiedades del PET y PBT [9].

c) Propiedades eléctricas.

El PET presenta un aislamiento térmico medio, no es apto como aislante en alta frecuencia. La resistencia volumétrica está entre 10^{13} y 10^{15} Ω -cm con un coeficiente dieléctrico a un medio entre 3.0 y 4.1. El aislamiento eléctrico y La resistencia a las corrientes parásitas son ligeramente superiores en el PBT con respecto al PET, pues absorbe menos humedad; este material presente una resistencia volumétrica de 10^{16} Ω -cm con un coeficiente dieléctrico entre 3 y 4. Las propiedades eléctricas del PET y el PBT, además de las propiedades con un refuerzo del 33% de fibra de vidrio se pueden observar en la tabla 3.7.

d) Propiedades térmicas.

La temperatura de fusión del PET es del rango entre 250 y 254°C; esta temperatura explica en mayor parte que el rango de temperaturas de uso continuo abarca desde -20 a 100°C y en aire caliente incluso hasta 135°C.

Su dilatación térmica se sitúa en valores medios y bajos. La temperatura de deflexión bajo carga aumenta considerablemente en los grados reforzados con fibra de vidrio. El PBT tiene un punto de fusión de 225°C y presenta un intervalo de temperatura de uso continuo entre -40 y 125°C. Es conveniente tomar en cuenta que a partir de 70°C la resistencia mecánica se reduce de manera importante, la cual puede mantenerse con refuerzos de fibra de vidrio. Su dilatación térmica es menor que la del PET pero se distingue por su mejor resistencia al impacto, sobre todo en frío. Su temperatura de flexión bajo carga es menor que la del PET, aún cuando está reforzado con fibra de vidrio.

e) Propiedades químicas.

El PET de ingeniería resiste a los ácidos diluidos, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, aceites, grasas, ésteres y alcoholes. No

resiste agua caliente, vapor, ácidos y bases concentradas, hidrocarburos halogenados y cetonas.

El PBT resiste mejor a bases diluidas y no tiende al amarillento. No resiste los hidrocarburos aromáticos, ésteres, cetonas, ácidos débiles y agua por encima de los 70°C. Aparte de que el PET y el PBT es una materia prima por excelencia para la fabricación de carretes para transformadores, también pueden considerarse otras aplicaciones de elementos plásticos, entre las cuales tenemos: Mangos de cubiertos, secadoras de pelo, cafeteras, piezas de motores, portaescobillas, interruptores, chasis de equipos, ventiladores, enchufes, bobinas textiles, pistolas para soldar por fusión, manijas de puertas y ventanas, y todo tipo de material plástico que se utiliza en la industria.

3.5. PROCESO INDUSTRIAL PARA LA FABRICACIÓN DE LOS CARRETES [9].

Como se mencionó anteriormente, para lograr la fabricación de los carretes plásticos, el proceso requiere del uso de una máquina de inyección como la mostrada en el apartado de las diferentes maquinarias utilizadas en el proceso de construcción de transformadores; el proceso industrial para fabricar los carretes se describe a continuación.

Porcentajes de Material a Utilizar en el Proceso.

En el caso del PET, la caída de viscosidad en el proceso de producción nunca deberá ser mayor de 0.015 lt/gr. Bajo estas condiciones puede usarse aproximadamente un 50% de material reciclable con un 50% de material virgen.

La consistencia y calidad del producto de plástico dependerá en gran medida de la introducción del material reciclado en el proceso de producción.

Un porcentaje recomendable es agregar dentro de la tolva un 40% de material virgen con un 60% de material reciclable.

De cualquier forma, el operario realizará las respectivas pruebas de calidad al realizar el proceso de plastificación hasta obtener un producto final con la consistencia deseada. Esto lo realiza variando los porcentajes de material virgen y reciclado, y además variando las otras condiciones de trabajo como lo son temperatura del husillo, la temperatura del molde, etc.

También es importante tomar en cuenta que no se deben fusionar dentro de la tolva materiales con características diferentes si se desea obtener un producto final con la calidad deseada. En la figura 3.18. se puede observar como influye el porcentaje de material reciclado dentro del proceso en la reducción de la resistencia al impacto del producto obtenido.

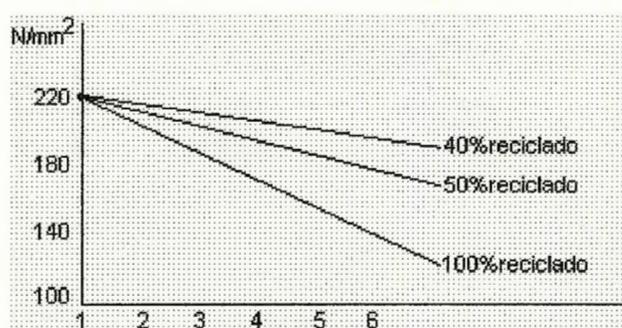


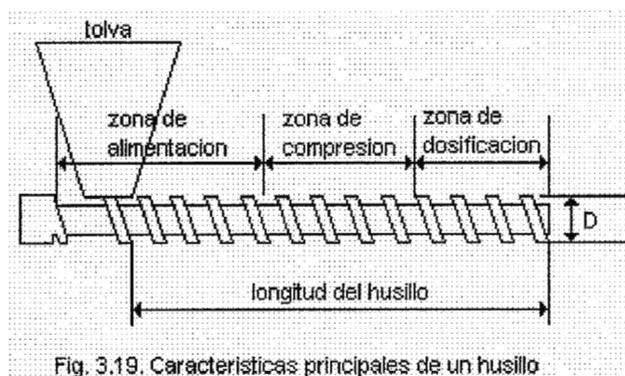
Fig. 3.18. Reducción de la resistencia al impacto con material reciclado

Características del Husillo.

Para trabajar en procesos que involucren poliésteres de ingeniería se recomienda usar un husillo con una relación longitud diámetro L/D de 18:1 a 20:1 y longitudes en la zona de alimentación de 8 a 9D, zona de compresión de 5 a 6D y zonas de dosificación de 5D; la relación de compresión recomendada es de 2.0 a 2.5:1.

La relación longitud diámetro L/D es la relación que se obtiene de dividir el largo del husillo entre el diámetro del mismo. El largo se toma como la medida desde la parte delantera de la tolva hasta el fin del último álabe del husillo en posición adelantada, los estándares americanos "SP1" difieren de los europeos "Euromap" al considerar la longitud total del husillo desde el primer álabe hasta el último.

Las zonas principales de un husillo convencional y la relación L/D se muestran en la figura 3.19.

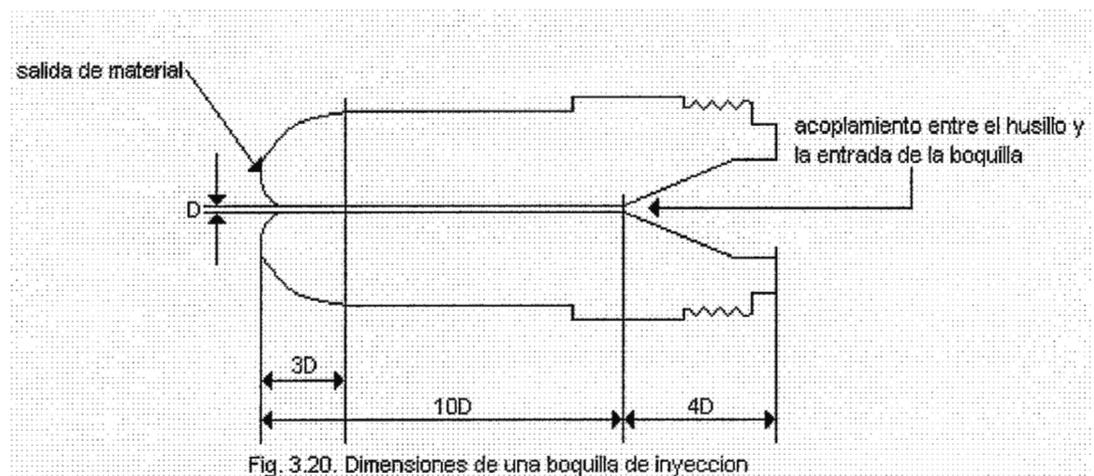


El husillo más utilizado en muchos procesos se conoce como husillo universal con relaciones L/D de 20:1, 18:1 y 22:1 como las más representativas. Para la manufactura del husillo se usan aceros tratados al calor y resistentes a los esfuerzos físicos con una superficie dura. Generalmente se aplican recubrimientos anticorrosivos para la punta del husillo se utilizan aceros resistentes al esfuerzo (AISI 4140), con una dureza Rockwell 52C y con alta resistencia a la abrasión superficial.

Por último es importante mencionar que la temperatura promedio de trabajo del husillo es de 250°C con una presión de inyección que va de los 800bares a 2500bares. La presión y la temperatura del husillo pueden variar de los valores establecidos anteriormente según los ajustes que haga el operario de la máquina para obtener el producto final con la calidad deseada.

Características de la Boquilla.

Para transferir el plástico desde la salida del husillo de inyección hasta el molde sin que se deforme la pieza requerida, se debe colocar una boquilla debidamente dimensionada entre las dos piezas. Para el molde de los polímeros de ingeniería se deben utilizar boquillas de calentamiento independiente de paso transversal y de punta recta. Es necesario tener un excelente control de temperaturas y no es recomendable para grados con retardancia a la flama. La figura 3.20. muestra las dimensiones necesarias de una boquilla de inyección.



La temperatura de trabajo de la boquilla para transformar las piezas para los carretes es de aproximadamente unos 200°C a 300°C , estando éstas temperaturas sujetas a los cambios necesarios por parte de los operarios, según condiciones de trabajo.

Condiciones de Operación.

Las variables que determinan la calidad del producto durante la operación de la máquina de inyección, aunque ya anteriormente se hizo referencia al hablar de las temperaturas y presiones del husillo y la boquilla, se analizan a continuación.

Perfil de Temperaturas.

Las temperaturas del cilindro dependen de diversos factores, tales como: tamaño y tipo de máquina, tiro de inyección y ciclo. La temperatura óptima para la masa fundida varía de acuerdo al tiempo de retención, la cual debe irse verificando con un aparato llamado pirómetro en el momento del moldeo, para asegurar que el material no exceda el tiempo límite que se ha establecido.

Las condiciones de inyección para los plásticos de ingeniería con respecto a la temperatura se muestran en la tabla 3.8.

PLASTICO	TEMPERATURA DE TRABAJO DEL HUSILLO (°C)	TEMPERATURA DEL MOLDE (°C)	PRESION EN BARES (100kPa)
PET	260-295	140	800-1200
PET con 33% F.V.	270-295	140	800-1200
PBT	230-260	60-110	800-1200
PBT con 33% F.V.	250-270	60-110	800-1200

TABLA 3.8. Condiciones de inyección [9].

La temperatura en la superficie del molde tiene rangos entre 90 y 120°C, los cuales van en función del espesor del molde y del ajuste que realice el operario según la calidad de la pieza que se desee obtener. La tabla 3.9. muestra la temperatura del molde en función del espesor.

ESPESOR	TEMPERATURA
0.75	110
1.5	105
3.1	100
6.3	90

TABLA 3.9. Temperatura del molde en función del espesor [9].

El funcionamiento correcto de una máquina de inyección está garantizado por el sistema hidráulico, que provee fluido a diversos niveles de presión y flujo.

Presiones.

Presión de inyección: El rango de presiones de inyección para los poliésteres de ingeniería oscila entre los 800 y 2500 bares, dependiendo del tipo de pieza a moldear y del grado del material utilizado. Para la pieza del carrete puede ser de unos 1000 bares.

Presión de sostenimiento: Tiene como objetivo mantener bajo presión el material fundido mientras se solidifica. Así se evitan rechupes en las piezas o ciertas marcas superficiales. Esta presión para fabricar los carretes para las bobinas puede ser de unos 600 bares.

Contrapresión: Tiene la función de impedir el retorno del husillo mejorando la acción de mezcla del material. Para la fabricación de los

carretes para las bobinas puede ser de unos 80 bares. La tabla 3.10. muestra las principales presiones que se sugieren en el husillo para fabricar los carretes para las bobinas.

Tipo de Presión	Presión Bares
Presión de inyección	1000 bares
Presión de sostenimiento	600 bares
Contrapresión	80 bares

TABLA 3.10. Presiones de trabajo del husillo [9].

Diseño del Molde [7], [9].

Un molde de inyección es el arreglo de varios elementos ensamblados, fijos y móviles, que producen un espacio con la forma del producto deseado, entre la cavidad o parte negativa (matriz hembra) y el corazón denominado sección positiva o núcleo (matriz macho). El objetivo del herramental es producir un número elevado de piezas plásticas con la calidad deseada y en el menor tiempo posible.

El ciclo de moldeo es definido como aquel que transcurre desde que cierra el molde para efectuar una inyección o un disparo, hasta repetir nuevamente el cierre para la siguiente inyección. Generalmente, el número de golpes por minuto u hora, representa un indicador de la productividad del molde.

Algunos aspectos que afectan el costo de un molde de inyección son:

- Claridad en la presentación del producto: en papel, en dos dimensiones, en tres dimensiones, diseños computarizados, sólidos, superficies.
- Número de cavidades.
- Esquinas exteriores cuadradas.
- Esquinas interiores cuadradas.

- Localización de los puntos de inyección.
- Sistema de inyección.
- Grabados y leyendas.

Algunos factores a considerar para el diseño del molde son:

- Diseño de pieza.
- Productividad deseada.
- Selección del material plástico.
- Posición del punto de inyección.
- Flujo dentro del molde.
- Zonas de venteo.
- Sistemas de expulsión.
- Grabados y leyendas.
- Facilidad de mantenimiento.

Las partes principales de un molde de inyección se muestran en la figura 3.21.

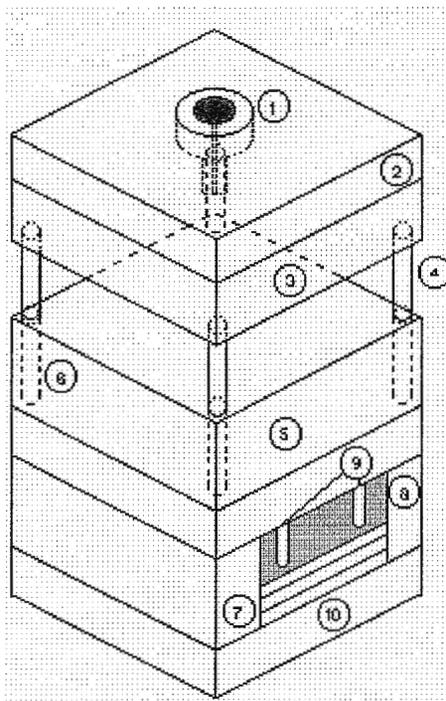


Fig. 3.21. Partes principales de un molde para una máquina inyectora de plásticos

1. Anillo de registro con bebedero
2. Placa superior
3. Placa de cavidad
4. Pernos guías
5. Placa de corazón
6. Guías
7. Placa de expulsores
8. Placas de separación
9. Pernos de retorno
10. placa inferior de fijación

Las partes del molde de inyección a considerar para aspectos de diseño son:

- La placa de cavidad (matriz hembra).
- La placa de corazón (matriz macho).
- Bebedero.

Las demás placas y partes del molde tienen dimensiones estandarizadas debido a que son placas de fijación, apoyo y soporte que no le dan formas específicas a las piezas que serán producidas, por lo tanto en este trabajo no se especifican las dimensiones de estas partes, ya que dependen del tipo de máquina inyectora y el tamaño de las mismas puede variar. Estas partes son: placa de soporte, placas de separación, placa inferior de fijación y placas de expulsores.

Las dimensiones del diseño de la placa de cavidad, la placa de corazón y el bebedero que servirían para fabricar los carretes para enrollar las bobinas de transformadores se muestran en las figuras. Tanto la placa de cavidad así como la placa de corazón tienen similitud con las medidas de las matrices macho y hembra que se diseñaron en un capítulo anterior.

La forma de la matriz de inyección a utilizar para fabricar los carretes se muestra en la figura 3.22. Esta posee su placa extractora para trabajar como un molde convencional, y además, posee un perno de expulsión lateral con el cual se garantiza que no queden trabados los carretes al momento de ser expulsados. La figura muestra la forma de la matriz de inyección.

Además se observan los detalles del bebedero, cuya finalidad es hacer un acople entre la placa de corazón y la placa de cavidad. Puede observarse el diámetro muy fino que hace la comunicación directa entre las dos placas. El material con que se fabrica el bebedero debe ser tal que soporte las presiones de inyección, además de las temperaturas de trabajo que se dan en el proceso de inyección, cuyas temperaturas ya se han mencionado con anterioridad.

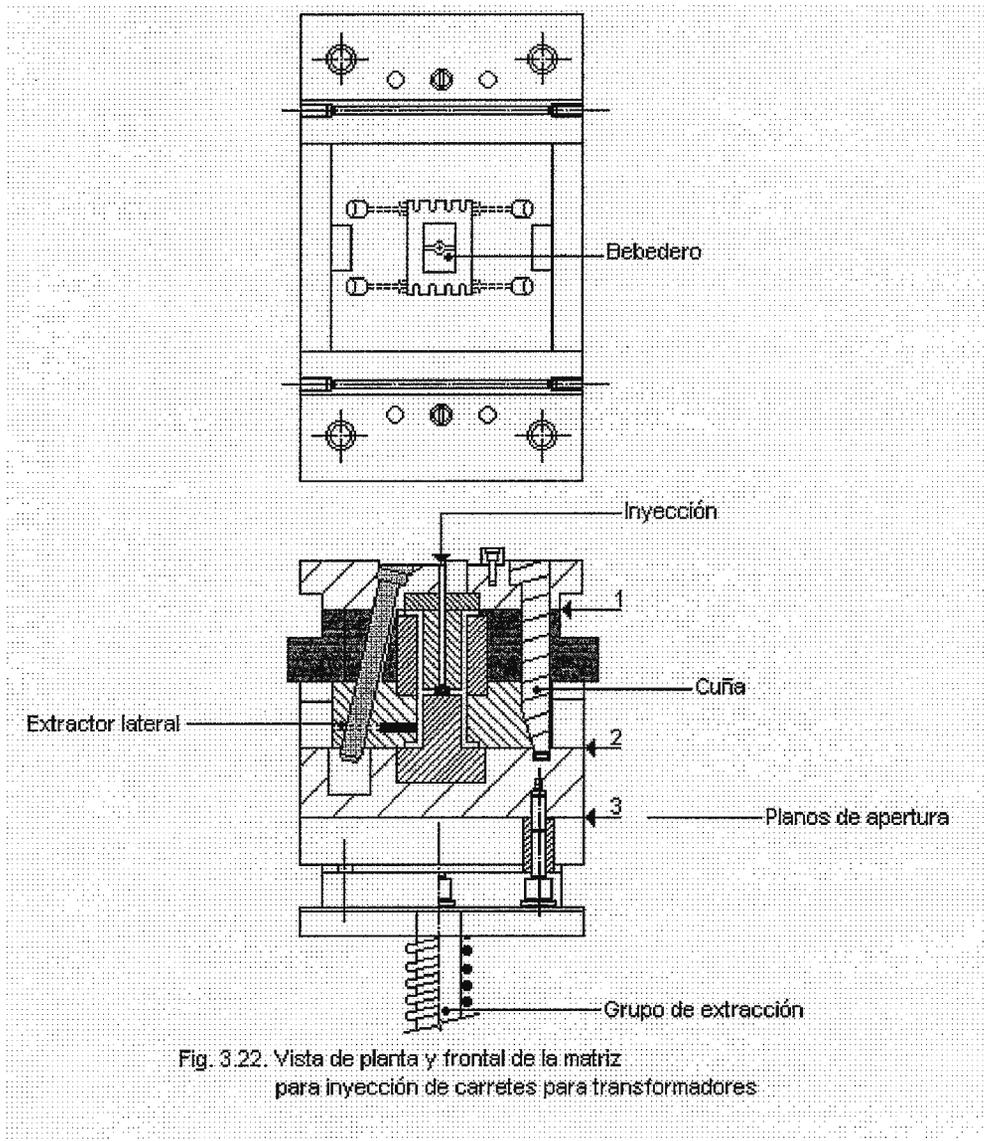


Fig. 3.22. Vista de planta y frontal de la matriz para inyección de carretes para transformadores

Los canales u orificios de venteo del molde de inyección de plásticos tienen un diámetro de 75mm.

Las funciones que desempeñan los elementos principales del molde de inyección se explican a continuación:

- Bebedero: Permite el flujo del material fundido al interior del molde.
- Canales de Distribución: Este sistema tiene la función de transportar el plástico fundido desde al boquilla de la máquina hasta la cavidad que le dará forma a la pieza en forma equilibrada.
- Los Orificios de Venteo: son vías de escape del aire contenido en las cavidades y gases generados por el calentamiento del material.
- Placa extractora: Se encarga de expulsar la pieza en forma vertical, pero para piezas como carretes para transformadores se necesita también un perno lateral expulsor.
- Perno expulsor lateral: Se encarga de expulsar de forma definitiva la pieza previamente inyectada. Realiza una expulsión de forma lateral.

La placa de corazón viene a ser como una matriz macho y tiene la función de complementarse con la placa de cavidad, la cual es como una matriz hembra, para conformar la pieza de plástico al momento de llevarse a cabo el proceso de inyección.

Los pernos guías tienen la función de alinear perfectamente las dos placas para que haya un ajuste ideal entre las mismas. De esta manera se obtendría la pieza deseada al finalizar todo el proceso de inyección.

Un molde de inyección como el mostrado en las figuras se fabrica materiales de acero aleados con carbono, y tiene un precio aproximado de unos \$80,000.00.

Los moldes se fabrican con acero y aleaciones, la aleación a utilizar dependerá del material plástico a fabricar.

Un molde como el mostrado en las figuras puede construirse con acero P-20, y el tiempo en que se tarda el matricero en su fabricación es de 120 días trabajando un promedio de 8 horas diarias. Como puede verse la fabricación de estos moldes no es sencilla, de ahí su precio tan caro en el mercado, contrario a un troquel sencillo que es mucho más barato (aproximadamente unos ϕ 40,000.00).

Para la fabricación de un molde de inyección deben utilizarse todas las herramientas mecánicas necesarias, entre ellas: Torno, fresa, esmeril, pie de rey, calibradores, muelas, etc., en fin todas las herramientas necesarias según el diseño requerido.

3.5.1. Alternativas de Carretes Termoplásticos para Algunos Valores de Potencias Estándares.

Las alternativas para la fabricación de algunos carretes termoplásticos, según la potencia aparente del transformador (en VA), pueden estandarizarse en una tabla que contenga algunos valores de potencias para transformadores con las dimensiones principales de los carretes. Estas dimensiones van en aumento según sea el valor de la potencia aparente del transformador analizado.

Independientemente del tamaño del transformador, siempre y cuando este sea un transformador seco de baja tensión, el material con que se fabrica el carrete debe ser material termoplástico para ingeniería, de los llamados polímeros termoplásticos. De este material ya se habló con anterioridad.

El proceso de inyección para la fabricación del carrete de plástico se hace utilizando los moldes respectivos, los cuales variarán según la potencia del transformador, la misma que determinará el tamaño del carrete. Generalmente mientras mayor sea la potencia de un transformador, las dimensiones del mismo tienden a aumentar. La tabla 3.11. muestra las dimensiones de los carretes termoplásticos para diversos niveles de potencia.

Las dimensiones mostradas en la tabla aplican principalmente para transformadores con las siguientes características técnicas:

Tensión en el primario: 110 - 220V

Tensiones en el secundario: 12 – 24V

24 – 48V

115 – 220 V

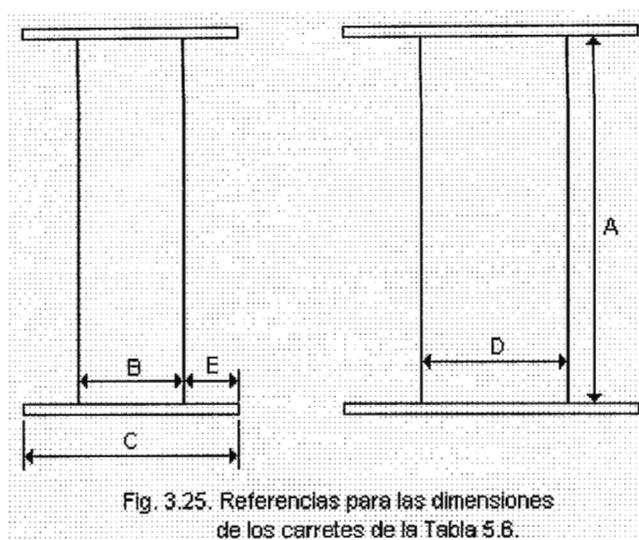
Frecuencia: 50/60 Hz

Alta Rigidez Dieléctrica: Arriba de 2KV

POTENCIA	DIMENSIONES (En mm)				
	A	B	C	D	E
VA					
40	63	36	58	54	12
63	70	40	66	60	14
100	70	40	66	60	14
200	90	52	84	78	18
250	90	52	84	78	18
320	95	56	88	82	18
400	105	60	98	90	21
500	105	60	98	90	21
800	126	72	118	108	24
1KVA	130	76	122	112	25
1.3KVA	136	78	127	117	26
2.0KVA	140	82	131	121	30
3.0 KVA	168	96	156	144	32
0.4 KVA	170	100	160	148	36
8.0 KVA	210	120	195	180	40
10.0 KVA	214	124	199	184	44
16.0 KVA	252	120	234	216	48
20.0 KVA	256	124	238	220	52
30.0 KVA	294	168	273	252	56

TABLA 3.11. Dimensiones de los carretes termoplásticos [7].

La figura 3.25. sirve de referencia para comprender las dimensiones de los carretes mostrados en la tabla 3.11.



El proceso fabricación de los carretes termoplásticos, como se vio anteriormente, se lleva a cabo con una máquina de inyección a la cual se le adapta un molde diseñado para fabricar carretes para ciertas dimensiones, dimensiones que dependerán de la potencia deseada en el transformador.

El diseño del molde será similar para una amplia gama de medidas así como el material usado en la fabricación del mismo, por lo tanto, se puede aplicar el método de diseño analizado para la fabricación de moldes en cualquiera de las medidas que se muestran en la tabla 3.11., aunque esto implicará una marcada diferencia en los precios, según sea la potencia de los transformadores.

Los carretes para bobinas estudiados en esta investigación son carretes de forma cuadrada o rectangulares. Hay otro tipo de carretes que tienden a tener una forma circular ya que el núcleo de los transformadores adopta esta forma debido al corte realizado en las láminas, lo cual hace que vaya teniendo esta forma nada convencional; en este caso los carretes deberían de tener esta forma, lo mismo que el diseño del molde. Un carrete de este tipo no corresponde a esta investigación aunque vale la pena hacer mención de este detalle, y el diseño y precio del molde de inyección tendrá marcadas diferencias con respecto a los estudiados anteriormente.

3.6. Control de Calidad.

3.6.1. Control de calidad durante el proceso.

Durante el proceso de fabricación de transformadores será necesario evaluar aquellos puntos críticos en las distintas operaciones para determinar si alguna etapa del proceso se encuentra eficientemente bajo control. El grado de tolerancia que puede determinarse en cada punto de las distintas partes del proceso dependerá de los estándares fijados y las distintas medidas y dimensiones para el producto.

Así que será esencial establecer niveles de tolerancia y límites de control para cada punto crítico del proceso a fin de obtener un producto final con unos límites establecidos para cada uno de los atributos de calidad.

Debido a que la producción de transformadores se hará bajo una línea de producción en serie, será conveniente un control de calidad en línea de las diferentes etapas del proceso. Para establecer el control de calidad en la producción de transformadores tenemos diferentes variables para distintos puntos del proceso, tales como: Dimensiones, tolerancias y compatibilidad de dimensiones entre las diversas partes del ensamble; calidad de corte, dimensiones del troquelado para las laminaciones; nivel de aislamiento para las bobinas; rigidez y nivel de aislamiento para los carretes, si estos son de plástico.

3.6.2. Control de calidad dimensional.

Establece el control de calidad de las medidas de las diferentes partes que conforman los transformadores.

Por ejemplo, las dimensiones de los carretes serán similares a las expresadas en la tabla 1.5., sin embargo estas dimensiones se dan a manera de guía ya que las verdaderas dimensiones deberán determinarse con base a los diseños normalizados de los transformadores y el tamaño de las laminaciones troqueladas disponibles para el proceso de fabricación.

Lo anterior significa que las dimensiones del carrete dependerán no solo de las dimensiones especificadas para la laminación, sino también involucra tomar en cuenta la cantidad de láminas a apilar para ajustar parámetros tales como: Densidad de flujo máximo en el núcleo y potencia nominal de los transformadores de acuerdo a la respectiva memoria de cálculo de diseño.

Por lo tanto la dimensión B de la figura 1.5. debe ser compatible, por ejemplo, con la dimensión C de la figura 1.1. considerando el espesor del material del carrete para cumplir con el BIL de diseño y para garantizar las tolerancias de dimensiones que permitan un ensamble libre de interferencias o traslapes dimensionales.

Como otro ejemplo ilustrativo de esta problemática, la dimensión A de la figura 1.5. debe ser compatible con la dimensión E de la figura 1.1., sin olvidar tomar en cuenta 2 veces el espesor de la pestaña para que el carrete pueda ensamblarse en las laminaciones. Por otro lado, la dimensión D de la figura 1.5. será compatible con la cantidad de láminas apiladas más el espesor del tubo del carrete.

El nivel de tolerancia de los cortes de las láminas deberá considerarse como el promedio del nivel de holgura o espacio libre entre el punzón de la matriz macho y el hueco de la matriz hembra.

El nivel de tolerancia, entonces, será igual a 0.05mm.

Nivel de tolerancia de los cortes = $\pm 0.05\text{mm}$.

Para el control de calidad dimensional del carrete y de las dimensiones así como otros componentes del ensamble deben considerarse las holguras necesarias al especificar las tolerancias de medidas de cada pieza para evitar traslapes de tolerancias.

Los niveles de tolerancia sugeridos se muestran en la tabla 3.12.a:

Dimensión B de la figura 1.5. con respecto A la dimensión C de la figura 1.1. = $\pm 1.0\text{mm}$
Dimensión C de la figura 1.5. con respecto A la dimensión 2D+C de la figura 1.1. = $\pm 1.0\text{mm}$
Dimensión E con respecto a D = $\pm 0.5\text{mm}$
Dimensión A+2 con respecto a D = $\pm 0.5\text{mm}$
Dimensión D de la figura 1.5. con respecto A la pila de láminas = $\pm 1.0\text{mm}$

Tabla 3.12.a. Dimensiones de tolerancia sugeridos para el ensamble de los carretes y otros componentes [7]

3.6.3. Control de calidad del proceso de las laminaciones.

a. Ausencia de distorsiones por troquelado.

El proceso de control de calidad sugerido para esta etapa del proceso es el siguiente:

- i. Observar, por inspección visual, si alguna de las láminas muestran protuberancias o deformaciones.
- ii. Si la lámina ya no es recuperable, enviarla al depósito de material para reciclaje.
- iii. Si la lámina es recuperable, enviarla hacia una prensa hidráulica para eliminarle las protuberancias.
- iv. Revisar nuevamente las condiciones de la lámina. Si después de este proceso, la lámina aún así no es recuperable, enviarla al depósito de material reciclable.

- v. Si las condiciones de la lámina son óptimas después del proceso de prensado, enviarla nuevamente a la pila de láminas para su ensamblaje.

b. Tratamiento térmico **[10]**, **[11]**.

Este se tiene que realizar utilizando un horno de atmósfera controlada y tiene como objetivo fundamental mejorar las propiedades internas del material sometido al tratamiento térmico. Con el tratamiento se tratará de eliminar los esfuerzos residuales del troquelado de las láminas que conforman el núcleo de los transformadores.

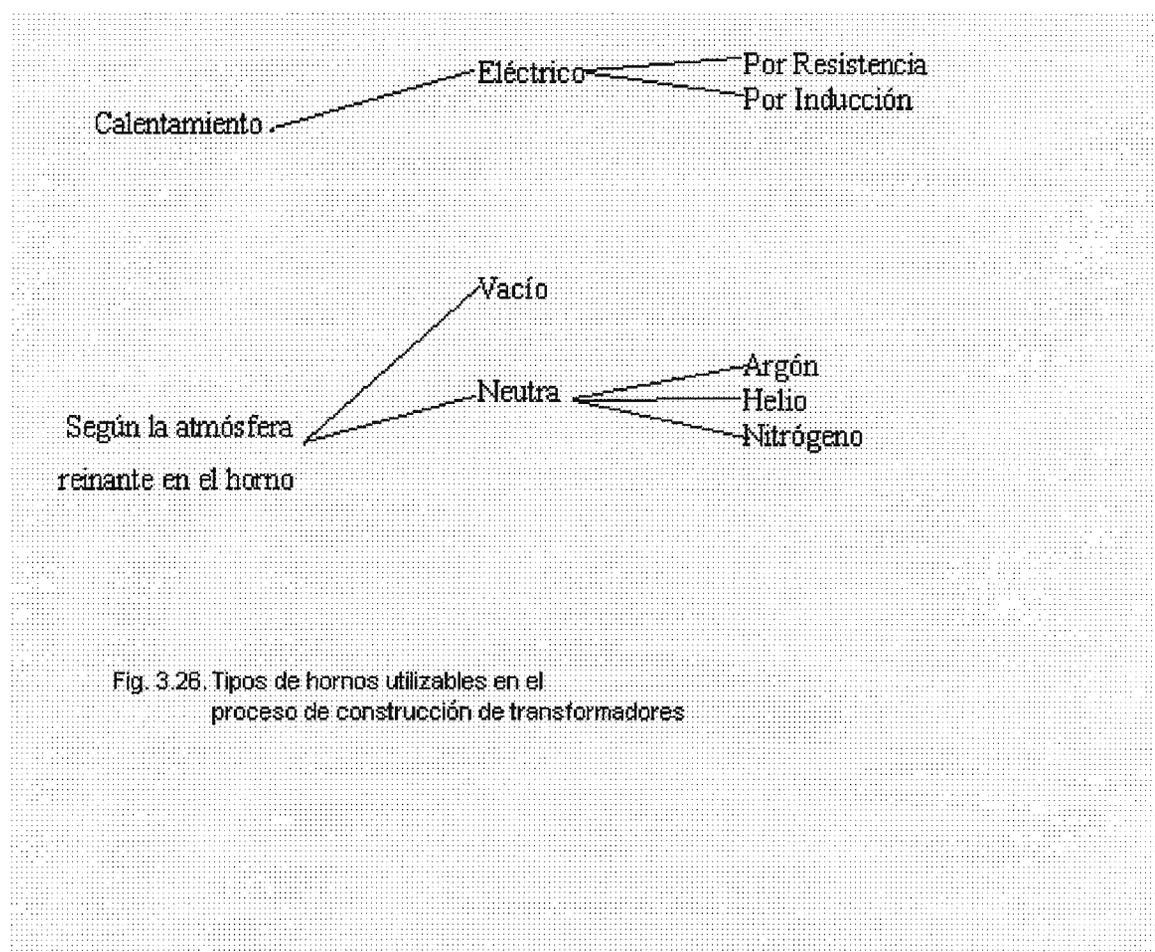
La naturaleza, la forma, el porcentaje y la distribución de los constituyentes de los metales y las aleaciones conforman la micro estructura, consecuencia de las reacciones en estado sólido generadas entre las fases existentes a lo largo de los tratamientos térmicos, siendo ésta responsable de las propiedades físicas, químicas y mecánicas del metal.

Los fundamentos de los tratamientos térmicos radican en las condiciones de equilibrio estable y metaestable, condiciones ubicadas en la micro estructura y en los diagramas de equilibrio termodinámicos de los metales y las aleaciones.

Los fundamentos de los tratamientos térmicos del acero se basan en el diagrama hierro-carbono, la importancia de este diagrama radica en el tonelaje de acero producido (mundialmente se fabrican unos 500 millones de TM y sólo en España se fabrican casi un millón de TM al mes) y al profundo conocimiento que actualmente se tiene de este diagrama, lo cual es fruto del largo período de tiempo en que la humanidad viene empleando esta aleación.

El horno es el elemento principal de los tratamientos térmicos. Es un instrumento constituido por una caja susceptible al calentamiento y que permite el control y la regulación del tiempo, de la temperatura de la atmósfera y de las velocidades de calentamiento y de enfriamiento.

Los hornos se pueden dividir en varios tipos según el criterio de clasificación que se adopte se pueden clasificar a partir del procedimiento de calentamiento por la atmósfera o por la solera del horno. Un diagrama esquemático de los hornos que pueden servir en el proceso de transformadores se observa en la figura 3.26.



Como se mencionó anteriormente el propósito del tratamiento térmico es el de controlar las propiedades de un metal o aleación calentándolo a temperaturas definidas y enfriándolo a diversas velocidades.

El tratamiento térmico deberá mejorar la aleación o al metal para el servicio intentado. Algunos de los principales objetivos del tratamiento térmico son:

1. Eliminar tensiones después del trabajo en frío.
2. Eliminar tensiones internas tales como las producidas por el embutido, doblado o soldadura.
3. Incrementar la dureza del material.
4. Mejorar las propiedades cortantes de las herramientas.
5. Aumentar las propiedades de resistencia al desgaste.

Se puede obtener un parámetro del tiempo sugerido para realizar el tratamiento térmico a una lámina de un espesor determinado, utilizando la fórmula siguiente:

$$\text{Tiempo} = [(\text{Espesor de la lámina}[\text{mm}] \times 60\text{min}) \times 10] / 12.5\text{mm}$$

fórmula que proviene de analizar la prueba cuando se hace para materiales con espesores en unidades de pulgadas.

Espesor de la lámina (mm)	Tiempo sugerido para el tratamiento térmico (min)	Temperatura (°C)	Temperatura de Recocido (°C) x hora
0.3	2	1100	750
0.5	3	1100	750
0.8	4	1150	800
1	5	1150	800

Tabla 3.12.b. Intervalos de tiempo sugeridos para el tratamiento térmico [7], [10].

Las temperaturas que se muestran en la tabla anterior ayudan al proceso de recristalización y engrandecimiento del grano, por lo tanto, se aumenta la proporción del silicio en el material con lo cual aumenta la permeabilidad magnética, disminuye levemente la fuerza coercitiva y las pérdidas por histéresis como resultado del aumento del grano y una mejor desoxidación del acero magnético.

Luego se recomienda un tratamiento de recocido para mejorar aún más las propiedades magnéticas, este proceso se realizará a una temperatura entre 750 y 800 °C durante aproximadamente una hora.

También es muy importante mencionar el proceso térmico llevado a cabo en un horno de recocido.

La puesta en servicio o proceso de funcionamiento de un horno de recocido se resume así:

- Abrir la puerta del horno.
- Quitar el material de embalaje (cubo de caucho esponjoso).
- Cargar el horno, asegurando no dañar los termoelementos.
- Cerrar la puerta del horno.
- Encender el horno. En este momento deberá encender un indicador de que el horno ya está en funcionamiento.
- Ajustar regulador de temperatura.
- Ajustar lámpara piloto del selector limitador; pulsar tecla de retroceso.

Resumen del funcionamiento: El calor se transfiere a los materiales de carga por radiación térmica. Debe evitarse que ciertos lados de los productos, así como los calefactores estén expuestos a temperaturas excesivas. Distribúyase la carga en la cámara útil de forma uniforme y evítese el contacto directo con los calefactores.

El recocido completo hace al acero suave y dúctil, reduce su resistencia y desaparecen todos los esfuerzos internos. El proceso consiste en calentar el material hasta una temperatura por encima de la temperatura crítica, pero no tan alta como la temperatura de normalizado y después de permitir que se enfríe lentamente en el horno, considerando que el horno deberá ser un horno herméticamente sellado para mejores resultados.

En las láminas para transformadores es necesario tratar de eliminar las tensiones del material y mejorar las propiedades magnéticas del mismo, parte del proceso en el cual es necesario el tratamiento térmico, para lo cual se sugiere tener en cuenta los intervalos de tiempo que se muestran en la tabla 3.12.b.

En los anexos al final del documento se observan las principales propiedades físicas de barras de acero al carbón SAE.

c. Calidad de superficie.

El proceso de control de calidad sugerido para esta etapa del proceso es el siguiente:

- i. Observar, por comparación con una lámina de referencia y por inspección visual, si las láminas muestran protuberancias, deformaciones o ralladuras.
- ii. Determinar si la superficie está libre de óxido o de cualquier contaminante que la pueda dañar o que impida el ajuste perfecto para el apilamiento de las laminaciones.

d. Materiales magnéticos comerciales **[21]**.

Se dividen generalmente en dos grupos principales: Materiales magnéticamente suaves y materiales magnéticamente duros.

Los materiales magnéticamente suaves se distinguen por su alta permeabilidad magnética y se usan como materiales para núcleos en circuitos magnéticos de equipos electromagnéticos.

Los materiales duros se caracterizan por un alto producto máximo de energía, o sea un BH máximo. Estos materiales son apropiados para usarlos como imanes permanentes para proporcionar un campo magnético constante cuando es inconveniente producir un campo magnético por medios electromagnéticos.

Materiales magnéticos suaves: Se ha desarrollado una amplia variedad de materiales magnéticos suaves para satisfacer la diversidad de requisitos de los núcleos magnéticos de diversos aparatos eléctricos modernos y dispositivos electrónicos. Los diversos materiales se consideran bajo tres clasificaciones:

- i. Materiales para núcleos sólidos.
- ii. Materiales para núcleos laminados.
- iii. Materiales para propósitos especiales.

Los materiales para núcleos sólidos se utilizan en aplicaciones de Vdc como por ejemplo en las culatas de dínamos de Vdc, rotores de dínamos síncronos y núcleos de electroimanes y relevadores de Vdc. El tratamiento térmico, como el explicado anteriormente, mejora las características magnéticas de estos materiales.

Algunos materiales para núcleos sólidos son el hierro forjado, el cual es un material ferroso agregado de una masa solidificante de partículas pastosas de hierro metálico altamente refinado a la que se incorpora una pequeña cantidad de escoria.

También se pueden mencionar los hierros fundidos, los cuales son hierros que contienen carbono en exceso de la cantidad que puede ser retenida en solución sólida en austenita a la temperatura eutéctica. El contenido mínimo de carbono es de aproximadamente el 2%, mientras que el contenido máximo práctico de carbono es de aproximadamente el 4.5%. El hierro fundido se usó en las culatas de dínamos de Vdc en los primeros días de tales dispositivos.

El hierro fundido gris es un hierro que contiene grafito en forma de escamas, tiene propiedades magnéticas muy pobres, inferiores propiedades mecánicas y prácticamente ninguna ductilidad, aunque se maquina con facilidad.

El hierro fundido maleable es un hierro fundido que contiene grafito en forma de nódulos. Es mejor, magnéticamente, que el hierro fundido gris.

El hierro fundido dúctil (nodular) es un hierro fundido con el grafito presente en forma esferoidal. Es mejor, magnéticamente, que el hierro fundido gris. El hierro fundido dúctil tiene la buena propiedad del hierro fundido gris de ser fácilmente vaciado y maquinado, junto con una mayor resistencia, ductilidad y resistencia al impacto.

Los aceros al carbono también forman parte de los materiales para núcleos sólidos. Estos materiales pueden contener desde menos de 0.1% hasta más de 1% de carbono. Las propiedades magnéticas de un acero al carbono son influidas fuertemente por el contenido de carbono y por la disposición de éste. Los aceros al bajo carbono (menos de 0.2% de carbono) tienen propiedades magnéticas similares a las del hierro forjado y muy superiores a las de cualquier hierro fundido.

Los aceros al carbono forjados se usan ampliamente como materiales para núcleos sólidos, y en la mayoría de las aplicaciones se prefieren los tipos al bajo carbono.

Los aceros al carbono fundidos reemplazaron hace muchos años al hierro fundido en el material usado para las culatas de máquinas de Vdc pero han sido suplantados en gran medida en esta aplicación por placas de acero al carbono forjado de calidad soldable.

Los materiales para núcleos laminados más ampliamente usados en núcleos devanados o apilados de dispositivos electromagnéticos que operan a frecuencias comerciales (50 ó 60 Hz) son los aceros eléctricos al carbono especialmente procesados, designados como aceros de laminación magnética. Los principales requisitos magnéticos de estos materiales son baja pérdida en el núcleo, alta permeabilidad y alta saturación. La ASTM publica especificaciones estándar para estos materiales. La producción, en peso, de estos materiales excede ampliamente la de cualquier material magnético.

Los aceros eléctricos, el cual es un tipo de material para núcleos laminados, son aleaciones de hierro al silicio, de bajo carbono, de laminado plano. Como las aplicaciones de los aceros eléctricos tiene lugar principalmente en equipo con pérdidas limitadas de energía, las pérdidas en el núcleo de aceros eléctricos, son normalmente garantizadas por los fabricantes. La categoría general de los aceros eléctricos se puede dividir en clasificaciones de materiales no orientados y materiales con grano orientado, y éstos se gradúan de acuerdo con la pérdida en el núcleo de alta inducción.

Los aceros eléctricos no orientados tiene aproximadamente las mismas propiedades magnéticas en todas las propiedades del plano del material. La aplicación más común de éstos materiales es en laminaciones perforadas para grandes y pequeñas máquinas rotatorias y para transformadores pequeños. Actualmente los materiales no orientados se laminan siempre en frío hasta su espesor final. La laminación en caliente para éste tipo de laminación ya no se practica. Los materiales no orientados están disponibles en las condiciones de completamente procesado y semiprocado.

Los materiales no orientados completamente procesados tiene sus propiedades magnéticas completamente desarrolladas por el fabricante. Los esfuerzos introducidos en estos materiales durante la fabricación de núcleos magnéticos deben ser relevados por medio de un recocido para lograr propiedades magnéticas óptimas en los núcleos. En la tabla 3.12.c. se dan la designaciones del grado y los límites máximos de pérdidas en el núcleo para algunos de éstos materiales.

Tipo ASTM	Antiguo tipo AISI	Espesor nominal		Pérdida máxima en el núcleo a 15 kG	
		in	mm	W/lb, 60 Hz	W/kg, 60 Hz
36F145	M-15	0.014	0.36	1.45	2.53
47F168	M-15	0.0185	0.47	1.68	2.93
36F158	M-19	0.014	0.36	1.58	2.75
47F174	M-19	0.0185	0.47	1.74	3.03
36F190	M-36	0.014	0.36	1.9	3.31
47F205	M-36	0.0185	0.47	2.05	3.57
64F470	M-47	0.025	0.64	4.7	8.19
47F450	x	0.0185	0.47	4.5	7.84
64F550	x	0.025	0.64	5.5	9.58
47F490	x	0.0185	0.47	4.9	8.53

Tabla 3.12.c. Designaciones del grado y límites máximos de pérdidas en el núcleo para aceros eléctricos no orientados completamente procesados [21]

Los materiales no orientados semiprocados no tienen sus propiedades magnéticas inherentes completamente desarrolladas por el fabricante y deben ser adecuadamente recocidos para lograr la decarburización y el crecimiento del grano. Estos materiales se usan principalmente en la producción masiva de pequeñas laminaciones y núcleos que requerirían recocido para la relevación de esfuerzos si se hicieran con material completamente procesado. Esto materiales tienen aproximadamente el 3% de silicio y una pequeña cantidad de

aluminio (0.5%). Los espesores comunes de éstos materiales y los límites de pérdidas en el núcleo se muestran en la tabla 3.12.d.

Tipo ASTM	Antiguo tipo AISI	Espesor nominal		Pérdida máxima en el núcleo a 15 kG	
		in	mm	W/lb, 60 Hz	W/kg, 60 Hz
47S178	M-27	0.0185	0.47	1.78	3.1
64S194	M.27	0.025	0.64	1.94	3.38
47S188	M-36	0.0185	0.47	1.88	3.27
64S230	M-43	0.025	0.64	2.3	4.01
47S230	M-45	0.0185	0.47	2.3	4.01
64S260	M-45	0.025	0.64	2.6	4.53
47S250	x	0.0185	0.47	2.5	4.35
64S280	x	0.025	0.64	2.8	4.88
47S300	x	0.0185	0.47	3	5.22
64S350	x	0.025	0.64	3.5	6.1

Tabla 3.12.d. Designaciones del grado y límites máximos de pérdidas en el núcleo para aceros eléctricos no orientados semiprocesados [21]

Los aceros eléctricos de grano orientado tienen una marcada direccionalidad en sus propiedades magnéticas debido a su estructura cristalina “cubo sobre borde” lograda por una composición y procesamiento adecuados. Los materiales con grano orientado se usan en núcleos magnéticos en los que la trayectoria de flujo se encuentra entera o predominantemente en la dirección del laminado del material. Su aplicación más común es en núcleos de transformadores de potencia y distribución para servicios eléctricos.

Los materiales con grano orientado se producen en una condición completamente procesada, ya sea no aplanados o aplanados térmicamente; el material no aplanado tiene una apreciable curvatura y se usa en la fabricación de núcleos formados o devanados en espiral. El material aplanado térmicamente se emplea en la fabricación de laminaciones estampadas o recortadas.

Actualmente se producen comercialmente dos tipos de aceros eléctricos con grano orientado. El tipo regular, que se introdujo hace muchos años, contiene aproximadamente 3.15% de Si y tiene granos de cerca de 3 mm de diámetro. El tipo de alta permeabilidad, que fue introducido más recientemente, contiene aproximadamente 2.9% de Si y tiene granos de cerca de 8 mm de diámetro. En comparación con el tipo regular, el tipo de alta permeabilidad tiene mejor pérdida en el núcleo y permeabilidad bajo grandes inducciones. Las designaciones del grado y los límites máximos de pérdidas en el núcleo de los aceros eléctricos con grano orientados se muestran en la tabla 3.12.e. En la tabla 3.12.f. se muestran algunas propiedades generales de éste tipo de material.

Tipo ASTM	Antiguo tipo AISI	Espesor nominal		Pérdida máxima en el núcleo a 15 kG	
		in	mm	W/lb, 60 Hz	W/kg, 60 Hz
23G048	x	0.087	0.22	0.48	0.8
27G053	M-4	0.106	0.27	0.53	0.89
30G058	M-5	0.118	0.3	0.66	1.11
35H094	M-6	0.138	0.35	0.94	1.57
27P066	x	0.106	0.27	0.66	1.11
30P070	x	0.118	0.3	0.7	1.17
35P076	x	0.138	0.35	0.76	1.27

Tabla 3.12.e. Designaciones del grado y límites máximos de pérdidas en el núcleo para aceros eléctricos con grano orientado procesado [21]

Tipo ASTM	Contenido de aleación (Si+Al), %	Densidad supuesta g/centímetro cúbico	Densidad volumétrica ohmios.cm x 10E6	Inducción de saturación kG
36F145 y 47F168	3.5	7.65	52	19.8
36R158 al 64F208	3.3	7.65	50	19.9
36F168 al 64F218	3.2	7.65	48	20
36F180 al 64F225	2.8	7.7	45	20.2
36F190 al 64F240	2.65	7.7	44	20.2
23G048 al 35G066	3.15	7.65	48	20
27H076 al 35H094	3.15	7.65	48	20
27P066 al 35P076	2.9	7.65	45	20.1

Tabla 3.12.f. Propiedades generales de aceros eléctricos completamente procesados [21]

Un resumen acerca de las características y algunas aplicaciones típicas de los materiales analizados anteriormente se muestra en la tabla 3.12.g.

Tipos Orientados		
Tipo ASTM	Algunas características	Aplicaciones típicas
23G048 al 35G066 o 27H076 al 35H094 o 27P066 al 35P076	Propiedades magnéticas altamente direccionales debido a la orientación del grano. Pérdidas en el núcleo muy pequeñas y alta permeabilidad en la dirección del laminado.	Transformadores de distribución y de potencia de máxima eficiencia con bajo peso por kVA. Grandes generadores y transformadores de potencia.
Tipos no Orientados		
Tipo ASTM	Algunas características	Aplicaciones típicas
36F145 al 47F168	Pérdidas mínimas en el núcleo, grados convencionales. Permeabilidad excelente a bajas inducciones.	Transformadores pequeños y máquinas rotatorias de alta eficiencia.
36F158 al 64F225 o 47S178 al 64S194	Pérdida baja en el núcleo, buena permeabilidad e inducciones bajas e intermedias.	Núcleos de alta reactancia, generadores, estatores de equipo rotatorio de alta eficiencia.
36F190 al 64F270 o 47S188 al 64S260	Buenas pérdidas en el núcleo, buena permeabilidad bajo toda inducción y baja corriente de excitación. Buenas propiedades de estampado.	Generadores pequeños, máquinas rotatorias de Vac y Vdc de servicio continuo y alta eficiencia.
47F290 al 64F600 o 47S250 al 64S350	Dúctil, buenas propiedades de estampado, buena permeabilidad e inducciones altas.	Motores pequeños, reguladores y relevadores.

Tabla 3.12.g. Algunas características y aplicaciones típicas de tipos específicos de aceros eléctricos [21]

Los materiales magnéticos para propósitos especiales se han desarrollado para ciertas aplicaciones de materiales suaves o no retentivos, aleaciones especiales y otros materiales que después de su fabricación y tratamiento térmico adecuados, tiene propiedades superiores en cierto intervalo de magnetización. Algunos de éstos materiales son los siguientes: Aleaciones de hierro y níquel, permalloy, aleaciones de permeabilidad constante, aleaciones de hierro y cobalto, metal monel y aleaciones de hierro y silicio con aluminio, entre otras.

3.6.4. Control de calidad de transformadores terminados.

Una vez construidos los transformadores, se puede proceder a hacer diversas pruebas de calidad, esto con el objetivo de poder determinar ciertos parámetros que son importantes los cuales ayudan a comprobar o corroborar las características técnicas de diseño bajo los cuales se han construido los transformadores bajo prueba. Estos parámetros son fáciles de determinar y no se necesita de equipo sofisticado para su realización. Simplemente se necesita de medidores de corriente, voltaje y vatímetros y las respectivas fuentes de alimentación.

Las principales pruebas de control de calidad que deben hacerse para comprobar las características técnicas de los transformadores son: Pruebas de vacío y de cortocircuito, relación de transformación, prueba de polaridad y prueba de aislamiento. A continuación se describe el método sugerido para realizar cada una de estas pruebas.

- a. Pruebas de vacío y de cortocircuito [7], [12].
 - i. Primero deberá conectarse el devanado primario del transformador a una fuente de voltaje V_{ac} , alimentándolo con un voltaje que no sobrepase el voltaje nominal del primario del transformador. Deberán colocarse los respectivos medidores de corriente, voltaje y potencia, siempre en el devanado primario. La conexión deberá hacerse según se muestra en la figura 3.27.a.

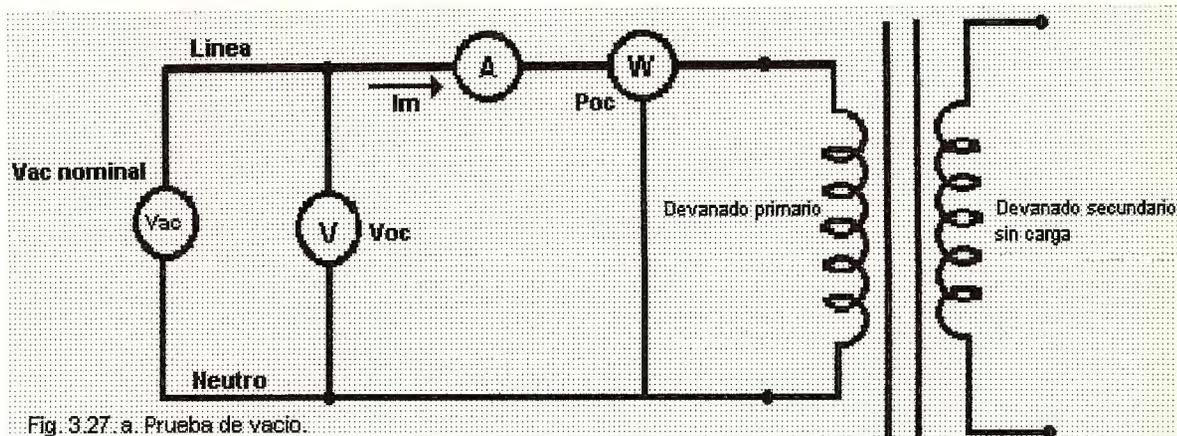


Fig. 3.27. a. Prueba de vacío.

- ii. Como puede observarse en la figura 3.27.a., en el devanado secundario no se conecta ninguna carga.
- iii. Luego de energizar el transformador, se mide el voltaje de circuito abierto, V_{oc} .

$$V_{oc} = \text{_____ voltios}$$

- iv. Se mide la corriente de magnetización, I_m , en el devanado primario.

$$I_m = \text{_____ A}$$

- v. Se mide la potencia de circuito abierto, P_{oc} , consumida en vacío.

$$P_{oc} = \text{_____ W}$$

- vi. Para la prueba de cortocircuito bastará con bajar el voltaje de la fuente V_{ac} a un nivel de 0 voltios, y además, se coloca una porción de alambre o cable conductor en el lado secundario del transformador a modo de cortocircuitar el devanado secundario.
- vii. Se energiza lentamente el transformador, a partir de 0 voltios, hasta obtener el valor de la corriente nominal del devanado primario del transformador.

- viii. Se mide el nivel de voltaje aplicado en el devanado primario bajo la condición de cortocircuito.

$$V_{sc} = \text{_____} \text{ voltios}$$

- ix. Se mide la corriente de cortocircuito.

$$I_{sc} = \text{_____} \text{ A}$$

- x. Se mide la potencia para la condición de cortocircuito.

$$P_{sc} = \text{_____} \text{ W}$$

Con los datos obtenidos al realizar las dos pruebas de la forma en que se describió anteriormente, se pueden encontrar los parámetros del transformador de manera similar al ejemplo que se muestra a continuación.

Ejemplo [7].

Se determinará el circuito equivalente de un transformador de 20kVA, 8000/240V, 60Hz. Las pruebas de vacío y de cortocircuito fueron realizadas en el lado primario del transformador, y los datos medidos se muestran en la tabla 3.13.:

Prueba de vacío	Prueba de cortocircuito
$V_{oc} = 8000V$	$V_{sc} = 489V$
$I_{oc} = 0.214A$	$I_{sc} = 2.5A$
$P_{oc} = 400W$	$P_{sc} = 240W$

Tabla 3.13.

El factor de potencia durante la prueba de vacío es

$$\begin{aligned} FP &= \cos\theta = P_{oc}/(V_{oc}I_{oc}) \\ &= \cos\theta = 400W/((8000V)*(0.214A)) \\ &= 0.234 \text{ en retraso} \end{aligned}$$

La admitancia de excitación está dada por

$$\begin{aligned}
 Y_e &= I_{oc}/V_{oc} \angle -\cos^{-1} FP \\
 &= 0.214/8000 \angle -76.5^\circ \text{ mhos} \\
 &= 0.0000063 - j0.0000261 = (1/R_c) - j(1/X_m)
 \end{aligned}$$

Por lo tanto

$$R_c = 1/0.0000063 = 159 \text{ k}\Omega$$

$$X_m = 1/0.0000261 = 38.4 \text{ k}\Omega$$

Los cuales son los valores de la resistencia de magnetización R_c y la reactancia de magnetización X_m .

El factor de potencia durante la prueba de cortocircuito es

$$\begin{aligned}
 FP &= \cos\theta = P_{sc}/(V_{sc}I_{sc}) \\
 &= \cos\theta = 240\text{W}/((489\text{V}) \cdot (2.5\text{A})) \\
 &= 0.196 \text{ en retraso}
 \end{aligned}$$

La impedancia serie está dada por

$$\begin{aligned}
 Z_{se} &= V_{sc}/I_{sc} \angle -\cos^{-1} 0.196 \\
 &= 489/2.5 \angle 78.7^\circ \\
 &= 195.6 \angle 78.7^\circ \Omega = 38.4 + j192 \Omega
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, la resistencia y la reactancia equivalentes son

$$R_{eq} = 38.4 \Omega$$

$$X_{eq} = 192 \Omega$$

El circuito equivalente obtenido de realizar las pruebas de vacío y de cortocircuito se muestra en la figura 3.27.b.

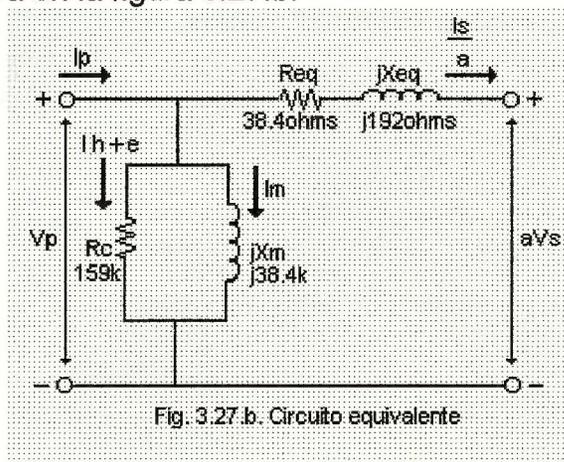
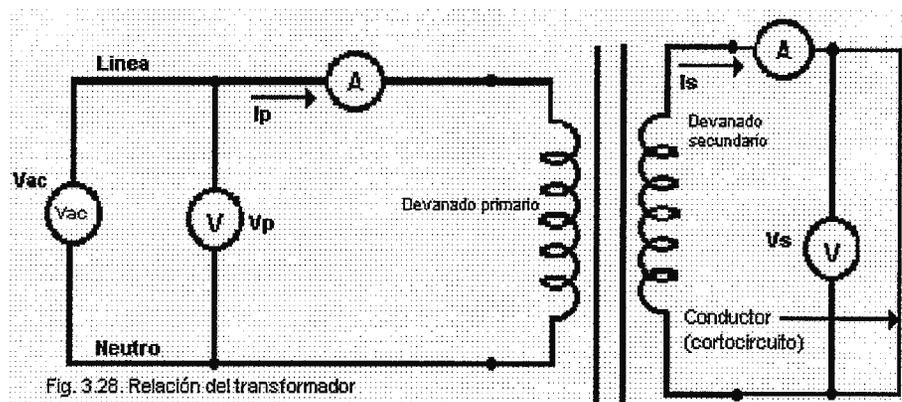


Fig. 3.27.b. Circuito equivalente

b. Relación del transformador [7], [12].

- i. Para realizar esta prueba, se hacen los ajustes necesarios, de manera similar a la prueba de cortocircuito, sólo que ahora se deben de conectar medidores de corriente y voltaje tanto en el devanado primario como en el devanado secundario. Véase la figura 3.28., la cual indica los cambios necesarios en las conexiones para la realización de esta prueba.



- ii. Se mide la corriente, para la condición de cortocircuito, en cada uno de los devanados.

$$I_p = \text{_____ A}; I_s = \text{_____ A}$$

- iii. Se abre el cortocircuito en el devanado secundario (se desconecta el conductor) y se mide el voltaje para la condición de vacío, sin modificar las condiciones de cortocircuito, en cada uno de los devanados.

$$V_p = \text{_____ V}; V_s = \text{_____ V}$$

- iv. Se encuentra la relación del transformador, para ello se divide el voltaje obtenido de medir en el devanado primario entre el voltaje medido en el devanado secundario; aunque también se pueden utilizar los valores obtenidos con las mediciones de corriente.

$$a = V_p/V_s$$

o si se quiere en términos de corriente:

$$a = I_s/I_p$$

- c. Prueba de polaridad [7], [12].

Los pasos a seguir para la realización de esta prueba se detallan a continuación:

- i. Se arma el circuito que se muestra en la figura 3.29., conectando un nivel de voltaje V_{ac} , según el voltaje nominal del transformador.

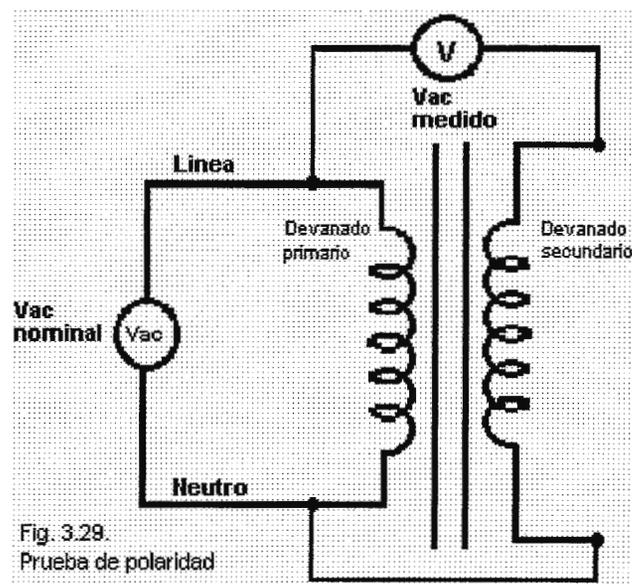


Fig. 3.29.
Prueba de polaridad

- ii. Se conectan entre si dos de las terminales de los devanados adyacentes, tal y como se muestra en la figura.
- iii. Se mide el voltaje V_{ac} en el devanado secundario.
- iv. La polaridad se determina así:
 - **Si $V_{ac_{medido}} < V_{ac_{nominal}}$; entonces el transformador tiene polaridad sustractiva.**
 - **Si $V_{ac_{medido}} > V_{ac_{nominal}}$; entonces el transformador tiene polaridad aditiva.**

A continuación se muestra un ejemplo para una mejor comprensión de la realización de la prueba de polaridad, a partir de datos obtenidos durante las mediciones.

Ejemplo.

Suponga que en un transformador se conecta un voltaje de prueba $V_{ac} = 220$ voltios, y además se cortocircuita el devanado de alta tensión con el de baja tensión, tal como se mostró en las figuras de prueba.

Si el transformador posee una relación de 10/1, entonces el voltaje en el secundario será de $24V_{ac}$.

Si el voltaje medido V_m es igual a $264V_{ac}$, entonces $V_m > V_{ac}$, por lo tanto el transformador posee polaridad aditiva.

Si el voltaje medido V_m es igual a $216V_{ac}$, entonces $V_m < V_{ac}$, por lo tanto el transformador posee polaridad sustractiva.

Como puede verse la realización de la prueba es sencilla, sólo se requiere de un voltímetro, fuente de voltaje AC, herramientas y cables de conexión. Además en esta prueba no se requiere la realización de cálculos tediosos que nos puedan llevar a resultados confusos o equivocados.

d. Prueba de aislamiento [7].

La prueba de aislamiento se hace utilizando un megger y consiste en medir la resistencia entre diversos puntos del transformador. Esta prueba, al momento de la medición, deberá presentar un nivel de resistencia infinito (o que tienda a infinito), lo cual determina que se tiene un excelente nivel de aislamiento.

Los pasos para realizar esta prueba se determinan a continuación:

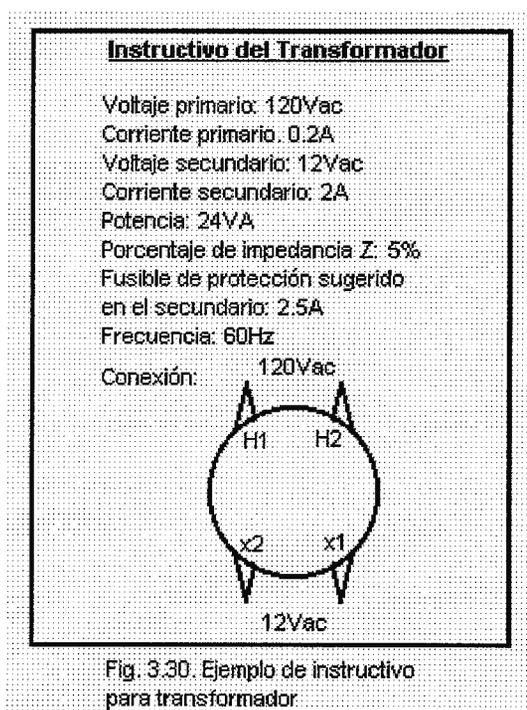
- i. Se mide el nivel de resistencia entre el devanado primario y el devanado secundario del transformador.
- ii. Se mide el nivel de resistencia entre el devanado primario y la masa del transformador.
- iii. Se mide el nivel de resistencia entre el devanado secundario y la masa del transformador.
- iv. La medición de la resistencia en cada una de las pruebas mencionadas anteriormente deberá ser igual a infinito (o que tienda a infinito).
- v. Si algún transformador posee un bajo nivel de resistencia en la realización de alguna de las pruebas mencionadas anteriormente, se procede a repetir el proceso de aislamiento del elemento hasta que obtenga las características de aislamiento deseadas.

3.6.5. Caja del transformador e instructivo [7].

Se deberá diseñar una caja y un instructivo que contenga las características técnicas de los transformadores para que éstos formen parte del paquete completo que se entregará al momento de la venta del elemento como producto final.

El instructivo de los transformadores consistirá en una hoja de papel que contenga las principales características técnicas del elemento.

En la figura 3.30. se observa un ejemplo de un instructivo que podría ser útil al momento del empaqueo de los transformadores, en el cual se muestran algunas de las características técnicas del elemento. El tamaño de la caja donde se empaque el producto final dependerá del tamaño del mismo, y deberá rellenarse de papel, espuma de poliuretano u otro material de tal manera que se protejan los elementos al momento de su traslado hacia su destino final.

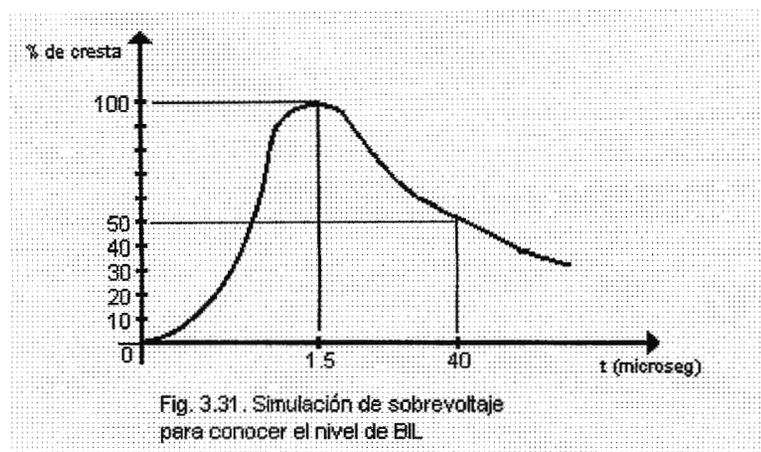


Los transformadores deberán ser colocados en su caja respectiva con un instructivo como el que se sugiere en la figura anterior.

3.7. Consideraciones de temperatura, impedancia, BIL y protección para los transformadores.

3.7.1. Nivel básico de aislamiento al impulso (BIL) [13].

A todos los dispositivos que se utilizan para aislar y proteger las líneas de distribución se les practican pruebas de laboratorio simulando el sobrevoltaje por medio de una onda de voltaje como la que se muestra en la figura 3.31.



Esta prueba muestra si el aislamiento es capaz de soportar ondas de voltaje de gran magnitud y corta duración. El valor máximo de la onda que se alcanza en $1.5\mu\text{seg}$ se llama Nivel Básico de Aislamiento al Impulso (BIL por sus iniciales en inglés), el cual es el máximo nivel de voltaje que pueden soportar los equipos y dispositivos sin que estos sufran daños. De manera similar a la forma en como se obtiene el BIL para los transformadores y demás elementos de distribución, así también puede obtenerse el BIL para transformadores de baja tensión, o sea que se les pueden practicar las respectivas pruebas de sobrevoltaje para poder obtener un nivel adecuado de aislamiento al impulso. Para cada nivel de voltaje de los sistemas de distribución se han establecido estándares de BIL, los cuales se muestran en la tabla 3.14.

Estándares de BIL, para diversos niveles de voltaje	
Nivel de voltaje (KV)	BIL (KV)
0.1	1
0.2	2
0.3	4
0.4	6
0.5	8
0.6	10
0.8	15
1.0	25
1.2	30
2.50	45
5.00	60
8.70	75
15.00	110
23.00	150
34.50	200

Tabla 3.14. Estándares de BIL, para diversos niveles de voltaje [7], [13]

Para elementos de baja tensión, como transformadores secos, pueden obtenerse niveles aceptables de BIL planteando el gráfico de BIL vrs. Nivel de Voltaje para los valores mostrados en la tabla anterior, el cual nos dará valores aceptables de BIL para elementos de baja tensión. A continuación se muestra la gráfica de BIL vrs. Nivel de Voltaje, en la cual puede observarse una tendencia lineal de la gráfica, siendo mayor la pendiente para niveles de baja tensión (aproximadamente hasta 1KV) con respecto a niveles de alta tensión. Una prueba sencilla del BIL para elementos de baja tensión, como transformadores secos, consiste en aplicar una descarga con una fuente de unos 10kV. La descarga sería sólo un pequeño pulso conmutado por un interruptor, siendo el valor de esta tensión la mostrada en la tabla 3.14. para los valores propuestos de baja tensión. El voltaje se aplicaría al primario del transformador y no deberá de ser aplicada más de 1 segundo. En la figura 3.31.b. se muestra la propuesta del circuito para hacer las pruebas del BIL para baja tensión [7].

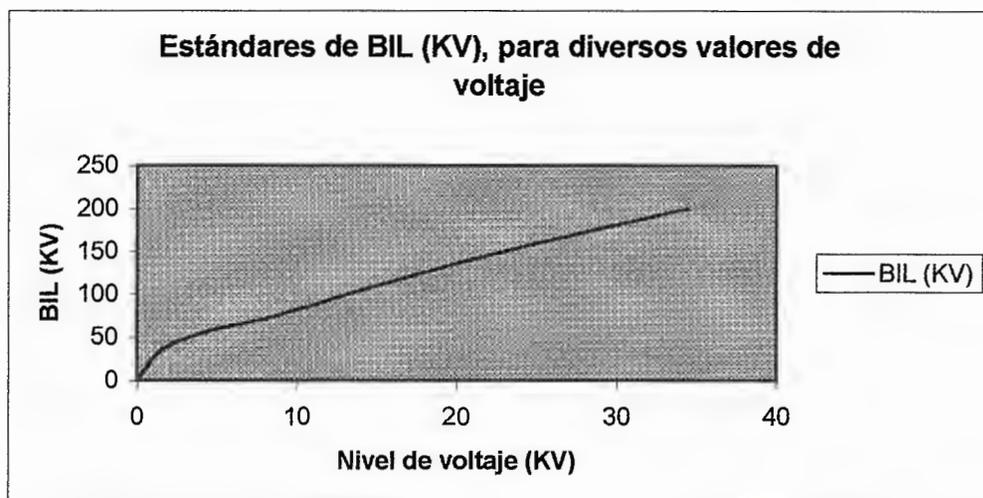
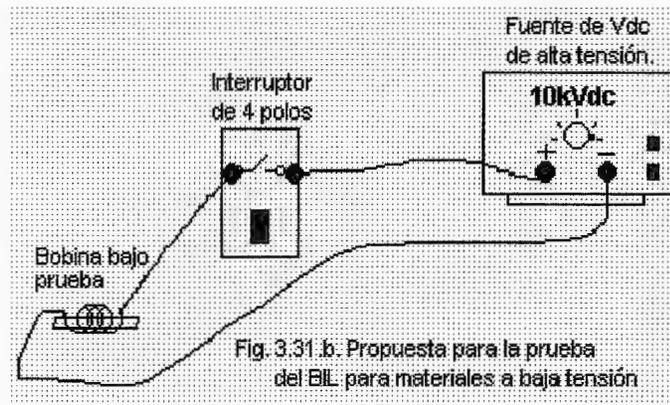


Fig. 3.32. Estándares de BIL para diversos valores de voltaje [7].

Los equipos y dispositivos a conectar en cualquier sistema deberán tener un BIL, proporcionado por el fabricante del dispositivo o equipo, superior al BIL del sistema en que está operando. Por ejemplo, para una línea de distribución de 23KV, según la tabla, se tiene un BIL de 150Kv, esto significa que todo dispositivo y equipo conectado a la línea para que opere con seguridad deberá tener un BIL como mínimo de 150KV.

3.7.2. Valores típicos de impedancia para los transformadores.

Medición de la impedancia.

Esta prueba consiste en hacer circular una corriente en uno de los devanados y poniendo en cortocircuito el otro. La posición del cambiador de derivaciones debe estar en la nominal pues generalmente es donde los fabricantes garantizan las pérdidas. Si el transformador tiene varias capacidades, la prueba se debe realizar en todas ellas.

La tensión necesaria para alimentar la corriente nominal de pruebas se le llama tensión de impedancia. La impedancia se calcula en por ciento para cotejarla con el valor garantizado. La prueba debe hacerse lo más rápido posible, para no sobre calentar los devanados. Una vez conformado el circuito de prueba se hace circular una corriente a través del devanado y se registran los valores de tensión y corriente.

Es necesario obtener el valor de la capacidad del transformador en kVA y de la tensión nominal del devanado a energizar (normalmente el de mayor tensión) para utilizarlos como potencia base y tensión base en los cálculos.

El valor de impedancia obtenido se refiere al devanado energizado, lo cual se entiende mejor analizando el siguiente ejemplo.

Ejemplo.

Se tiene un transformador monofásico cuya potencia es 1 kVA, 600/60 Volts, obtener la impedancia en p.u. De las mediciones se obtuvieron los siguientes valores:

Tensión medida= 50 Volts.

Corriente medida= 0.5 Amperes .

Se calcula la corriente base y la impedancia base:

$I_{base} = 1/0.6 = 1.67$ Amperes.

$Z_{base} = V_{base} / I_{base} = 600/1.67 = 359.3$ ohms

$Z_{real} = 50V/0.5A = 100$ ohms

Se calcula la impedancia en por unidad:

$Z_{p.u.} = Z_{real}/Z_{base} = 100/359.3 = 0.27pu$

Los valores típicos de impedancia para transformadores se muestran en la tabla. Estos valores están sujetos a un valor de tolerancia de $\pm 7.5\%$, como lo determina la norma en IEEE C57.12.00. Impedancias no estandarizadas pueden ser especificadas a un valor de impedancia más alto: Valores de impedancia más altos reducen los daños por las corrientes de falla y valores de impedancia más bajos reducen la caída de voltaje bajo condiciones de grandes corrientes. En la tabla 3.15. se muestra la impedancia para transformadores de baja tensión, específicamente para valores menores de 1000 voltios.

Valores Aproximados de Impedancia para Transformadores		
Rango de alto voltaje (voltios)	Impedancia de diseño (porcentaje)	
	Bajo voltaje: 480 voltios	Alto voltaje: 2400 voltios o más
Transformadores de Potencia		
2400 a 22900	5.75	5.50
26400, 34400	6.00	6.00
43800	6.50	6.50
67000	7.00	7.00
Rango KVA	Impedancia de diseño (porcentaje)	
Transformadores para subestación	No menor de 2	
112.5 hasta 225	No menor de 4.5	
300 hasta 500	5.75	
Arriba de 500		
Transformadores de baja tensión		
1000 y menores de 1000 voltios	5.00	
Arriba de 1000	7.00	

Tabla 3.15. Impedancias para transformadores de baja tensión [13].

Las tolerancias para la impedancia de acuerdo con la norma ANSI/IEE C-57.12.00 son las siguientes:

Transformador de 2 devanados con impedancia mayor a 2.5%, tolerancia de $\pm 7\%$ del valor especificado en la placa.

Transformador de 2 devanados con impedancia menor a 2.5%, tolerancia de $\pm 10\%$ del valor especificado en a placa.

Transformador con 3 ó más devanados o en conexión Zig-Zag, tolerancia de $\pm 10\%$ del valor especificado en a placa.

Autotransformador, tolerancia de $\pm 10\%$ del valor especificado en la placa.

3.7.3. Rangos de temperatura de aislamiento.

Temperatura ambiente.

El material eléctrico será utilizado en la gama de temperaturas para la que se ha diseñado y que deberá incluirse como dato técnico para el momento de su venta. Si no se da ninguna referencia se considera que el margen de utilización está comprendido entre 20°C y 40°C. Otras temperaturas deberán indicarse expresamente en el certificado del laboratorio.

Temperatura superficial máxima:

Es la mayor temperatura alcanzada en servicio y en las condiciones más desfavorables (aunque dentro de las tolerancias) por cualquier pieza o superficie del material eléctrico que pueda producir la ignición de la atmósfera circundante.

Notas:

- 1) Las condiciones más desfavorables comprenden las sobrecargas, así como las situaciones de defecto reconocidas en la norma específica concerniente a los modos de protección.
- 2) El material eléctrico se clasifica en las clases de temperatura T1 a T6, según su temperatura superficial máxima.

Selección del material eléctrico en relación a la temperatura de ignición. El material eléctrico será seleccionado de tal modo que se asegure que su temperatura máxima superficial no exceda la temperatura de ignición de los gases, vapores, polvos o fibras que puedan estar presentes.

Los símbolos para las clases de temperatura que se marcarán en los aparatos tendrán el significado indicado a continuación:

$$450^{\circ}\text{C} \geq T_1 > 300^{\circ}\text{C}$$

$$300^{\circ}\text{C} \geq T_2 > 200^{\circ}\text{C}$$

$$200^{\circ}\text{C} \geq T_3 > 135^{\circ}\text{C}$$

$$135^{\circ}\text{C} \geq T_4 > 100^{\circ}\text{C}$$

$$100^{\circ}\text{C} \geq T_5 > 85^{\circ}\text{C}$$

$$85^{\circ}\text{C} \geq T_6 > 40^{\circ}\text{C}$$

Los transformadores son fabricados con sistemas de material aislante, tal como se muestra en la tabla 3.16. Los datos mostrados con referencia a pérdidas del conductor e impedancias están referidos a una temperatura ambiente de 40°C sobre el rango promedio de la temperatura del conductor.

Mientras en la tabla 3.16. se representan los límites estandarizados de temperatura requeridos, transformadores con pérdidas en el conductor y temperaturas más bajas están disponibles en el mercado, cuando se desea una mayor vida útil del elemento y se desean reducir los costos de operación. Un sistema aislamiento Clase 105 conlleva una temperatura de 55°C con una temperatura crítica permisible de 105°C.

Temperatura promedio del conductor (°C)	Temperatura ambiente máxima (°C)	Temperatura crítica permisible (°C)	Clase de aislamiento del sistema (°C)
55	40	105	105
65	40	120	120
80	40	150	150
115	40	185	185
150	40	220	220

Tabla 3.16. Límites de temperaturas para transformadores

3.7.4. Protección de los transformadores.

Cada transformador se protegerá con un dispositivo contra sobrecorrientes, para el caso fusibles, con una capacidad o ajuste igual al 125% de la corriente nominal del transformador. Bajo esta condición, en la tabla 3.17. se muestra la capacidad sugerida para los fusibles de protección según la potencia nominal de los transformadores que se analizaron anteriormente en la tabla 1.5., y considerando la protección en el devanado secundario de los transformadores, si estos trabajan a un nivel de voltaje de **24** voltios.

Potencia (VA). Para 24Vac en el secundario	Capacidad calculada del fusible (A)	Capacidad nominal del fusible (A)
40	2	2
63	3	3
100	5	5
200	10	10
250	13	15
320	16	20
400	21	25
500	26	30
800	42	40
1KVA	52	50
10KVA	520	525
29KVA	1 041	1 000
30KVA	1 562	1 550

Tabla 3.17. Capacidad sugerida para los fusibles de protección según la potencia nominal de los transformadores [7], [13].

CAPITULO IV. Requerimientos funcionales de la maquinaria y equipo para los procesos de una planta.

Dentro de un proceso de fabricación de transformadores debe existir una línea de máquinas para las diferentes etapas de producción que serán necesarias para obtener el producto final.

Algunas de las máquinas ya existen en el mercado nacional e internacional, como por ejemplo la prensa troqueladora de lámina, de las cuales hay diversos diseños, pero construidas para lograr los mismos objetivos.

Una de las máquinas se muestran en el presente trabajo como diseños propuestos aunque sus bases y fundamentos de diseño provengan de elementos y máquinas previamente construidas.

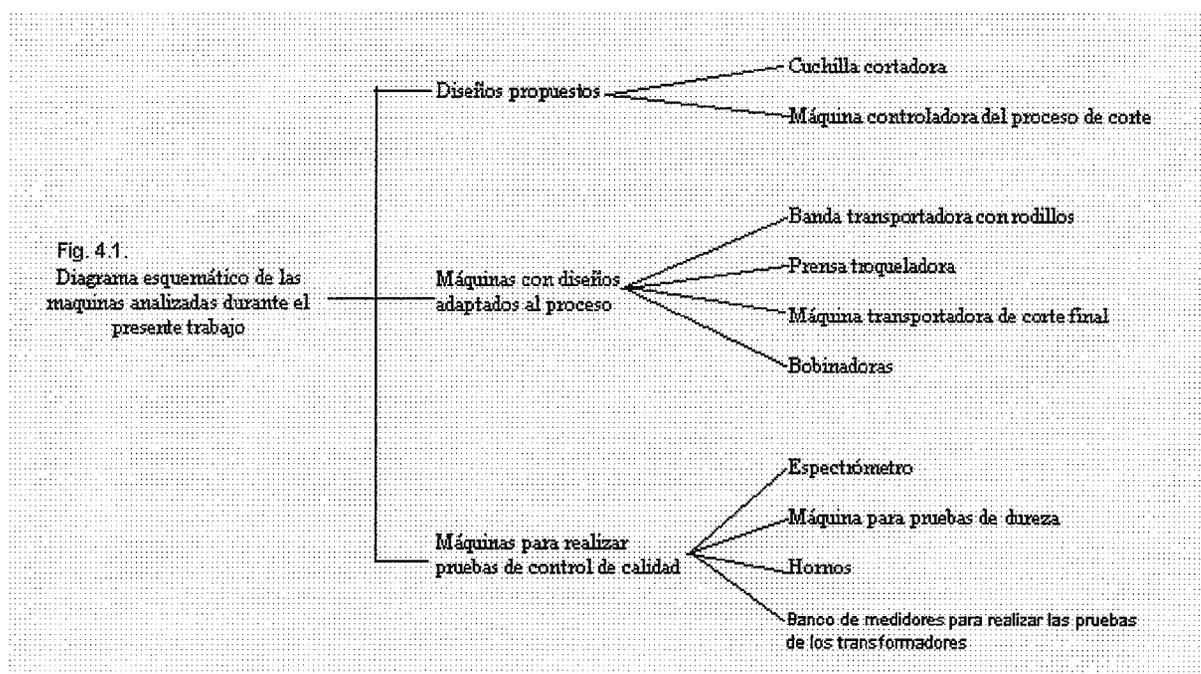
Otra de las máquinas que existen en empresas de producción es la banda con rodillos, cuya finalidad es la de movilizar la tira de lámina desde el elemento contenedor, el cual puede ser un carrete con material hasta el punto en el cual recibirá el proceso de corte con una máquina cortadora o cuchilla cortadora.

La prensa troqueladora ya existe en diversas industrias en nuestro país y se presentan en este trabajo con algunas variaciones que se proponen según el proceso y etapa de producción para la cual sirve estas máquina. Entre las máquinas que se presentan como diseños propuestos para formar parte del equipo del proceso de producción de transformadores dentro de la planta industrial, respetando siempre sus bases y fundamentos de diseño previos, se encuentran: La cuchilla cortadora y la máquina controladora del proceso de corte y frenado de lámina.

También existen una serie de máquinas que formarán parte del proceso productivo y que realizarán diferentes etapas, siendo utilizadas principalmente para realizar pruebas de control de calidad sobre los diferentes materiales o

productos semielaborados que se estén obteniendo en una etapa determinada del proceso productivo. Entre estas máquinas se encuentra el espectrómetro, que se utiliza para conocer la composición química de una muestra de lámina; la máquina para las pruebas de dureza, que como su nombre lo indica sirve para realizar pruebas de dureza en los materiales; y además se tienen los hornos que sirven para realizar tratamientos térmicos y de secado en diferentes etapas del proceso productivo.

Un diagrama esquemático de algunas de las máquinas que se analizan durante el desarrollo de este trabajo, clasificándolas como diseños propuestos, diseños adaptados al proceso y máquinas para pruebas se muestra a continuación (véase la figura 4.1.):



Todas las máquinas mencionadas anteriormente pueden adaptarse dentro de la línea productiva del proceso para la fabricación de transformadores. Para ello deberá diseñarse la planta piloto, la cual nos mostrará la posible ubicación de las diferentes maquinarias, de tal manera de lograr la mayor producción en el menor tiempo posible y con el máximo aprovechamiento de la materia prima.

Las principales máquinas que se utilizarían en el proceso productivo de transformadores son las siguientes: Cuchilla cortadora, máquina controladora del proceso de corte, máquina transportadora de lámina, prensa troqueladora de lámina, máquina transportadora de corte final, máquina bobinadora. El funcionamiento de estas máquinas y sus esquemas funcionales se explican a continuación.

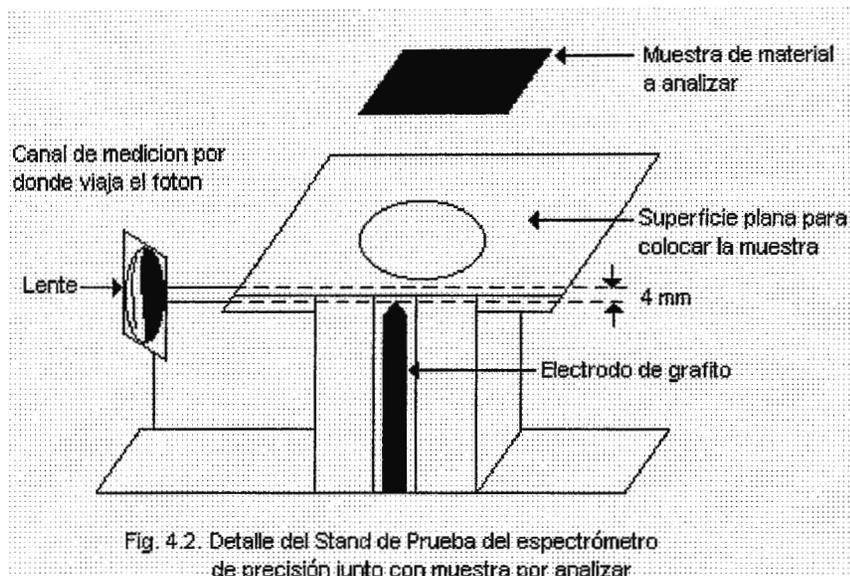
4.1. EQUIPO UTILIZADO EN EL CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES.

A continuación se describen las diferentes equipos utilizados para el control de calidad de los materiales.

4.1.1. ESPECTRÓMETRO DE PRECISIÓN [14].

Para conocer la composición química de un material metálico determinado puede hacerse una prueba denominada ESPECTROMETRÍA, utilizando un aparato llamado Espectrómetro de Precisión; esta prueba consiste en bombardear la lámina de material con una descarga de alto voltaje (3000 A 5000V) para que el material desprenda una cierta cantidad de energía.

Esta descarga es producida por un capacitor oscilatorio auto iniciante o capacitor disparador entre la superficie plana de la muestra y un electrodo de grafito terminado en forma de punta. El detalle del electrodo con la muestra puede observarse en la figura 3.5. En esta se detalla el banco de pruebas. La energía radiante de las líneas analíticas seleccionadas y una línea del estándar interno es medida por fotomultiplicadores (sensores de luz). La salida de corriente, para cada tubo durante el periodo de exposición es acumulada y almacenada como una carga en un capacitor asociado. Al final del período de exposición, el potencial del capacitor corresponderá a la línea analítica relativa al potencial para la línea del estándar interno, el cual ha sido previamente medido y almacena la información en la computadora que muestra los datos obtenidos.

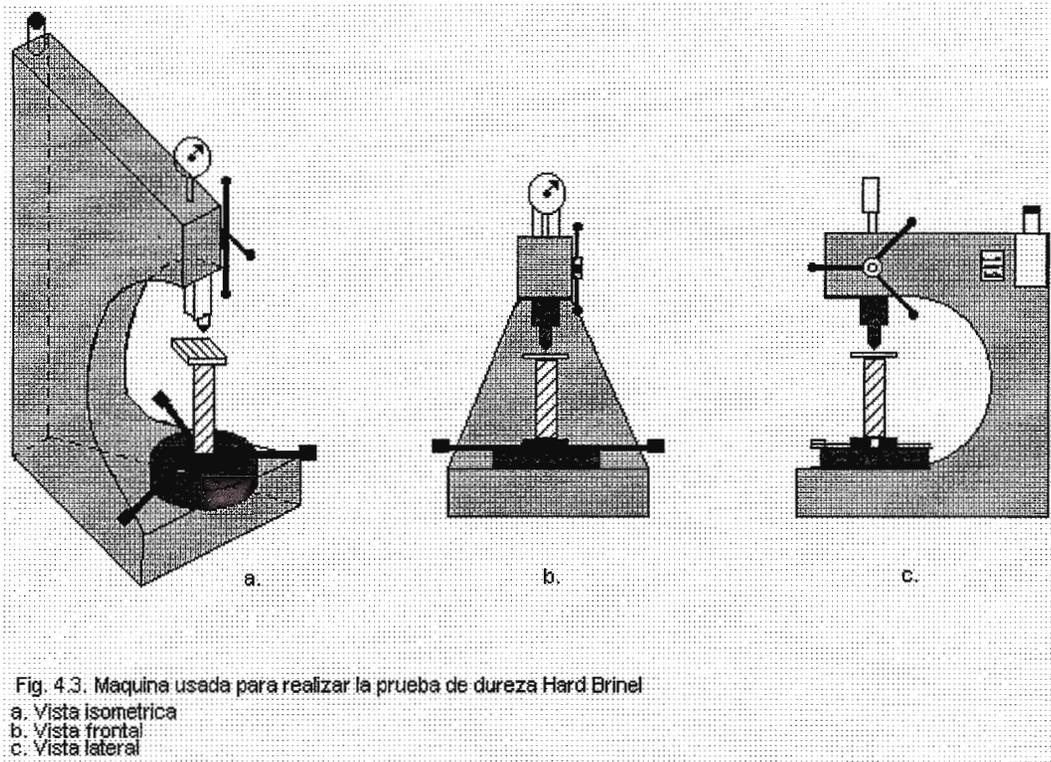


4.1.2. MÁQUINA DIA TESTOR PARA LA PRUEBA DE DUREZA [6], [7].

Esta es una máquina utilizada para determinar el nivel de dureza de las láminas, la cual utiliza una serie de pesas que sirven como cargas de prueba, esto según el material que es objeto de análisis. La máquina es relativamente sencilla, y consta de los siguientes elementos principales:

- Stand de prueba en el cual se coloca la probeta de un material determinado.
- Un panel trasero en el cual se coloca la carga de prueba, según la muestra de material en análisis.
- Dos palancas, una de las cuales se utiliza para ajustar el nivel de carga deseado para la prueba y la otra usada para el inicio de la misma.
- Una escala calibrada en la cual se observa el resultado de la prueba.
- Un punzón o punta de material que sirva para marcar la probeta.
- Dos palancas de leva para fijar las cargas de prueba.
- Un elemento amortiguador de las cargas de prueba.

En la figura 4.3. se puede observar la máquina utilizada para realizar las pruebas de dureza.



Existe otro tipo de ensayo de dureza el cual es más conveniente para materiales magnéticos blandos, tal como núcleos para transformadores. Esta es la prueba de dureza Vickers.

La forma para realizar el ensayo de dureza Vickers, fundamentalmente, no difiere del método utilizado para el ensayo de dureza Brinell.

El resultado del ensayo Vickers viene dado por la relación entre la carga aplicada al penetrador y el valor de la superficie de la huella producida. Esto viene definido por la fórmula:

$$HV = (P/A) \times 0.102$$

Donde:

P= Carga aplicada en N

A= Superficie de la huella en mm²

HV= Dureza Vickers

El penetrador para la realización de este ensayo es una punta de diamante la cual tiene una forma de pirámide regular de base cuadrada y un ángulo de vértice entre caras de 136°.

La huella que deja el penetrador sobre la probeta en el ensayo es una pirámide de base cuadrada, cuya superficie lateral es posible determinar si se conoce la medida d de la diagonal de la base, según normas DIN 50133. De acuerdo a la norma DIN 50133, el ensayo es válido si la diagonal de la huella es inferior a 1.5 veces el espesor de la pieza o de la capa para modificarla por el tratamiento térmico superficial a ensayar.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la relación que define la validez del ensayo, en función de la medida de la diagonal d , puede expresarse de la siguiente forma:

$$e \geq 1.5$$

En los anexos se puede observar más detalladamente la máquina utilizada para la realización de la prueba de dureza Hard Brinell.

En los anexos se puede observar más detalladamente la máquina utilizada para la realización de la prueba de dureza Hard Brinell.

4.1.3. FUENTE DE ALTA TENSIÓN, AMPERÍMETRO Y VOLTÍMETRO PARA LA PRUEBA DE MATERIALES AISLANTES PARA LOS CARRETES [7].

El equipo mínimo necesario para realizar las pruebas de materiales aislantes es el siguiente:

- Es necesario el uso de una fuente de voltaje. La fuente utilizada para realizar la prueba de los materiales aislantes será una fuente que proporcione un nivel variable de voltaje dc, el cual va desde un valor mínimo de la fuente, siendo este aproximadamente de 0.020kV hasta 10kV.
- La fuente de alta tensión debe conectarse haciendo uso de los elementos necesarios de aislamiento para el usuario, siendo estos unos guantes para alta tensión, zapatos debidamente aislados y alguna tabla seca o alfombra de hule colocada a nivel del suelo. Con los voltajes de 0.020kV hasta 10kV es posible realizar las pruebas de aislamiento para diversos materiales que pueden utilizarse como materiales aislantes para aislar las bobinas que se montan en el carrete del núcleo del transformador.
- También es muy importante disponer del equipo necesario para la medición de los diversos parámetros eléctricos, siendo este: Un voltímetro, un amperímetro y un óhmetro. Estos deben poseer las escalas adecuadas para poder manejar los diferentes parámetros que puedan surgir al momento de realizar las pruebas de materiales; además deben de poseer los elementos de protección internos para poder soportar los diversos errores que puede cometer el usuario en algún momento determinado cuando se estén realizando las diversas pruebas.
- En el apartado 2.2. puede observarse la descripción del método a seguir para la realización de las pruebas de materiales aislantes y conductores, además en la figura 2.1. puede verse el circuito a conectarse y el equipo necesario para realizar las pruebas.

4.1.4. TENAZAS, PINZAS, CUCHILLAS Y DEMÁS ELEMENTOS NECESARIOS PARA REALIZAR DIVERSOS TIPOS DE CONEXIONES [7].

Para realizar las diferentes pruebas de materiales es conveniente poseer todos los elementos necesarios para realizar diversas conexiones eléctricas. Es necesario poseer, como mínimo, los siguientes elementos: Tenazas para electricista, navajas, fuentes de voltaje variable tanto de Vdc como de Vac, cable para conexión de diversos calibres, medidores especiales como clampers, capacitómetros, un buen osciloscopio de doble traza, etc. Resumiendo, es necesario disponer de todo el equipo para realizar las diversas pruebas y que se pueden encontrar en cualquier taller o laboratorio de electricidad. En la tabla 3.18. se especifican algunas de las herramientas básicas que deben encontrarse como mínimo en el laboratorio de pruebas de materiales. Se especifica el tipo de herramienta, la cantidad y la marca sugerida de las mismas.

No.	Descripción	Marca	Cantidad sugerida
1	Tenazas de 8"	Stanley	2
2	Perica de 6"	Stanley	2
3	Pinza de 7"	Stanley	2
4	Tijeras de 10"	Stanley	2
5	Desarmador plano de 6x1/4"	Witte	1
6	Desarmador plano de 4x3/32"	Witte	1
7	Desarmador plano de 4x3/32"	Witte	1
8	Desarmador phillip de 6x1/4"	Witte	1
9	Desarmador phillip de 4x3/32"	Witte	1
10	Probador neón 110-600 Vac	Eagle	1
11	Cortadora de cable No.10-No.22	Stanley	1
12	Cinta métrica de extensión de 3m	Stanley	1
13	Martillo	X	1
14	Martillo de goma	X	1
15	Almádana	X	1
16	Navaja tipo cuma	Corneta	1
17	Caja para herramientas	Stanley	1
18	Medidor de resistencia de aislamiento	ABB metrawatt	1
19	Fuente de alta tensión 20Vdc-10kVdc	Lucas Nulle	2
20	Tester digital	Fluke	1
21	Osciloscopio de doble traza	Hameg	1
22	Conectores y cable de diversas medidas	X	X
23	Cautín de diversas potencias	Weller	3
24	Estaño 60/40	X	X
25	Cable conductor THHN no.10-No.14	X	X metros
26	Cable conductor duplex no.14-No.22	X	X metros

Tabla 3.18. Herramientas básicas del laboratorio de pruebas

4.2. MAQUINAS UTILIZADAS EN EL PROCESO PRODUCTIVO.

Las principales máquinas que se utilizarían en el proceso productivo de transformadores son las siguientes: Cuchilla cortadora, máquina controladora del proceso de corte, máquina transportadora de lámina, prensa troqueladora de lámina, máquina transportadora de corte final, máquina bobinadora. El funcionamiento de estas máquinas y sus esquemas funcionales se explican a continuación.

4.2.1. PRENSA TROQUELADORA.

Las fuerzas de troquelar se producen, guían y controlan en una máquina referida como prensa troqueladora. Hay dos tipos de prensas troqueladoras: prensas troqueladoras mecánicas y prensas troqueladoras hidráulicas.

Independientemente del tipo de prensa troqueladora, la energía almacenada en el volante giratorio de la prensa es transferida al ariete o corredora para su movimiento lineal.

Esencialmente la prensa se compone de un marco o bastidor, una mesa de trabajo o placa de apoyo y un miembro de movimiento alternativo llamado ariete o corredora, el cual ejerce la fuerza sobre el material de trabajo por medio de herramientas especiales montadas sobre la mencionada corredora y la mesa.

Un ejemplo de una prensa troqueladora singular es la prensa troqueladora inclinable de fondo abierto y bastidor en C de extenso uso, la cual tiene un bastidor en forma de una C que permite el acceso al espacio de trabajo. En ella se observan claramente sus partes principales: Una mesa rectangular una placa de apoyo, un ariete o corredora, un expulsor y un cojín.

Para lograr el proceso de corte o cizallado de una lámina de metal se hace uso de una matriz hembra y una matriz macho. Una matriz es una pieza de un material duro como el acero, la cual sirve para lograr los procesos de corte y punzón en una lámina de metal determinado. Las matrices y los punzones suelen hacerse de acero para herramientas, indeformable o

templables al aire. A unos 3 mm por debajo del frente de la matriz, esta suele recibir un rebaje inclinado, o alivio, con el objeto de reducir el rozamiento entre la pieza y la matriz y así facilitar la caída libre de aquella una vez cortada. Las matrices pueden hacerse de una sola pieza, con lo que se tiene una matriz esencialmente sencilla, aunque costosa, o bien puede hacerse a piezas que luego se reúnen en su soporte. Este último método simplifica la construcción y reparación en caso de daños, pues sólo se sustituye la pieza dañada.

4.2.2. CUCHILLA CORTADORA SEMIAUTOMÁTICA.

A continuación se detalla gráficamente la máquina sugerida para lograr los cortes necesarios para conformar los flejes de láminas, en el caso de que se compre lámina en forma de pliegos de alguna medida determinada, y con la cual se conformará el núcleo de los transformadores involucrados en el proceso utilizando posteriormente la prensa troqueladora. El detalle de la máquina de corte se muestra en la figura 4.4. Además se muestran los detalles de la forma de las cuchillas para tener una mejor visualización de la forma sugerida de las mismas para lograr un corte perfecto de material [7].

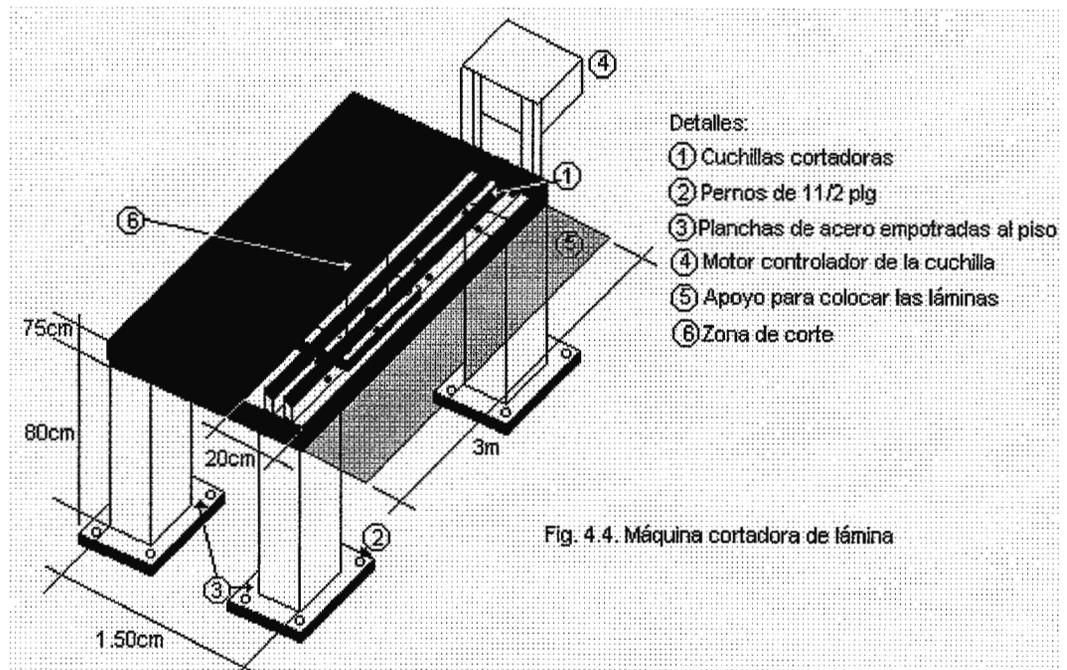
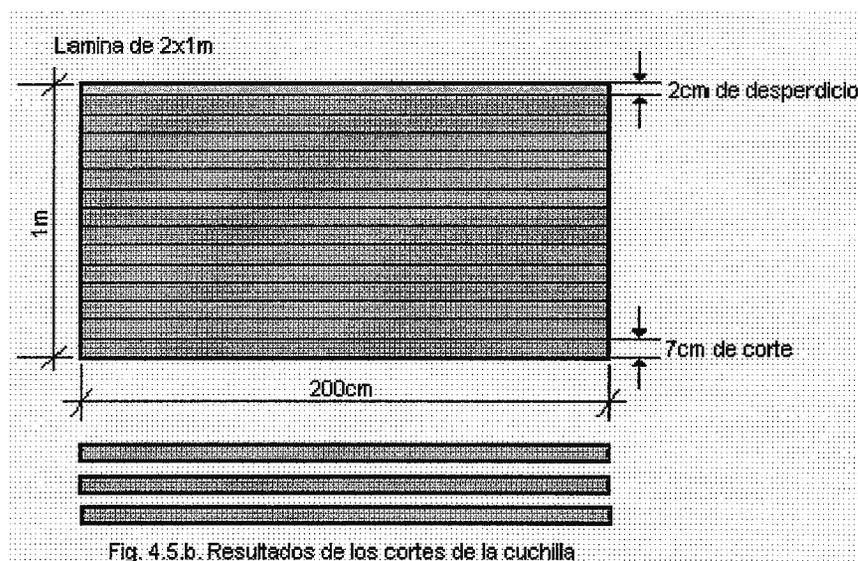
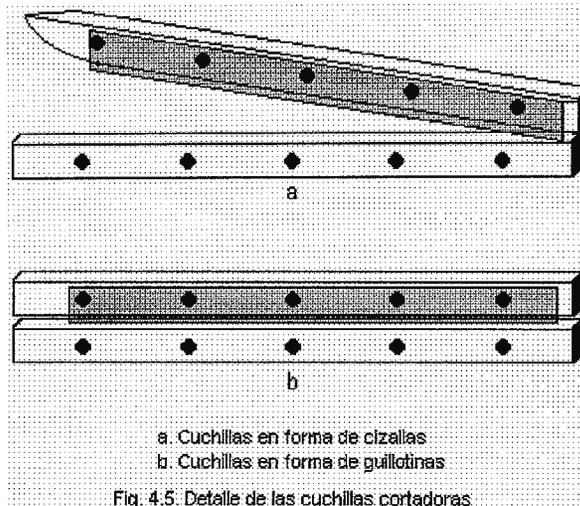


Fig. 4.4. Máquina cortadora de lámina



Las medidas de la máquina anterior se han establecido para el corte de láminas de medida de 2 metros de largo por 1 metro de ancho, medidas que se ofrecen en el mercado nacional, aunque la máquina, según la figura nos ofrece cortes para transformador cuyos núcleos tengan 20 cm de ancho como máximo. Esto se observa en la figura 4.5.b.

4.2.3. MAQUINA CON RODILLOS: TRASPOTADORA DE LAMINA (Observe la figura 4.6.) [7].

Esta máquina tiene por objetivo movilizar la tira de lámina desde su carrete C hasta el punto en el cual recibirá el proceso de corte con una máquina cortadora o cuchilla cortadora. La máquina es relativamente sencilla y consta de una serie de motores y rodillos que se encargan del

movimiento lineal de la lámina. El funcionamiento de la misma se describe a continuación. Véase la figura 4.6. para referencia del proceso.

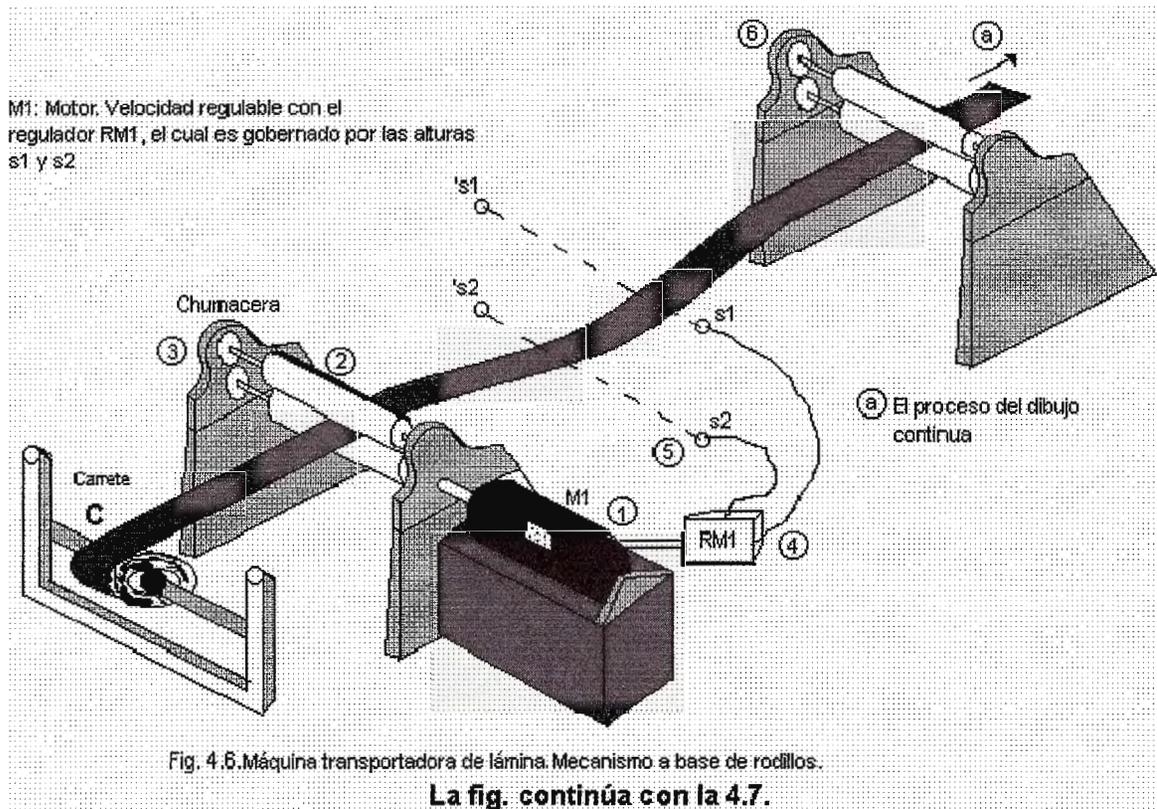
(1) Un motor M1 se encargará de mover uno de los rodillos desenrolladores de lámina (2); este motor haciendo uso de los rodillos se encargará de empezar a mover la lámina desde el carrete. Los rodillos estarán apoyados sobre cojinetes los cuales le darán estabilidad a los mismos (3).

La velocidad del motor estará controlada por el regulador de velocidad RM1 (4), el cual se encargará de regular la velocidad del motor al entrar en funcionamiento dos sensores (5), los cuales activará al regulador RM1 para que proporcione el aumento o disminución de la velocidad del motor según dos estados los cuales se describen a continuación:

- i. Si hay deficiencia de lámina, la lámina estará estirada por lo tanto se activará S1 que está a un nivel de altura un poco mayor que la altura normal de la lámina en el punto de comba de la misma; por lo tanto el sensor S1 mandará una señal a RM1 y en éste momento tendrá que aumentar la velocidad del motor para que proporcione más lámina hasta obtener una cantidad apropiada de la lámina en el proceso.
- ii. Si hay exceso de lámina bajará hasta un nivel menor en el cual se tendrá que activar el sensor S2; S2 está a un nivel menor que el nivel de altura normal de la lámina en el punto de comba de la misma. El sensor S2 mandará una señal a RM1 y en este momento tendrá que disminuir la velocidad del motor y así proporcionara menos lamina hasta obtener la cantidad apropiada de lamina en proceso.

Por ultimo la máquina posee un par de rodillos que únicamente sirven de apoyo en el transporte de la lamina hasta que esta llega a su destino final, o sea el punto de corte con la cuchilla. Una máquina con estas características es importante para realizar el proceso de corte de los elementos en forma de E e I, o cualquier otra forma de núcleos, cuyo proceso de construcción se detalla de los apartados 3.3.1. al 3.3.4.

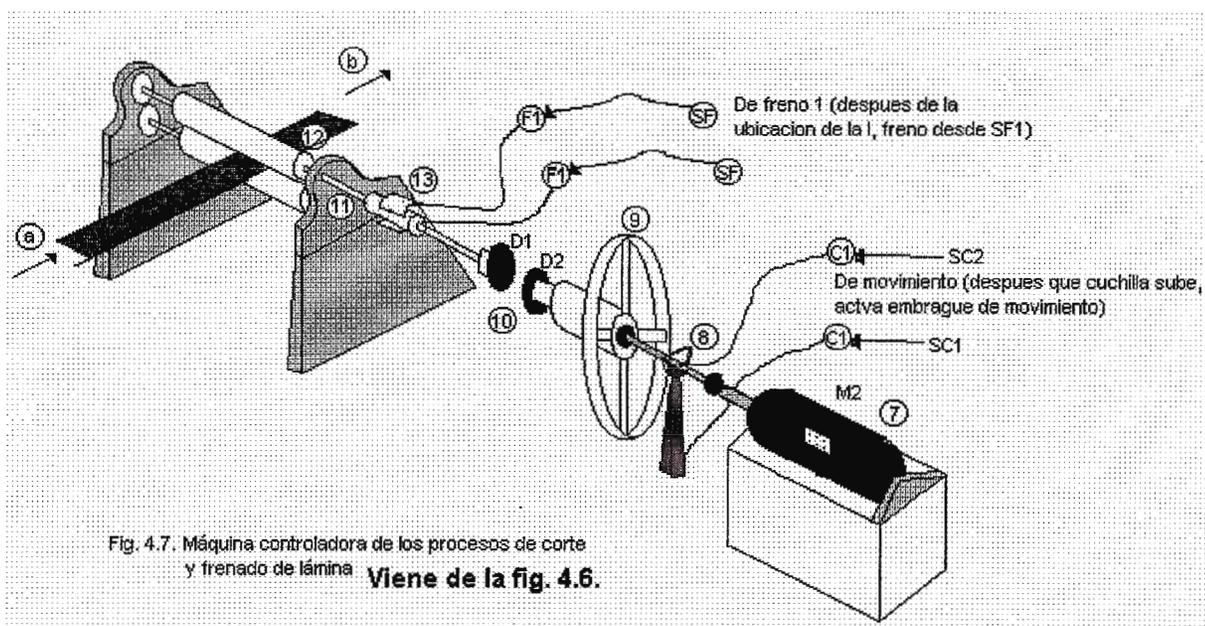
Las máquinas mostradas en las figuras 4.7. a la 4.10. también son importantes para lograr la producción en serie de láminas para núcleo y sus objetivos son similares: Corte y transporte de lámina para obtener el núcleo.



4.2.4. MÁQUINA CONTROLADORA DEL PROCESO DE CORTE Y FRENADO DE LA LÁMINA (Observe la figura 4.7.).

Esta máquina posee un motor (7) acoplado a un volante; el motor M2 trabajará permanentemente a velocidad constante y puede ser un motor AC o un motor DC. Si la cuchilla está a un nivel de altura (después de algún corte) tal que se active el sensor SC1, entonces el vástago (8) proporcionará un movimiento lateral a la guía (9), de tal forma que debido al movimiento en el eje x entrarían en contacto los discos D1 y D2 (10). Estos discos podrían ser un disco de metal y un disco de fibra e irían empernados al volante y al eje (11) de los rodillos (12), respectivamente. Los discos deberán ser porosos y deberán tener un coeficiente de fricción alto, de tal forma que el movimiento de la guía que está acoplada a un disco de metal, logre mover el otro disco y de esta forma se mueven los rodillos (12) hasta que se produce la acción de frenado del eje de los rodillos.

Los rodillos moverán la lámina la distancia necesaria como para lograr el corte con la cuchilla de corte. Después de que la lámina se ha movido el sensor SF1 se activará al detectar el hueco de la forma I de la lámina y mandará un pulso que activará los electroimanes (13) que servirán como un sistema de frenado del eje de los rodillos. Al mismo tiempo que se activa el sistema de frenado, el sensor SM3 enviará una señal al motor M3, el cual es el motor que activa la cuchilla de corte de la lámina, proceso que se explica posteriormente. La guía se mueve a través del volante de forma longitudinal debido a que al eje del motor M2 se le ha acoplado un cuñero (14) el cual se adapta al portacuñero (14) de la guía, por lo tanto la guía se mueve a través del eje como si éste fuera un riel; este sistema deberá engrasarse continuamente para evitar el menor rozamiento posible y que haya un movimiento armonioso en el sistema eje-volante. El sistema de frenado posee unos resortes que sirven como amortiguadores y evitarán la ruptura de los electroimanes. Para entender bien el funcionamiento de las maquinarias explicadas anteriormente, refiérase a las figuras 4.7. y 4.8., las cuales se muestran a continuación [7]. Estas máquinas son importantes para poder ejercer los procesos para la obtención de los núcleos de transformadores, proceso que se destaca en el capítulo III de este documento, en los apartados del 3.3.1. al 3.3.4., los cuales son los procesos de corte de láminas.



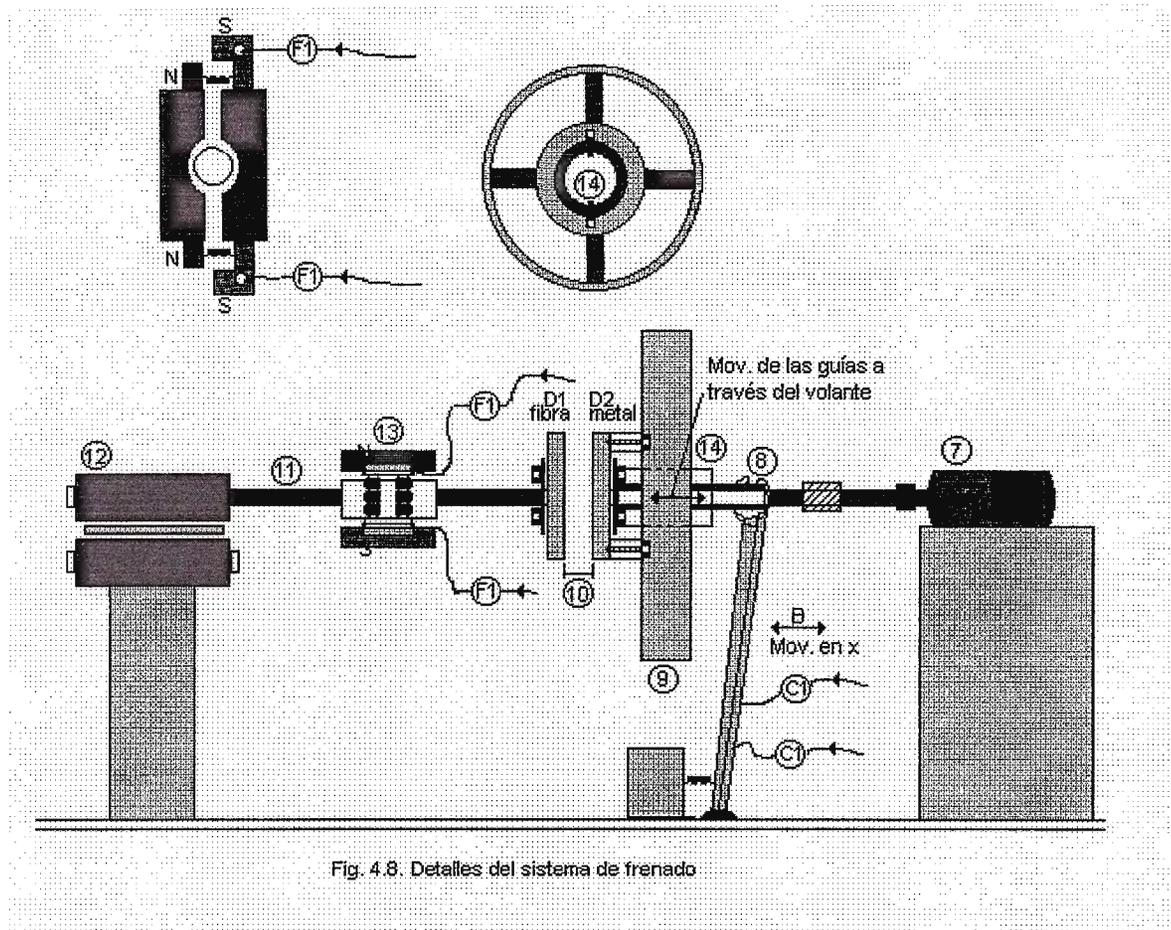


Fig. 4.8. Detalles del sistema de frenado

4.2.5. CUCHILLA CORTADORA AUTOMÁTICA.

El funcionamiento de esta máquina se describe a continuación. Véanse las figuras 4.9.a. y 4.9.b.

La cuchilla cortadora se activará debido al sensor SM3 cuando el hueco de la I de la lámina es detectado por el sensor.

En este momento se activará el motor M3 (1) el cual está acoplado a una excéntrica (2), la cual se encargará de darle movimiento a la cuchilla de corte (3); la cuchilla está conformada por una pieza superior con un movimiento en el eje y una pieza inferior la cual permanece fija. La cuchilla se mueve a través de unas guías de acero (4) que están empernadas a la mesa de trabajo y que tienen por objetivo proporcionar fijeza a las cuchillas al momento de corte. Los resortes (5) proporcionan un sistema de amortiguamiento a la máquina y prolongarán la vida útil de la misma.

Los huecos I cortados previamente en la máquina troqueladora servirían de guías para lograr los tiempos de corte y frenado. Este objetivo se

logrará con el uso de sensores de luz, los cuales mandarían las señales a los respectivos controladores digitales, para lograr el control en cada una de las máquinas de los distintos procesos.

Cuando la cuchilla ha ejecutado el corte de la lámina y vuelve a su punto de origen, se activa el sensor SC1, el cual activa a su vez mecanismo (8) que mueve la guía en el eje X.

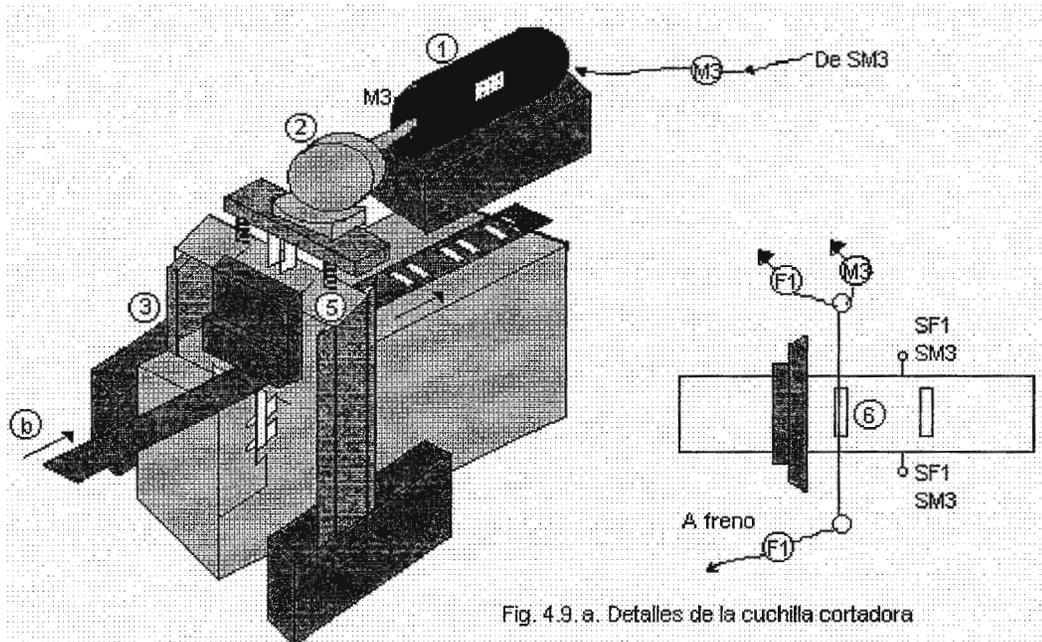


Fig. 4.9. a. Detalles de la cuchilla cortadora

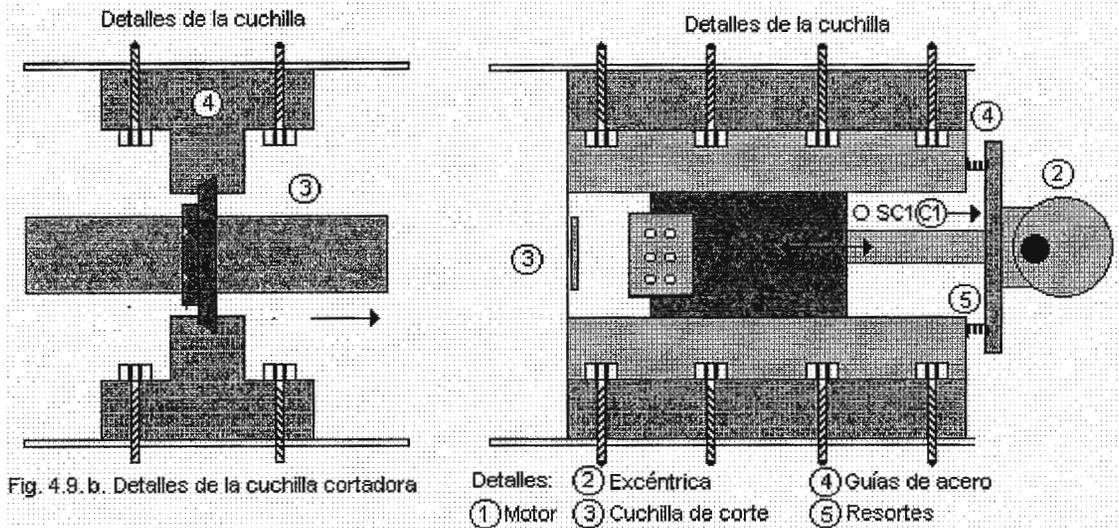


Fig. 4.9. b. Detalles de la cuchilla cortadora

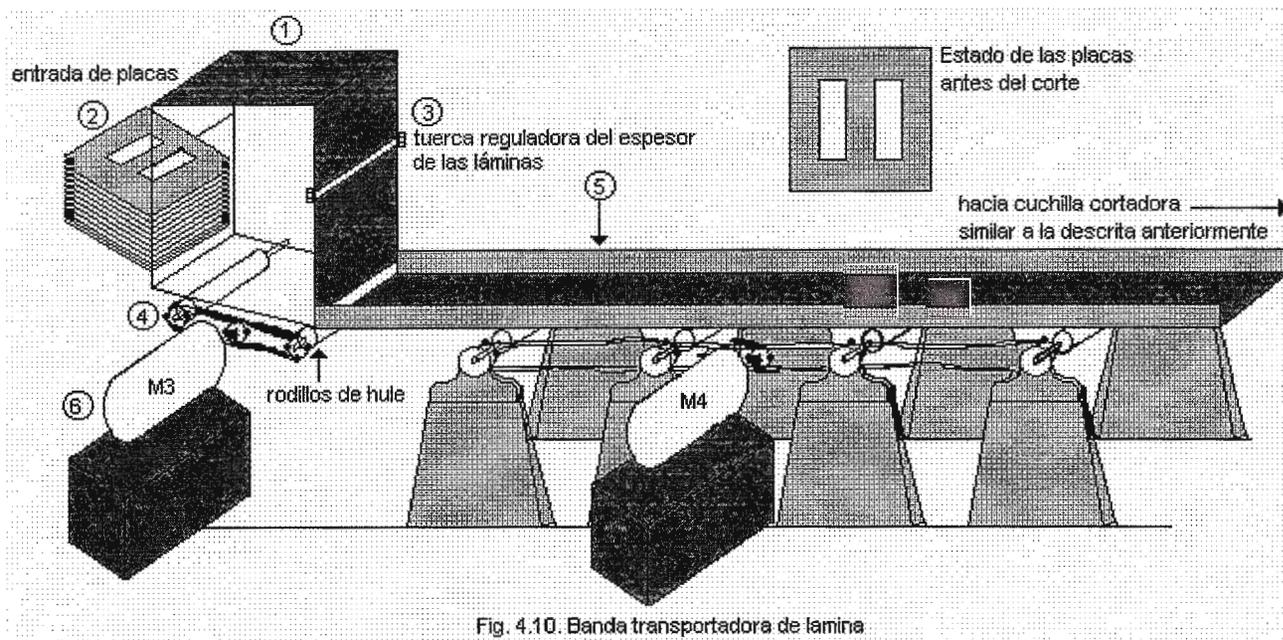
- Detalles: ② Excéntrica ④ Guías de acero
 ① Motor ③ Cuchilla de corte ⑤ Resortes

4.2.6. MAQUINA TRASPORTADORA DE CORTE FINAL [7].

Esta máquina tiene por objetivo el corte final para obtener los núcleos terminados. Su funcionamiento es una combinación de la banda transportadora y la cuchilla de corte. A continuación se resume el funcionamiento de la máquina. Véase la figura 4.10.

Las láminas se introducen por el panel trasero (2) de la caja receptora (1). El tamaño de las láminas que se transportarán por la banda será regulado por medio de una tuerca reguladora (3), la cual se regulará de forma manual, ajustando la misma según el espesor de las láminas.

La parte inferior de la caja receptora posee cierto nivel de inclinación (4), esto con el objetivo de que las láminas tengan facilidad para acceder a la banda transportadora (5). La banda funciona gracias al movimiento que le proporciona un motor (6), y es una banda simple con una serie de rodillos cuyo objetivo es llevar las laminas hacia la cuchilla cortadora (7), la cual es similar a la explicada anteriormente, con excepción de que se colocará de forma perpendicular para realizar un corte transversal.



4.2.7. MÁQUINA DE INYECCIÓN UTILIZADA PARA FABRICAR LOS CARRETES DE LAS BOBINAS [15].

a) Información General de una Máquina Inyectora.

El funcionamiento, en términos generales, de una máquina inyectora consiste en verter material plástico fundido en un dispositivo que lo comprime de tal manera, que se hace introducir a un molde para darle la forma deseada a dicho material.

El material plástico se introduce en la máquina en forma de polvo o gránulos, que serán calentados para transformarse en una masa plástica, que a través del cilindro de plastificación, será inyectada en la cavidad del molde. El plástico toma la forma del molde, enfriándose rápidamente, gracias a la temperatura baja que posee. El proceso se repite según la cantidad del producto que se necesite. La duración del ciclo de trabajo varía según el tipo de resina empleada y la configuración de la pieza moldeada. En el capítulo III, apartado 3.5., se observan los porcentajes de material sugeridos para poder conformar una pieza de plástico como el carrete para transformadores.

b) Partes Principales de una Máquina Inyectora de Plástico [15].

Son dos las principales partes que posee esta máquina, y las cuales se describen a continuación.

1. Unidad de cierre del molde.

La unidad de cierre posee dos partes principales, las cuales son la prensa y el cilindro de prensa.

La Prensa: Es la parte que sostiene al molde, está construida, generalmente de hierro fundido. Su función principal es abrir y cerrar el molde, se cierra para introducir la materia plastificada y se abre para expulsar el producto terminado. Su funcionamiento se realiza gracias al sistema de doble rodillera, el cilindro de prensa y las guías cilíndricas que la sostienen. La figura 4.19. nos muestra la ubicación de la prensa en una

máquina inyectora de plástico. Anteriormente, en las figuras 3.21. y 3.22. se habían mostrado detalles del molde de inyección del plástico.

Cilindro de Prensa: Es un cilindro hidráulico que al extenderse cierra la prensa y mantiene una presión suficiente durante la inyección, y se retrae cuando se necesita abrir la prensa. Este cilindro está conectado a la prensa a través del sistema de doble rodillera.

2. Unidad de Inyección

Sus partes principales son:

- Cilindro de Plastificación
- Unidad de Transmisión de Inyección
- Cilindro de Inyección
- Cilindro de Unidad de Inyección.

La figura 4.19. nos muestra la ubicación de las partes principales de la unidad de inyección de una máquina inyectora de plástico. A continuación se describe brevemente cada una de ellas.

Cilindro de Plastificación: Comprende los husillos, la boquilla y las resistencias eléctricas para el calentamiento del material termoplástico, que se convierte en una masa plástica.

Generalmente las máquinas inyectoras poseen husillos universales, los cuales son adecuados para trabajar con todos los materiales termoplásticos existentes en el mercado, pueden inyectar materiales como el PVC rígido y flexible y otros con características similares que son muy viscosos cuando están fundidos.

Unidad de Transmisión de Inyección: Es la parte que une el cilindro de plastificación con el cilindro hidráulico de inyección. Se incluyen los dos motores hidráulicos que controlan los dos husillos durante la fase de plastificación. Estos están accionados por las dos bombas del sistema

hidráulico de la máquina; su velocidad de rotación es fácilmente regulada en forma continua, de cero hasta un valor máximo, por el control del caudal y por la caja reductora que conecta los dos motores de inyección.

Cilindro de Inyección: Es el que controla la fase de inyección por medio de un pistón, es decir, la transferencia del material termoplástico de la cámara de inyección a la cavidad del molde.

Esta fase se realiza en el menor tiempo posible, con el objetivo de evitar que el material termoplástico se solidifique antes de llenar completamente la cavidad del molde.

Cilindro de Unidad de Inyección: Tiene como misión trasladar toda la unidad de inyección hacia la parte fija de la prensa, de tal manera que la boquilla tenga perfecto contacto con el molde y poder realizar la inyección. Este cilindro tiene un dispositivo de carro fijo que permite mantenerlo en la misma posición mientras se está inyectando la cantidad de producto que se necesita.

c) Sistemas Principales de una Máquina Inyectora.

Una máquina inyectora de plástico es operada gracias a dos sistemas principales:

- El Sistema Hidráulico
- El Sistema Eléctrico

Sistema Hidráulico.

La máquina de inyección realiza su trabajo gracias al sistema hidráulico, éste hace funcionar la máquina a través de la compresión del aceite. Como todo sistema hidráulico, éste está compuesto fundamentalmente de: bombas, actuadores hidráulicos, válvulas controladoras de flujo, válvula direccional y un tanque. Todos estos componentes hacen funcionar las partes principales que se han mencionado anteriormente: unidad de cierre del molde y unidad de inyección.

El corazón del sistema está compuesto por dos bombas, accionadas por un mismo motor eléctrico. Una de ellas controla la presión y la segunda el caudal del aceite de la máquina. Estas bombas hacen accionar los diferentes dispositivos de la siguiente manera: Una vez que el cilindro de la unidad de inyección es extendido hasta poner en contacto la boquilla con la parte "macho" del molde se extiende el cilindro de la prensa para cerrar el molde: luego el cilindro de inyección se extiende de tal manera que el material plastificado que se encuentra en los husillos empieza a penetrar en el molde a través de la boquilla: Cuando este cilindro es extendido se accionan los motores los cuales hacen girar los husillos para generar la inyección del plástico que ha sido fundido por las resistencias del cilindro de plastificación: La inyección es finalizada cuando los motores dejan de girar debido a que la válvula direccional ha sido accionada por la señal producida por un final de carrera, después el cilindro de prensa se retrae y se abre el molde, dejando libre el producto terminado. Todo este proceso constituye un ciclo cerrado, con base a la cantidad de producto que se necesite inyectar.

Otros elementos importantes que hay que considerar en el sistema hidráulico son:

- Manómetro para el control de la presión del sistema.
- Motor eléctrico que acciona las bombas.
- Termómetro para medir la temperatura del aceite en el tanque.
- Mangueras flexibles y tuberías que conectan los distintos elementos del sistema.
- Filtros para eliminar las partículas sólidas que se adhieren en el aceite que llega al tanque.

Sistema Eléctrico.

Las máquinas de moldeo por inyección están diseñadas con un sistema eléctrico que sirve para controlar el funcionamiento del proceso, la temperatura del cilindro de plastificación, el motor eléctrico que acciona

las bombas y los dispositivos especiales que eventualmente requiere la máquina¹.

La maquina tiene un tablero de control con selectores y botones de operación, que sirven para el ajuste inicial del proceso. En el control se encuentran normalmente el selector para el funcionamiento manual, semi-automático y automático, los controles de arranque y paro del motor eléctrico.

La secuencia de las fases que componen el ciclo de funcionamiento, esta controlada por el movimiento de la máquina mediante el accionamiento de interruptores eléctricos, que a su vez accionan a los relevadores y los controles de tiempo (temporizadores) que se encuentran dentro del gabinete de control. El control de tiempo de inyección y el tiempo de cierre del molde se ejecuta con temporizadores.

d) Elementos Principales de la Máquina [15].

A continuación se presenta una breve descripción de los componentes más importantes que forman el sistema hidráulico de una máquina inyectora de plástico.

Bombas Hidráulicas.

Las dos bombas hidráulicas que posee la inyectora son de paletas, una es de tipo doble (denominada en el diagrama hidráulico como B1 y B1') y la otra es sencilla (denominada como B2). Estas bombas de paletas tienen la característica especial de ser más silenciosas y proporcionar grandes caudales.

La figura 4.11. muestra el principio de funcionamiento de una bomba de paletas sin equilibrar.

¹ Un dispositivo eventual podría ser el pistón que accionará el sistema de montaje del molde, si se determina que ese tipo de diseño es el más adecuado.

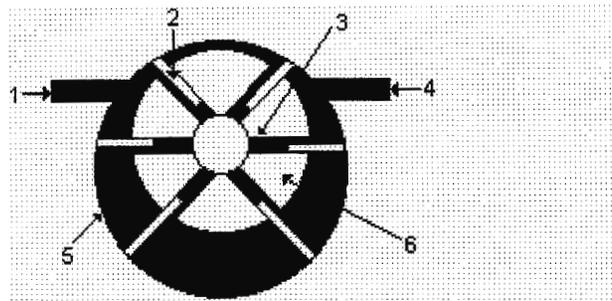


Fig. 4.11. Funcionamiento de una bomba de paletas

1. Boca de entrada
2. Paleta
3. Ranura
4. Boca de salida
5. Estator
6. Rotor

Motores.

Los motores que tiene la máquina son de dos tipos: hidráulico y eléctricos.

Motores Hidráulicos.

Son dos los motores hidráulicos (denominado D y E) que posee la máquina, estos proporcionan la energía mecánica necesaria para mover los husillos del cilindro de plastificación. A través de ellos se logra que el giro de los husillos sea constante y que el freno sea muy eficiente, además se obtiene una sincronización muy precisa, aspecto importante para conseguir un buen torque en la unidad de transmisión.

Motor Eléctrico.

La energía mecánica que se transmite a las bombas hidráulicas es proporcionada por un motor eléctrico trifásico con una capacidad de 50 HP; el arranque de éste se realiza a través de una conexión estrella delta.

Husillos.

Para la alimentación del material plastificado hacia la boquilla, existen dos husillos colocados paralela y horizontalmente. El material con que están fabricados permite trabajar exclusivamente con materiales

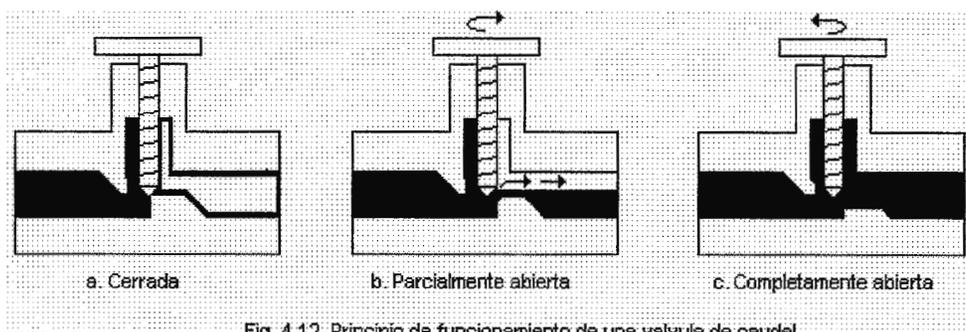
termoplásticos, se trata de un acero con alta concentración de carbono sin tratamiento superficial.

La maquina de ACOPY-PLAST (la cual está ubicada en el polígono industrial Don Bosco) posee en su sistema de plastificación dos husillos. Estos husillos pertenecen a las máquinas de la casa Windsor (Inglaterra). Los husillos giratorios mezclan y plastifican intensivamente el material, inyectándolo a la parte delantera del cilindro. A causa de la contra presión que ejerce el material, los cilindros regresan a su posición inicial, indicando la porción de material acumulado. Al ser empujado de nuevo hacia la izquierda por el embolo, el material se inyecta en el molde a través de hilera inyectora. Aquí la presión de inyección es baja y en consecuencia son bajas también las tensiones internas. Puede además utilizarse para la aplicación simultánea de colorantes. No obstante las ventajas tecnológicas de la máquina, ésta resulta compleja, lenta, cara y pesada.

Válvulas.

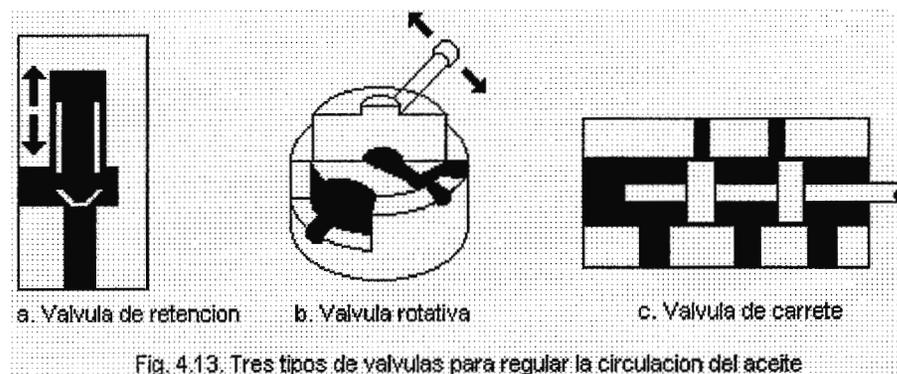
En el sistema hidráulico se necesita controlar la presión y el caudal del aceite hidráulico, para esto se utilizan las válvulas de alivio, válvulas reguladoras de caudal y direccionales.

En la figura 4.12. se observa el principio de funcionamiento de una válvula de caudal.



Válvulas direccionales.

La mayoría de las válvulas direccionales de la máquina son de carrete (como la válvula del extremo derecho de la figura 4.13.); son pilotadas mediante señales eléctricas que generan un campo magnético en un solenoide (electroválvulas) para cambiar las posiciones y el recorrido del fluido. En general, se encuentran dos clases de estas válvulas en el sistema hidráulico, de tres posiciones y cuatro vías y de dos posiciones y cuatro vías (véase la figura 4.13.).



Cilindros.

Todos los cilindros o actuadores lineales que posee la máquina son de doble efecto y vástago simple, el que tiene el mayor diámetro es el cilindro de inyección (C), y el que tiene mayor longitud de carrera es el cilindro de prensa (A).

Elementos de Control.

Los movimientos mecánicos son controlados por medio de finales de carrera, estos accionan los contactores eléctricos del panel de control y se envían señales a las diferentes electroválvulas, las cuales cambian la dirección del flujo y así se gobiernan los movimientos de los actuadores.

Tipos de Boquillas más Utilizados.

Los cilindros de plastificación disponen de una serie de boquillas con las cuales se pueden inyectar todos los materiales termoplásticos existentes en el mercado y que pueden adaptarse a cualquier tipo de molde. A continuación se ilustran algunos tipos de estas boquillas que se utilizan en una máquina inyectora marca Windsor.

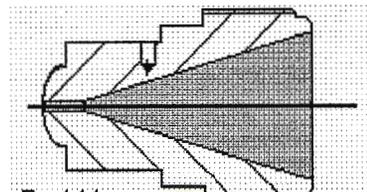


Fig. 4.14.
Boquilla libre tipo C, es abierta

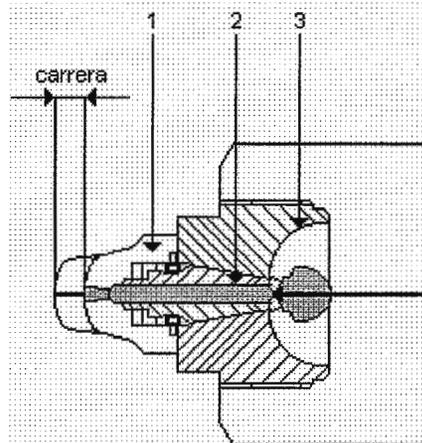


Fig. 4.15.
Boquilla con válvula, comúnmente llamada tipo "A"
1. Cabeza
2. Pistoncito válvula
3. Cuerpo de la boquilla

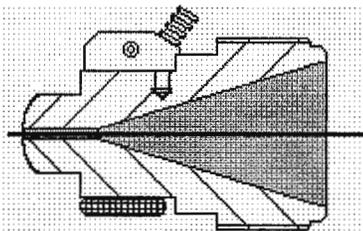


Fig. 4.16.
Boquilla tipo "D", libre para la inyección de resina acetálica.
Provista de resistencia eléctrica y termopar

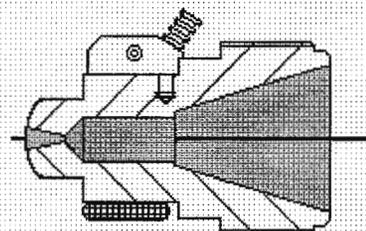
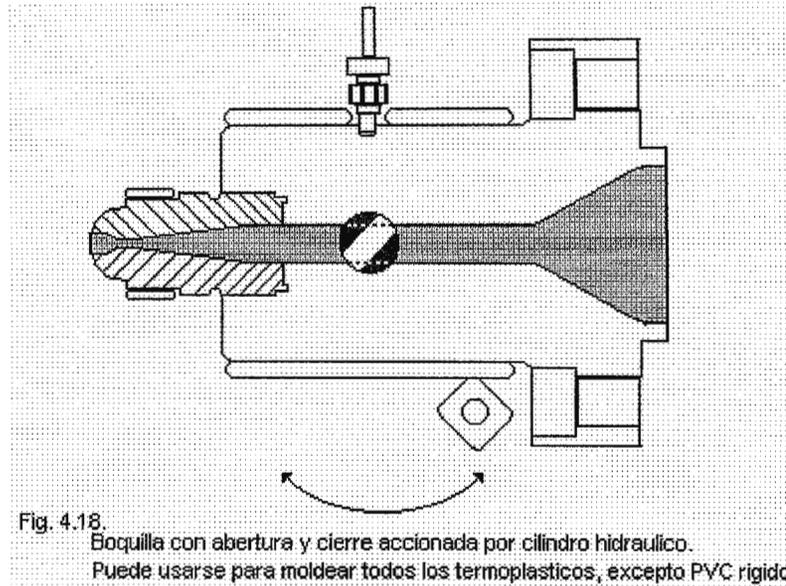


Fig. 4.17.
Boquilla tipo "F", es una boquilla libre que se usa cuando la máquina trabaja con descompresión en la cámara de la boquilla (rechupe). Provista con resistencia eléctrica y termopar



e) Ubicación de los Principales Elementos que conforman una Máquina Inyectora de Plástico.

Los diferentes dispositivos que conforman una máquina inyectora de plástico, principalmente los dispositivos hidráulicos, están concentrados en diferentes partes de la máquina. Hay que destacar que los actuadores se distribuyen en los mecanismos que realizan la función de inyección y las válvulas de control de dichos actuadores, están concentrados en dos bloques en los cuales se establecen las conexiones necesarias para un perfecto funcionamiento de los mecanismos.

Los siguientes diagramas ilustran la ubicación de todos los elementos que hacen posible el trabajo de una máquina inyectora de plástico. Véanse las figuras 4.19., 4.20. y 4.21.

Las figuras tienen sus tablas o datos de referencia para identificar cada uno de los elementos constituyentes del sistema.

Se presentan los diagramas esquemáticos para una mejor comprensión de la máquina.

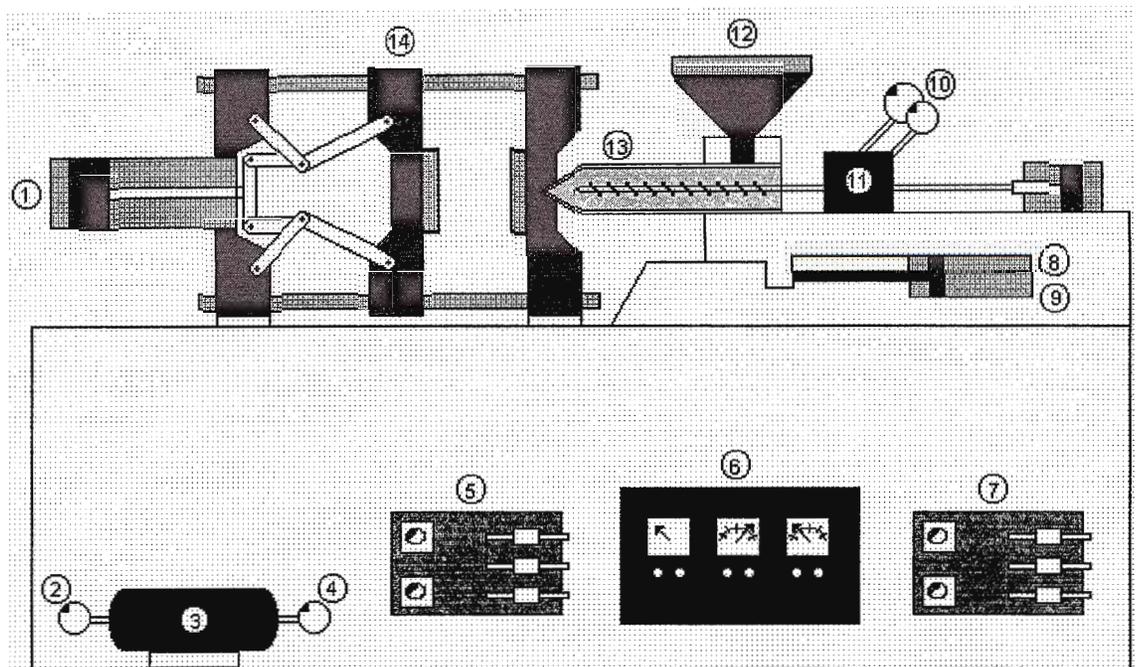
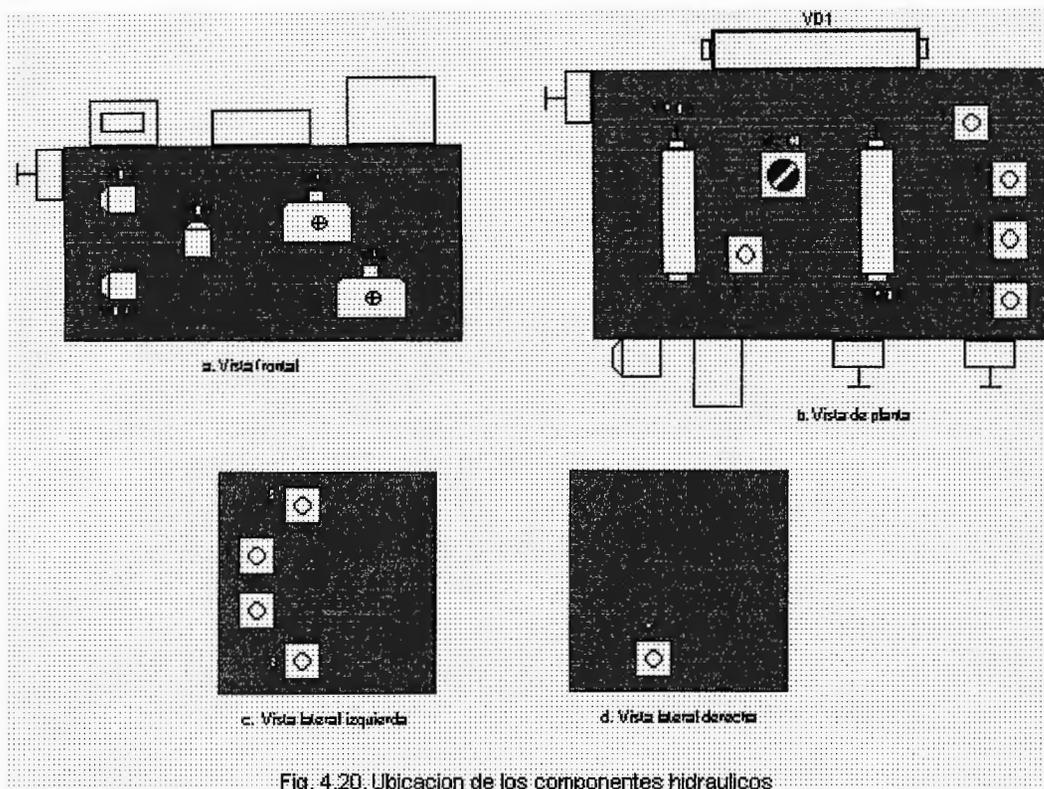


Fig. 4.19. Partes principales de una inyectora de plástico

Referencias [15]

1. Cilindro de Prensa "A"
2. Bomba doble B1
3. Motor eléctrico
4. Bomba simple B2
5. Bloque A
6. Unidad de Control
7. Bloque B
8. Cilindro de la unidad de inyección "B"
9. Cilindro de inyección "C"
10. Motores hidráulicos "D" y "E"
11. Unidad de inyección
12. Tolva
13. Cilindro de plastificación
14. Prensa



BLOQUE A	
DESIGNACION	TIPO DE COMPONENTE
VD2	Válvula direccional para el paso de flujo del sistema
VDA1	Válvula desaceleradora del cilindro de prensa.
VD3	Válvula direccional para el paso de flujo en la inyección
VA1	Válvula de alivio para la presión de la B1
VA2	Válvula de alivio para la presión de la B2
VD1	Válvula para el paso de flujo a alta presión para el cierre de la prensa
VRP3	Válvula reguladora de la alta presión de B1
VCK3	Válvula check entre B1 y B1
VRP1	Válvula de enclavamiento de la prensa
1	Conecta al bloque B
2	Conecta al bloque B
3	Conecta a la bomba B1
4	Conecta a la bomba B2
5	Conecta a VP1 del cilindro A
6	Conecta a la bomba B1
7	Conecta con VP1
8	Retorno del bloque al tanque
9	Conecta con el bloque B

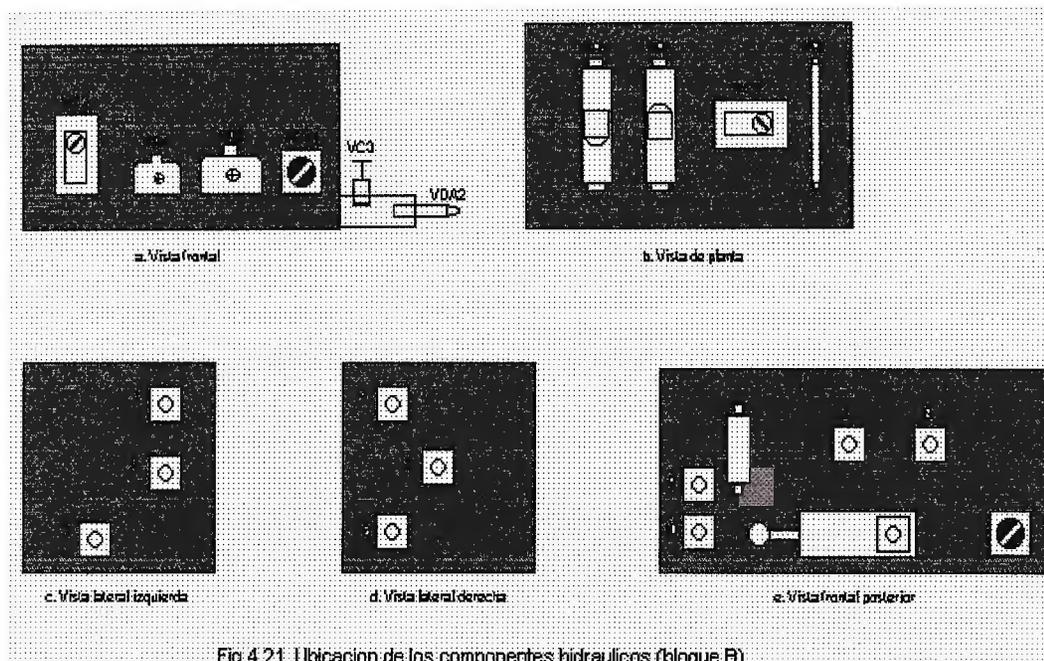


Fig.4.21. Ubicación de los componentes hidráulicos (bloque B)

BLOQUE B	
DESIGNACION	TIPO DE COMPONENTE
VC2	Válvula controladora de caudal de los motores hidráulicos
VA4	Válvula de alivio de la presión de los motores hidráulicos
VA3	Válvula de alivio de la presión de inyección
VCK1	Válvula check de la VC1
VC3	Válvula estranguladora del caudal de retorno para VDA2
VDA2	Válvula desaceleradora de la inyección.
VP4	Válvula direccional que acciona los motores hidráulicos
VP3	Válvula direccional que acciona el cilindro de inyección
VC1	Válvula controladora del caudal de la inyección
VP2	Válvula direccional que acciona la unidad de inyección
VRP2	Válvula reguladora de la presión de la unidad de inyección
VCK2	Válvula check de los motores hidráulicos
1	Conexión a los motores D y E
2	Conexión a tanque
3	Conexión de 1 al bloque A
4	Conexión a la extensión del cilindro B
5	Conexión a tanque
6	Conexión a tanque
7	Conexión a la retención del cilindro C
8	Conexión 2 al bloque A
9	Conexión a la retención del cilindro B
10	Conexión 9 a bloque A
11	Conexión a la extensión del cilindro C

CAPITULO V. Distribución en planta y los requerimientos de energía de la misma [7], [16].

La distribución en planta de los procesos para la fabricación de transformadores secos de baja tensión deberá hacerse con base a ciertos aspectos que determinarán el mejor aprovechamiento de la materia prima y la mayor productividad en el menor tiempo.

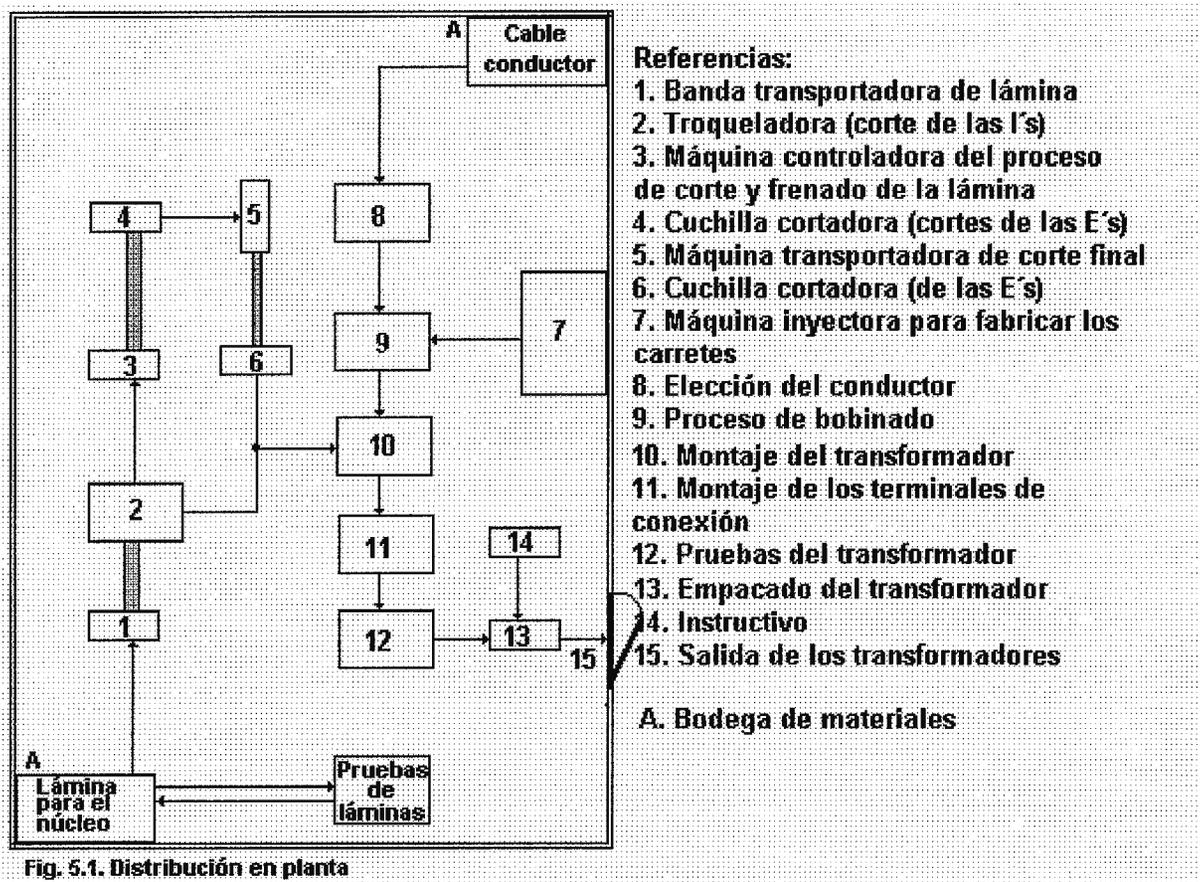
Condiciones tales como el área disponible para colocar la maquinaria, ubicación correcta de la línea de producción, entrada de los insumos para la producción, tiempo necesario en cada una de las etapas del proceso de producción, entre otros, determinarán la distribución en planta de la línea de producción del proceso para la fabricación de transformadores. En la figura 5.1. se muestra la disponibilidad en planta para el proceso de producción de transformadores en serie.

La distribución en planta de la línea productiva deberá estar conformada por todas las máquinas y materia prima para obtener los transformadores como producto final.

La implementación de la planta de producción representará un costo determinado según la calidad de las maquinas utilizadas en el proceso y de los insumos adquiridos, el cual tratará de recuperarse dentro de un plazo determinado a medida que se vaya vendiendo en el mercado el producto elaborado.

Una posibilidad de la planta de producción para el proceso de producción se muestra en la figura 5.1.; se menciona como posibilidad ya que las posiciones de la línea productiva pueden variar según el área disponible para conformar cada una de las etapas del proceso.

Como se mencionó anteriormente, en el área del local disponible para montar la planta piloto condicionará en gran medida las distancias entre cada una de las máquinas para la producción de los transformadores. Esta condición nos facilitará y ahorrará tiempo entre los procesos o etapas que conforman el proceso total de producción. Después de tener un diseño de las rutas que integran el proceso productivo es importante tomar en cuenta los requerimientos de energía dentro de la planta. Para ello habrá que considerar la potencia demandada en cada una de las máquinas durante un período de tiempo determinado, el cual puede ser por ejemplo de un mes [7].



Con estos datos de energía mas el costo de las máquinas y materia prima, y además, los insumos como local, costo de mano de obra, papelería, etc., puede hacerse un análisis de los costos y la inversión inicial para llevar a cabo un proyecto de este tipo, y también puede conocerse el tiempo necesario que puede transcurrir para recuperar la inversión inicial.

CAPITULO VI. Establecer los procesos que deben desarrollarse en otras disciplinas de la ingeniería relacionadas con la fabricación de transformadores secos. Consideraciones importantes dentro del proceso.

Existen otras disciplinas dentro de la ingeniería que se relacionan directamente con el proceso de fabricación de transformadores secos de baja tensión.

El hecho de que un transformador sea un dispositivo de carácter eléctrico no significa que no necesite del complemento de otras ramas de la ingeniería para llevar a cabo el proceso de construcción e implementación de una planta de producción.

Para ser más específicos, el proceso para la construcción de transformadores secos de baja tensión se relaciona con otras ramas de la ingeniería, aparte de la rama de ingeniería eléctrica, las cuales son:

- ⇒ La ingeniería Mecánica.
- ⇒ La ingeniería Industrial.
- ⇒ La ingeniería Electrónica.
- ⇒ Informática (programación de sistemas automatizados).

La ingeniería mecánica está directamente involucrada en el proceso de construcción de transformadores ya que los procesos como el troquelado, corte, pruebas de dureza de materiales, entre otros, son procesos de carácter mecánico. Por lo tanto, procesos como los anteriores involucran los respectivos análisis de fuerzas de las maquinas utilizadas, además de los criterios de diseño para la elección de los materiales para la construcción de elementos como el molde para troquelar y el cálculo de las dimensiones del mismo.

Para calcular las dimensiones del molde se hace uso de tablas con datos que nos determinarán el grosor de la matriz, el portamatriz y las medidas que serán proporcionales al material que se desee troquelar.

Sería aconsejable que las otras escuelas de la Universidad Don Bosco propusieran temas relacionados con procesos productivos, ya que actualmente casi no se proponen temas relativos a los mismos.

Los temas de procesos productivos no necesariamente tienen que ser temas relacionados con conceptos eléctricos; pueden ser relacionados con procesos mecánicos, procesos industriales, o combinación de procesos tales como procesos electromecánicos. También pueden incorporarse temas de electricidad que representen la continuación del tema estudiado en este documento.

Algunos de los temas que se podrían proponer dentro de procesos mecánicos son:

- a. Procesos metalúrgicos para obtener aceros aleados mejorados, tal como acero al silicio.
- b. Estudio del proceso para la fabricación de moldes especiales para inyección de plásticos.
- c. Estudio del proceso para la fabricación de los moldes especiales para troquelar.
- d. Procesos para el tratamiento térmico de aceros y otros metales.

Algunos de los temas que se podrían proponer como procesos industriales son:

- a. Estudio de la inversión y recuperación económica de procesos electromecánicos para la fabricación de transformadores.
- b. Estudio de inversión y recuperación económica de procesos electromecánicos para la fabricación de motores, generadores y equipos relacionados.

- c. Estudio de la distribución en planta de diversos procesos electromecánicos.

Dentro de los temas acerca de procesos electromecánicos se pueden sugerir:

- a. Estudio de procesos para la producción en serie de motores.
- b. Estudio de procesos de fabricación de equipos de soldadura TIG, MIG.
- c. Estudio de procesos para la producción en serie de contactores de potencia.
- d. Procesos para la producción en serie de fuente de baja tensión.
- e. Procesos para la producción en serie de capacitores.
- f. Procesos para la producción en serie de pilas de combustible.
- g. Estudio de fuentes alternas de energía y el desarrollo de los procesos de fabricación de componentes y sistemas basados en energía alternativas.

Existen más temas aparte de los ejemplos mencionados anteriormente, la sugerencia es que las autoridades competentes los envíen a las diversas escuelas de la Universidad Don Bosco para que puedan ser tratados como temas de graduación en el futuro.

6.1. Establecer las áreas de investigación y desarrollo tecnológico relacionadas con la fabricación de transformadores y máquinas eléctricas en general.

Del proceso de fabricación de transformadores en serie pueden surgir otras áreas de investigación y desarrollo de tecnología relacionadas. En nuestro país hay pocas áreas en las cuales se trate de desarrollar tecnología; la mayoría de los productos tecnológicos se importan de países como Estados Unidos, Alemania, Italia, Japón, Corea, Francia, entre otros, los cuales son países con un alto desarrollo tecnológico y que tienen sus plantas de producción en serie de productos tecnológicos como transformadores, motores, contactores, etc.

Cualquiera podría justificar que los países mencionados anteriormente nos llevan muchos años de adelanto con respecto al desarrollo de tecnología y que por ello tienen la capacidad para producir elementos con cierto grado de dificultad tecnológica; pero también países como China, Filipinas, Nueva Zelanda, Chile, Brasil, los cuales se consideran de un menor desarrollo tecnológico con respecto a los anteriores tienen diversas líneas productivas, por lo tanto no se puede considerar como excusa el hecho de que nuestro país no tenga líneas de producción de elementos tecnológicos como los mencionados. Nuestro país está en la capacidad de empezar a desarrollar los procesos productivos de transformadores, motores, capacitores, entre otros.

Por el momento se pueden comenzar proyectos de procesos productivos considerando siempre la compra de diversos insumos tales como cable conductor, lámina, barniz aislante, etc., los cuales posteriormente podrían desarrollarse directamente en la planta industrial de los procesos productivos; pero como un inicio del desarrollo de procesos productivos en nuestro país puede considerarse aceptable la opción de comprar algunos insumos tales como los mencionados anteriormente.

Algunas de las áreas relacionadas con la fabricación de transformadores y máquinas eléctricas en general son:

- a. Procesos para la producción en serie de motores eléctricos.
- b. Procesos para la producción en serie de contactores de potencia.
- c. Procesos para la producción en serie de fuentes de voltaje de baja tensión.
- d. Procesos para la producción en serie de soldadores de arco y del tipo TIG o MIG.
- e. Procesos para la producción en serie de transformadores de alta potencia, con dieléctricos de aceite.

- f. Procesos para la producción en serie de elementos utilizados en subestaciones eléctricas: pararrayos, fusibles de alta tensión, barras de transferencia de alta tensión, abrazaderas y elementos de sujeción para subestaciones eléctricas, etc.
- g. Procesos para la producción de paneles de transferencia de energía.
- h. Metalurgia y siderurgia. Tomando en cuenta que el suministro local de lámina de acero al silicio tanto troquelada como sin troquelar es casi inexistente a nivel nacional y por otro lado la importación de estos materiales de los países que lo producen significaría una dependencia tecnológica del proceso de fabricación que nos ocupa. Por esta razón es de vital importancia desarrollar los procesos de elaboración de aceros en el país tanto a nivel de reciclaje como a nivel de convertidores.
- i. Los conductores utilizados para la fabricación de las bobinas no son fabricados localmente, al menos por empresas netamente nacionales. Esto involucra la necesidad de desarrollar procesos locales de refinamiento, trefilación y aislamiento de conductores. El suministro de la materia prima, el cobre, podría depender de la importación de alambro o bien elaborarlo localmente mediante procesos de reciclaje y purificación del metal lo que conduciría a disminuir aún más los costos y la dependencia tecnológica.
- j. El desarrollo de tecnologías para la fabricación de maquinarias industriales automatizadas para la construcción de las máquinas necesarias para estos procesos y para otros en otros campos de la industria.

Esto nos permitiría insertarnos en un comercio y en una industria globalizada en forma competitiva.

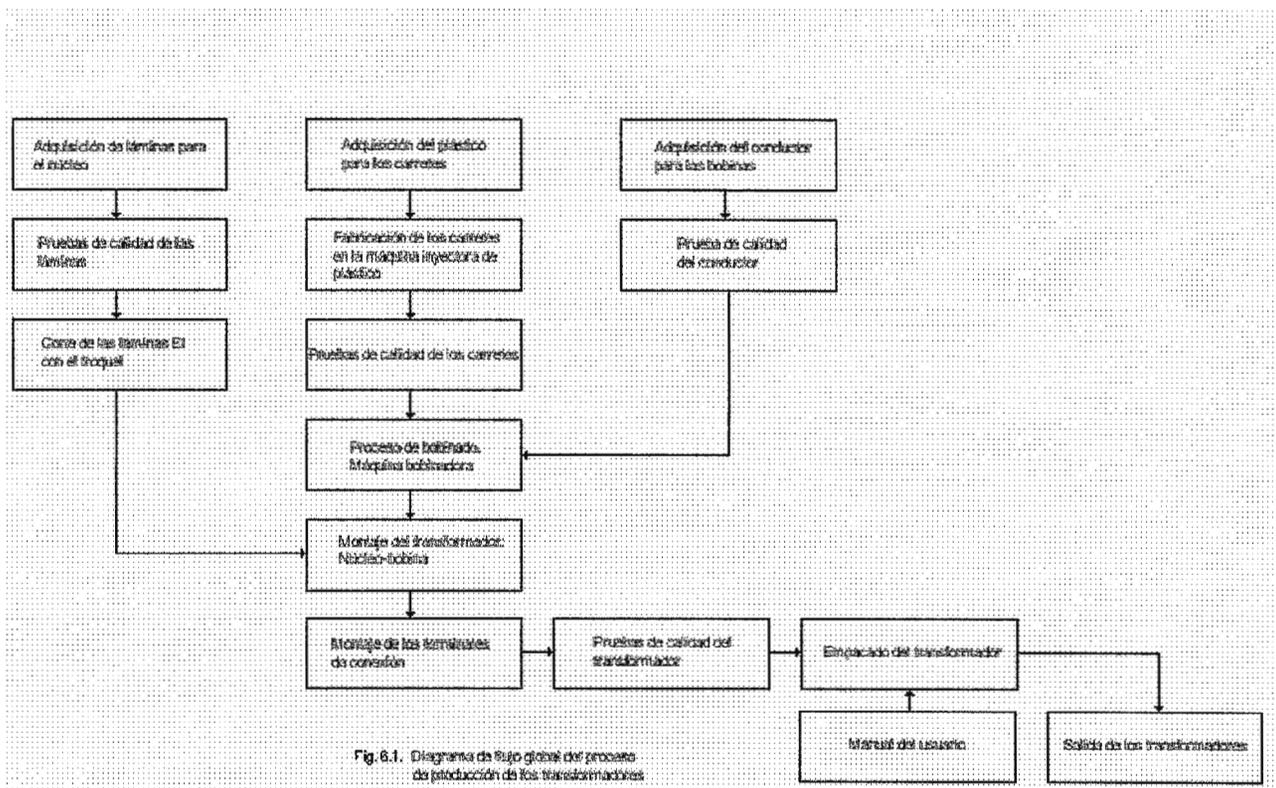
Se mencionan sólo algunos ejemplos sugeridos; también se pueden estudiar temas para elementos de líneas de distribución de alta tensión como los son cruceros, abrazaderas, aisladores, pernos, cables para retenidas, etc.

6.2. Diagrama de flujo global del proceso de Producción de Transformadores [7].

Es importante establecer un diagrama de flujo del proceso de producción de transformadores para conocer la ruta que seguirá cada uno de los materiales que conformará el transformador.

Es muy importante saber la ruta que conforma el proceso productivo de transformadores, la cual puede variar al momento de ejecutarse el proceso, aunque siempre se hará bajo los mismos lineamientos por lo cual será muy importante el diagrama de flujo para conocer exactamente la ruta que llevará el proceso, y además, facilitará la relación de los cálculos del análisis de costos.

A continuación, en la figura 6.1., se muestra el diagrama de flujo del proceso de producción de transformadores:



6.3. Diagrama de flujo para el proceso de construcción del núcleo.

Se puede describir el diagrama de flujo del proceso de construcción del núcleo, ya que esta es uno de los procesos claves para el éxito de la elaboración de un proyecto para la fabricación de transformadores.

Debemos recordar que se puede diseñar algún proceso productivo, independientemente de que éste sea para producir transformadores, pero en el momento de construir las máquinas que conforman el proceso se irán haciendo los cambios necesarios en las mismas, ya que siempre que se construye algún tipo de máquina nunca va quedando como se había previsto originalmente y por lo tanto hay que agregar o quitar algunos elementos necesarios para perfeccionar las maquinarias, siguiendo desde luego los lineamientos del diseño original. Lo que si es muy importante es que se vaya cumpliendo la mayor parte de nuestro diseño original y así se puedan hacer todas las correcciones necesarias para tener unas máquinas lo más eficiente y seguras que nos puedan garantizar un producto terminado en el menor tiempo posible, o sea un nivel alto de producción con productos altamente competitivos.

A continuación se muestra el diagrama de flujo, del proceso necesario para la construcción de los núcleos de los transformadores, el cual está conformado de acuerdo a todos los pasos de diseño que se han descrito anteriormente en el presente trabajo (véase la figura 6.2.).

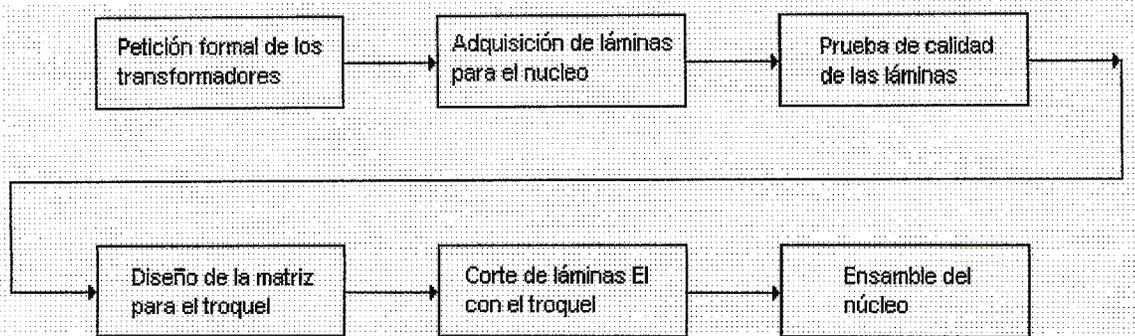


Fig. 6.2. Diagrama de flujo del proceso de producción del núcleo de transformadores

A continuación se muestra un diagrama esquemático del proceso de producción del núcleo de los transformadores. Véase la figura 6.3. Siempre se tomará como ejemplo el transformador que ha servido de base para los diferentes cálculos de diseño.

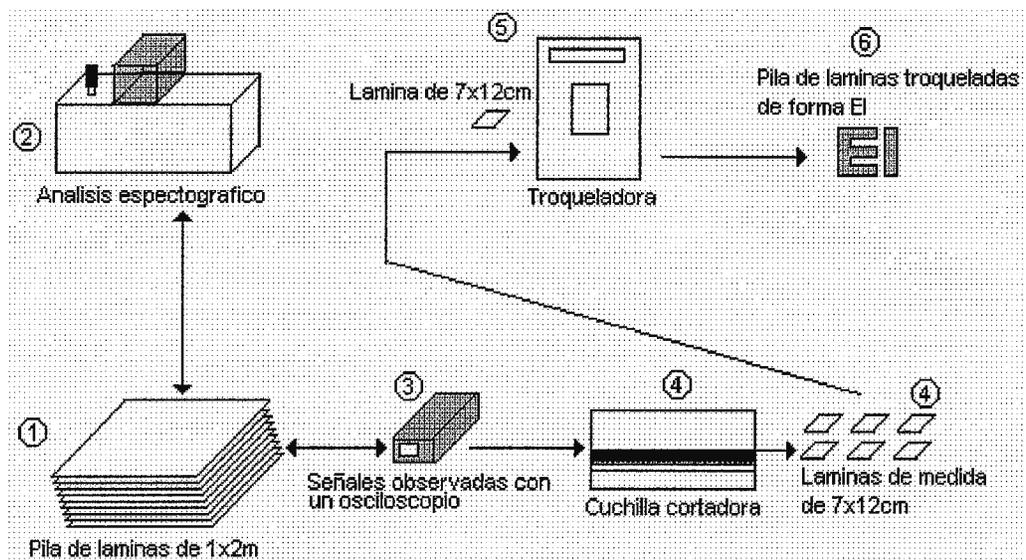


Fig. 6.3. Diagrama esquemático del proceso de producción del núcleo de los transformadores

El proceso que se muestra en la figura 6.3. se puede comprender detallando cada uno de los literales que se observan en el diagrama tal y como se muestra:

1. Adquisición de las láminas para el núcleo.
2. Elaboración del análisis espectrográfico.
3. Análisis ferromagnético.
4. Corte de las laminillas haciendo uso de la cuchilla cortadora.
5. Obtención de laminillas. Traslado hacia la troqueladora.
6. Corte de los núcleo EI con la troqueladora.
7. Obtención de la pila de láminas EI.

Vale mencionar que siempre se ha tomado como referencia, para el proceso constructivo, el núcleo que se muestra en la figura 4.1. Esto no significa que el proceso no pueda adaptarse a otros tipos de medidas o formas de núcleos dentro de algunas limitantes y/o condiciones tales como:

- El proceso es para transformadores secos de baja tensión.
- El proceso aplicará para las formas más comunes de núcleos: EI, E, F.

6.4. Beneficios objetivos del trabajo [7].

Con el desarrollo de este trabajo se obtendrán muchos beneficios ya que el trabajo tiene un buen aporte de investigación.

Entre los beneficios objetivos del trabajo se pueden destacar:

- Se conocerá el proceso para lograr la producción en serie de transformadores de baja tensión.
- Se conocerá el funcionamiento de varios tipos de máquinas implicadas en procesos industriales.
- Se podrá establecer el proceso de adquisición de los diversos materiales utilizados en la fabricación en serie de transformadores secos de baja tensión.

- Se determinarán los procesos de control de calidad para los diversos materiales y maquinarias involucradas en el proceso productivo.
- Se establecerá la distribución en planta de la línea productiva para transformadores secos de baja tensión.
- La elaboración del instructivo que incluya las conexiones y características técnicas para transformadores.

CONCLUSIONES.

- Para llevar a cabo la producción industrial de máquinas eléctricas es necesario resolver un problema clave o estratégico el cual consiste en la elaboración para aceros magnéticos, o sea los procesos de producción de aceros con características magnéticas para máquinas eléctricas.
- También se deben desarrollar procesos de laminación de aceros para producir láminas desde 0.25 hasta 1 mm de espesor, a nivel local. Mientras este problema no sea resuelto, la fabricación de máquinas eléctricas no será económica ni viable, por tal motivo es necesario el desarrollo de un trabajo de graduación en tal sentido.
- Existe información bibliográfica al respecto, tanto para la fabricación de acero como para la fabricación de materiales magnéticos, y está disponible mediante el pago correspondiente en la siguiente dirección de INTERNET:
<http://www.imrmall.com/free-scrpts/bcc-gen-toc.pl?0002&0136>
- Los departamentos dentro de la Universidad Don Bosco pueden proponer temas relacionados con procesos electromecánicos, tales como: Análisis de costos, para Ingeniería Industrial; automatización, para Ingeniería Mecánica.
- También existen otros temas que deben ser tratados por especialistas en la materia. Un tema muy importante es el de moldes de inyección y matrices para troquelar material. Debido a la importancia y amplitud del tema es necesario la realización de su respectivo estudio, los cuales pueden ser llevados por parte de la escuela de Ingeniería Mecánica o Industrial. Debido a la amplitud de estos temas, no se pudieron tratar con mayor énfasis dentro de este documento.

- También el tema de los materiales plásticos debe ser considerado un tema en particular, y el cual debe ser tratado por especialistas, por ejemplo la escuela de Ortopedia.

GLOSARIO.

- **Alta Tensión:** Niveles de voltaje relativamente altos. Se consideran niveles de alta tensión desde los 600V en adelante.
- **Baja Tensión:** Se refiere a niveles de voltaje relativamente bajos. Los niveles de tensión comerciales que se conocen como niveles de baja tensión son: 110V, 220V, 380V, 440V.
- **Control de Calidad:** Son las diversas pruebas que se le hacen a un producto para verificar si satisface los estándares de fabricación previamente establecidos.
- **Carrete:** Pieza de material plástico o de cartón, en la cual se enrollan los devanados de las bobinas de los transformadores.
- **Espectrometría:** Prueba que se realiza para conocer la composición química de un material determinado.
- **Espectrómetro:** Aparato utilizado para realizar la prueba espectrométrica o de la composición química de un material.
- **Fusible:** Filamento de un material determinado que sirve para proteger un transformador en caso de sobrecorrientes en el mismo.
- **Husillo:** Parte de una máquina inyectora de plástico que se encarga de derretir el plástico e inyectarlo en el molde de inyección.
- **Inyectora de Plástico:** Máquina que se utiliza para conformar piezas de plástico por medio de la inyección del material plástico fundido en un molde o matriz de inyección.
- **Laminado:** Proceso que consiste en deformar un material por el pasaje del mismo a través de una serie de cilindros que giran en sentido contrario entre sí, de tal manera que el material se desbasta hasta reducir su espesor y obtener una tira de lámina.
- **Osciloscopio:** Equipo utilizado para observar diversas formas de señales en una pantalla calibrada.

- Prueba Brinell: Prueba de dureza que se realiza en un material para conocer el nivel de dureza que este posee.
- Prensa: Parte que sostiene al molde en una máquina inyectora.
- Rizado: Variación de temperatura o voltaje con respecto a un nivel determinado.
- Soldador: Aparato utilizado para unir piezas metálicas entre sí.
- Troquel: Matriz conformada por una parte macho y una parte hembra que se utiliza para cortar lámina o la conformación de piezas con una forma previamente establecida.
- Unidad de Inyección: Parte de una máquina inyectora de plástico que efectúa la alimentación, la plastificación y la inyección al molde de la máquina.
- Vickers: Ensayo o prueba del nivel de dureza de un material.

BIBLIOGRAFÍA.

Nota: Durante todo el trabajo se hace referencia al material bibliográfico utilizado para la realización de este documento. Cuando el lector encuentre un número entre corchetes y en negrilla, puede remitirse a la bibliografía para observar la fuente de referencia. Por ejemplo: **[7]** indica que se puede hacer referencia a la bibliografía, para observar la procedencia de donde se ha redactado el material descrito en esa parte del documento.

[1] www.manelcatra.com Página web.

[2] Diseño de Transformadores Scott: Garay, Juan Marcelo; Tesis de Técnico en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Don Bosco. 1988.

[3] Transformers e Inductors Design Hand Book: McLyman, Colonel; Estados Unidos. 1978.

[4] www.comercialdf.com Página web.

[5] Conductores. Material Bibliográfico de Capacitaciones. Universidad Don Bosco.

[6] Ensayo Brinell y Vickers: Guías de Laboratorio del Departamento de Mecánica de la Universidad Don Bosco. 1988.

[7] Material Bibliográfico Original del Autor con Apoyo de Diversidad de Material Bibliográfico. Monroy Morales, Wilfredo. 2000-2001.

[8] Principios Fundamentales para el Diseño de Herramientas: Wilson, Frank; Compañía Editorial Continental.

[9] Enciclopedia del Plástico. Tomos I y III. Materias Primas. Procesos. Instituto Mexicano del Plástico. México. 2000.

668.41 E56 2000

[10] Metalografía y Tratamiento Térmico de los Metales: Lajtin, Yum; Editorial Mir, Moscú. 1985.

[11] Material Bibliográfico. Universidad Don Bosco. 1997.

[12] Manual de Prácticas de laboratorio de la Materia Conversión de la Energía Electromecánica I. Universidad Don Bosco. Enero 2000-2001.

[13] Recommended Practice for Electric Power Systems in Commercial Buildings: IEEE. 1991.

621.313159 1991

[14] Manual Técnico de Funcionamiento del Espectrómetro de Precisión. Universidad Don Bosco.

[15] Diseño de Sistemas Auxiliares para el Mejoramiento en el Funcionamiento de una Inyectora de Plástico del Polígono industrial Don Bosco. Granados Paz, Alex; Universidad Don Bosco. 1999.

[16] ¿Qué es Control de Calidad?: Ishikawa, Kaoru; Editorial Norma, Colombia. 1994.

[17] Página web de buscador de Yahoo.

[18] Material Bibliográfico de la Materia Diseño de Equipo Eléctrico. Ing. Anselmo Valdizón. Universidad Don Bosco. 2001.

[19] <http://www.urueco.org.uy/menu/recuperacion.htm>. Página web.

[20] <http://www.ciu.com.uy/boletinelectronico/..%5C..%5Cbi/cempre/1079.html>.
Página web.

[21] Manual de Ingeniería Eléctrica, Tomo I: Fink, Donald G./ Wayne, Beaty H.; Editorial McGraw-Hill, Naucalpan de Juárez, México. 1996.

ANEXOS.

Anexo 1: Medidas de láminas monofásicas y trifásicas.

Anexo 2: Curva Potencia contra Area.

Anexo 3: Tablas utilizadas para el diseño estándar de transformadores de baja tensión.

Anexo 4: Datos obtenidos en las pruebas espectrométricas.

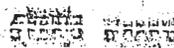
Anexo 5: Propiedades físicas del acero SAE.

Anexo 6: Detalles de la máquina para la prueba de dureza Hard Brinell.

Anexo 7: Tablas utilizadas para realizar la prueba de dureza Hard Brinell.



Manelca - Electrónica Trafoval
Somos un grupo de empresas con amplia experiencia en el mercado de transformadores y materiales eléctricos. La calidad de exportación se hace presente en todos nuestros productos, debido a que contamos con un personal técnico altamente calificado, asegurando un riguroso y excelente control de calidad, basado en las normas internacionales.

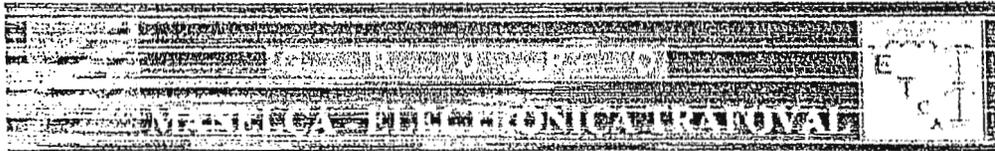


Transformadores Materiales
E- Mail

Información

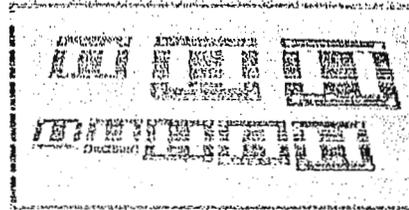
Dirección: Av Ppal Paraparal, CC Tutankamon G1 - Via Los Guayos
Carabobo - Venezuela
TeleFax (0058) 45 - 71 91 74, 71.61.65, 149 - 40 81 14, 41.92 50

Diseñada por Ingenet



Láminas Monofásicas Tipo EI

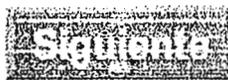
Para transformadores de baja potencia, lámina de espesor 0,5 mm. con pérdidas desde 1.3 W/Kg hasta 2.3 W/Kg a 50 Hz
 Monofásico: Columna Central 19-13-15-19-22-25-28-32-36-40-45-50-60-64-80-100



LAMINAS MONOFASICAS EI

DIMENSIONES (mm)

TIPO	A	B	C	D	E	F	G	Kg.cm.
EI	40	34	13	7	20	-	-	0.085
EI	48	40	16	8	24	-	-	0.108
EI	57	47.5	19	9.5	28.5	-	-	0.145
EI	66	55	22	11	33	44	55	0.230
EI	68	58	22	12	34	46	57	0.240
EI	75	62.5	25	12.5	37.5	50	62.5	0.290
EI	84	70	28	14	42	56	70	0.350
EI	96	80	32	16	48	64	80	0.480
EI	108	90	36	18	54	72	90	0.598
EI	120	100	40	20	60	80	100	0.735
EI	135	112.5	45	22.5	67.5	90	112.5	0.935
EI	150	125	50	25	75	100	125	1.138
EI	180	150	60	30	90	120	150	1.660
EI	192	160	64	32	96	128	160	1.850
EI	240	200	80	40	120	160	200	2.870
EI	300	250	100	50	150	200	250	4.600



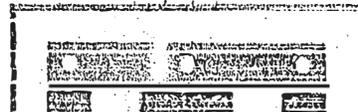
Inicio Transformadores Materiales

E-Mail

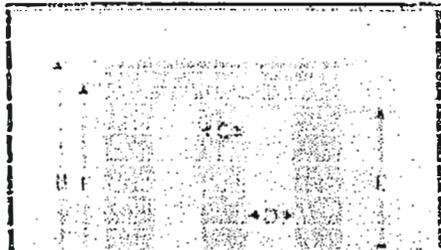


Láminas Trifásicas Tipo EIT

Para transformadores de baja potencia, lámina de espesor 0.5 mm. con pérdidas desde 1.3 W/Kg hasta 2.3 W/Kg a 50 Hz



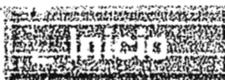
Trifásico: Formato 125x125 - 150x150 - 200x200 - 250x250 - 300x300 - 350x350 - 400x400 - 500x500



LAMINAS TRIFASICAS EIT

DIMENSIONES (mm)

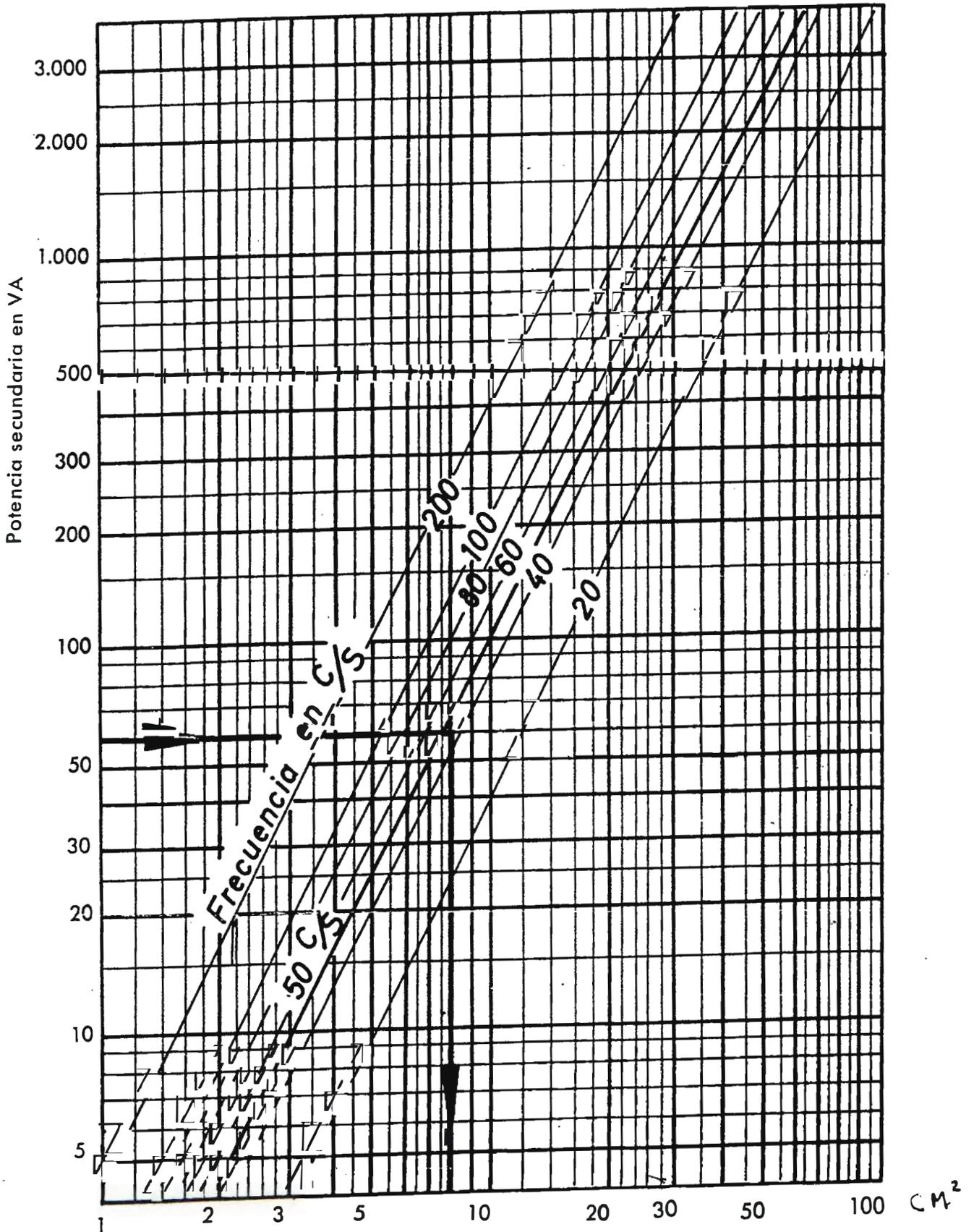
TIPO	A	B	C	D	E	F	G	Kg.cm.
EIT	125	125	25	25	75	100	100	0.900
EIT	150	150	30	30	90	120	120	1.290
EIT	200	200	40	40	120	160	160	2.297
EIT	250	250	50	50	150	200	200	3.596
EIT	300	300	60	60	180	240	240	5.162
EIT	350	350	70	70	<u>210</u>	<u>280</u>	<u>280</u>	7.037
EIT	400	400	80	80	240	320	320	9.235
EIT	500	500	100	100	300	400	400	14.720



Inicio Transformadores Materiales

E-Mail

3.2.5 ABACO #1



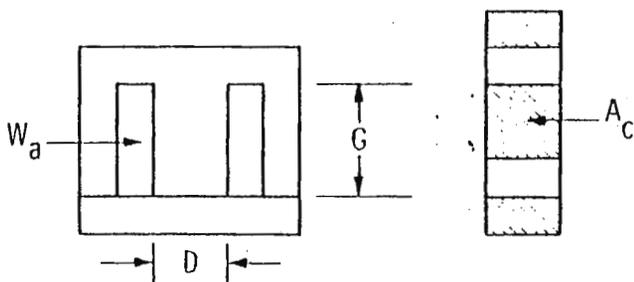


Fig. 2-2. EI lamination

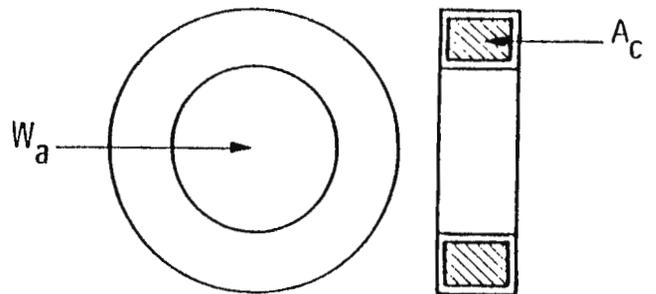


Fig. 2-4. Tape-wound toroidal core

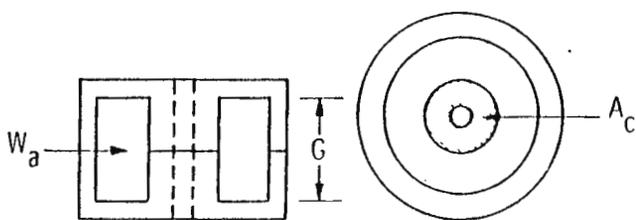


Fig. 2-3. Pot core

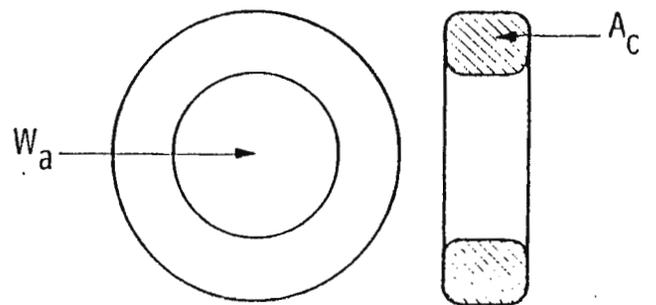


Fig. 2-5. Powder core

Table 2-1. Core configuration constants

Core	Losses	K_j (25°C)	K_j (50°C)	(x)	K_s	K_w	K_v
Pot core	$P_{cu} = P_{fe}$	433	632	-0.17	33.8	48.0	14.5
Powder core	$P_{cu} \gg P_{fe}$	403	590	-0.12	32.5	58.8	13.1
Lamination	$P_{cu} = P_{fe}$	366	534	-0.12	41.3	68.2	19.7
C-core	$P_{cu} = P_{fe}$	323	468	-0.14	39.2	66.6	17.9
Single-coil	$P_{cu} \gg P_{fe}$	395	569	-0.14	44.5	76.6	25.6
Tape-wound core	$P_{cu} = P_{fe}$	250	365	-0.13	50.9	82.3	25.0
$J = K_j A_p^{(x)}$ $W_t = K_w A_p^{0.75}$		$A_t = K_s A_p^{0.50}$ $Vol = K_v A_p^{0.75}$					

Definitions for Table 2-2

Information given is listed by column as:

1. Manufacturer part number (Magnetic Inc.)*
2. Surface area calculated from Figure 2-22
3. Area product effective iron area times window area
4. Mean length turn
5. Total number of turns and wire size using a window utilization factor $K_u = 0.40$
6. Resistance of the wire at 50°C
7. Watts loss is based on Figure 7-2 for a ΔT of 25°C with a room ambient of 25°C surface dissipation times the transformer surface area, total loss is P_{cu}
8. Current calculated from column 6 and 7
9. Current density calculated from column 5 and 8
10. Resistance of the wire at 75°C
11. Watts loss is based on Figure 7-2 for a ΔT of 50°C with a room ambient of 25°C surface dissipation times the transformer surface area, total loss is P_{cu}
12. Current calculated from column 10 and 11
13. Current density calculated from column 5 and 12
14. Effective core weight for molypermalloy powder plus copper weight in grams
15. Transformer volume calculated from Figure 2-6
16. Core effective cross-section

*Other Manufacturers
Arnold Engineering

Table 2-2. Powder core characteristics

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Core	$A_t \text{ cm}^2$	$A_p \text{ cm}^4$	MLT cm	$\frac{N}{\text{AWG}}$	$\Omega @ 50^\circ\text{C}$	P_Σ	$I = \sqrt{\frac{W}{\Omega}}$	$\frac{\Delta T 25^\circ\text{C}}{J = 1/\text{cm}^2}$	$\Omega @ 75^\circ\text{C}$	P_Σ	$I = \sqrt{\frac{W}{\Omega}}$	$\frac{\Delta T 50^\circ\text{C}}{J = 1/\text{cm}^2}$	Weight l_e Cu	Volume cm^3	$A_c \text{ cm}^2$
1	55051	6.569	0.0432	2.16	86 25	0.215	0.216	1.00	617	0.236	0.503	1.46	299	3.1 2.71	1.39	0.113
2	55121	11.24	0.139	2.74	160 25	0.513	0.369	0.848	522	0.563	0.861	1.23	762	6.8 6.3	3.11	0.196
3	55848	15.69	0.264	2.97	257 25	0.897	0.519	0.761	469	0.985	1.211	1.11	683	10 11.3	5.07	0.232
4	55059	20.02	0.460	3.45	316 25	1.27	0.657	0.719	443	1.39	1.533	1.05	647	16 16.3	7.28	0.327
5	55894	28.32	0.997	4.61	351 25	1.87	0.924	0.703	433	2.06	2.16	1.02	631	36 23.2	12.4	0.639
6	55586	44.24	1.83	4.32	902 25	4.69	1.46	0.558	344	5.15	3.40	0.812	500	35 50.9	23.3	0.458
7	55071	40.68	1.95	4.80	656 25	3.70	1.34	0.602	371	4.07	3.13	0.877	540	47 47.4	21.0	0.666
8	55076	46.91	2.44	4.88	815 25	4.71	1.55	0.574	353	5.17	3.61	0.814	518	52 61.0	25.7	0.670
9	55083	61.05	4.53	6.07	959 25	6.84	2.00	0.541	333	7.50	4.68	0.790	487	92 86.0	39.1	1.06
10	55090	81.58	8.06	6.66	1372 25	10.8	2.68	0.498	307	11.8	6.26	0.728	449	131 140	59.5	1.32
11	55430	79.37	8.33	7.62	959 25	8.49	2.60	0.553	341	9.32	6.08	0.807	497	182 100	58.1	1.95
12	55716	91.32	9.32	6.50	1684 25	13.0	3.00	0.480	296	14.3	7.00	0.699	431	133 170	69.0	1.24
13	55110	112.4	13.65	7.00	2125 25	17.8	3.72	0.457	282	19.6	8.68	0.665	410	176 226	93.4	1.44

copper loss \gg iron loss

Definitions for Table 2-3

Information given is listed by column as:

1. Manufacturer part number (Siemens)*
2. Surface area calculated from Figure 2-22
3. Area product effective iron area times window area
4. Mean length turn
5. Total number of turns and wire size using a window utilization factor $K_u = 0.40$
6. Resistance of the wire at 50° C
7. Watts loss is based on Figure 7-2 for a ΔT of 25° C with a room ambient of 25° C surface dissipation times the transformer surface area, total loss is equal to $2 P_{cu}$
8. Current calculated from column 6 and 7
9. Current density calculated from column 5 and 8
10. Resistance of the wire at 75° C
11. Watts loss is based on Figure 7-2 for a ΔT of 50° C with a room ambient of 25° C surface dissipation times the transformer surface area, total loss is equal to $2 P_{cu}$
12. Current calculated from column 10 and 11
13. Current density calculated from column 5 and 12
14. Effective core weight for ferrite plus copper weight in grams
15. Transformer volume calculated from Figure 2-6
16. Core effective cross-section

*Other Manufacturers

Magnetic Inc
Ferroxcube
Allen-Bradley
Indiana General
TDK Ferrites

Table 2-3. Pot core characteristics

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Core	A_c cm ²	A_p cm ⁴	MLT cm	N AWG	$R @ 50^\circ C$	P_Σ	$i = \sqrt{\frac{W}{R}}$	$\Delta T 25^\circ C$ $J = I/cm^2$	$R @ 75^\circ C$	P_Σ	$i = \sqrt{\frac{W}{R}}$	$\Delta T 50^\circ C$ $J = I/cm^2$	Weight lb	Volume cm ³	A_c cm ²
1	5 x 5	2.23	0.0065	1.85	25 30	0.175	0.019	0.529	1044	0.192	0.230	0.774	1527	0.8 0.32	0.367	0.10
2	11 x 7	4.35	0.0152	2.2	37 30	0.309	0.130	0.459	904	0.339	0.304	0.670	1322	1.7 0.48	0.662	0.16
3	14 x 8	6.76	0.0323	2.8	74 30	0.737	0.208	0.363	716	0.364	0.487	0.531	1048	3.2 0.98	1.35	0.25
4	18 x 11	11.3	0.114	3.56	143 30	1.734	0.339	0.296	584	2.12	0.791	0.432	853	6.0 2.37	2.78	0.43
5	22 x 13	17.0	0.246	4.4	207 30	3.46	0.510	0.271	535	3.80	1.190	0.396	782	13 4.30	5.17	0.63
6	26 x 15	23.7	0.498	5.2	26 25	0.592	0.717	0.778	479	0.650	1.67	1.13	696	21 7.5	8.65	0.94
7	30 x 17	32.8	1.016	6.0	144 25	1.024	0.984	0.693	427	1.12	2.30	1.01	622	36 12.9	13.9	1.36
8	36 x 22	44.8	2.01	7.3	189 25	1.636	1.34	0.639	394	1.79	3.14	0.937	577	57 20.8	22.0	2.01
9	47 x 28	76.0	5.62	9.3	345 25	3.81	2.28	0.547	337	4.18	5.32	0.798	492	125 48.0	48.6	3.12
10	59 x 36	122.0	13.4	12.0	608 25	8.65	3.66	0.459	283	9.50	8.54	0.670	413	270 109	98.3	4.85

copper loss = iron loss.

Definitions for Table 2-4

Information given is listed by column as:

1. Manufacturer part number (Magnetic Metals) *
2. Surface area calculated from Figure 2-23
3. Area product effective iron area times window area
4. Mean length turn on one bobbin
5. Total number of turns and wire size for one bobbin using a window utilization factor $K_u = 0.40$
6. Resistance of the wire at 50°C
7. Watts loss is based on Figure 7-2 for a ΔT of 25°C with a room ambient of 25°C surface dissipation times the transformer surface area, total loss is equal to $2 P_{cu}$
8. Current calculated from column 6 and 7
9. Current density calculated from column 5 and 8
10. Resistance of the wire at 75°C .
11. Watts loss is based on Figure 7-2 for a ΔT of 50°C with a room ambient of 25°C surface dissipation times the transformer surface area, total loss is equal to $2 P_{cu}$
12. Current calculated from column 10 and 11
13. Current density calculated from column 5 and 12
14. Effective core weight for silicon plus copper weight in grams
15. Transformer volume calculated from Figure 2-7
16. Core effective cross-section (thickness, 0.014) square stack

*Other Manufacturers
 Arnold Engineering
 Thomas and Skinner
 Tempel Steel Co.
 Magnetic Inc.

Table 2-4. Lamination characteristics

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Core	$A_t \text{ cm}^2$	$A_p \text{ cm}^4$	MLT cm	$\frac{N}{\text{AWG}}$	$\Omega @ 50^\circ\text{C}$	P_Σ	$I = \sqrt{\frac{W}{\Omega}}$	$\frac{\Delta T 25^\circ\text{C}}{J = 1/\text{cm}^2}$	$\Omega @ 75^\circ\text{C}$	P_Σ	$I = \sqrt{\frac{W}{\Omega}}$	$\frac{\Delta T 50^\circ\text{C}}{J = 1/\text{cm}^2}$	Weight (W , C_u)	Volume cm^3	$A_c \text{ cm}^2$
1	EE-3031	4.07	0.0088	1.72	90 30	0.58	0.123	0.323	638	0.645	0.288	0.472	932	1.02 1.02	0.651	0.0502
2	EE-2829	6.53	0.0228	2.33	147 30	1.30	0.199	0.276	546	1.43	0.464	0.403	795	2.14 1.57	1.35	0.0907
3	EI-187	14.2	0.108	3.20	314 30	3.82	0.432	0.237	469	4.19	1.01	0.347	685	7.07 3.08	4.34	0.204
4	EE-2425	23.3	0.291	5.08	498 30	9.61	0.714	0.192	380	10.5	1.67	0.281	555	15.3 1.06	9.22	0.363
5	EE-2627	38.5	0.906	5.79	245 25	1.68	1.22	0.602	371	1.85	2.84	0.876	540	45.4 15.5	19.1	0.816
6	EI-375	46.2	1.23	6.30	350 25	2.62	1.43	0.522	322	2.87	3.34	0.762	470	41.7 24.7	25.3	0.816
7	EI-50	53.2	1.75	7.09	263 25	2.21	1.73	0.625	385	2.43	4.04	0.912	562	70.6 31.7	36.8	1.45
8	EI-21	62.1	2.36	7.57	372 25	3.34	1.98	0.544	335	3.66	4.62	0.793	489	79.3 41.0	39.2	1.45
9	EI-625	83.2	4.29	8.84	503 25	5.27	2.70	0.505	312	5.79	6.30	0.737	455	173 44.4	60.0	2.27
10	EI-75	120.0	8.89	10.6	211 20	0.826	3.90	1.54	296	0.906	9.10	2.24	432	312 105	104.0	3.27
11	EI-87	163.0	16.5	12.3	296 20	1.34	5.28	1.40	270	1.48	12.3	2.04	393	481 135	164.0	4.45
12	EI-100	213.0	28.1	14.5	386 20	2.07	6.90	1.29	249	2.27	16.1	1.88	363	712 241	246.0	5.81
13	EI-112	270.0	44.9	16.0	492 20	2.91	8.76	1.23	237	3.19	20.4	1.79	344	1029 342	350.0	7.34
14	EI-125	333.0	68.7	17.7	625 20	4.09	10.8	1.15	222	4.49	25.3	1.68	324	1414 460	481.0	9.07
15	EI-138	403.0	107.0	19.5	740 20	5.33	13.0	1.10	213	5.85	30.2	1.61	310	1880 680	629.0	11.6
16	EI-150	473.0	143.0	21.2	893 20	6.99	15.5	1.05	203	7.67	36.3	1.54	296	2457 706	829.0	13.1
17	EI-175	742.0	263.0	24.7	1080 20	9.85	21.1	1.034	199	10.8	49.3	1.51	291	3906 1273	1312.0	17.8
18	EI-36	649.0	324.0	26.5	1701 20	16.6	23.3	0.836	161	18.3	54.5	1.22	235	3575 2355	1654.0	15.3
19	EI-19	1069.0	601.0	31.7	2886 20	33.8	32.8	0.696	134	37.1	76.5	1.015	196	4889 3805	2875.0	17.8

copper loss = iron loss

Information given is listed by column as:

1. Manufacturer part number (Arnold Engineering Co.)*
2. Surface area calculated from Figure 2-24
3. Area product effective iron area times window area
4. Mean length turn on one bobbin
5. Total number of turns and wire size for two bobbins using a window utilization factor $K_u = 0.40$
6. Resistance of the wire at 50°C
7. Watts loss is based on Figure 7-2 for a ΔT of 25°C with a room ambient of 25°C surface dissipation times the transformer surface area, total loss is equal to $2 P_{cu}$
8. Current calculated from column 6 and 7
9. Current density calculated from column 5 and 8
10. Resistance of the wire at 75°C
11. Watts loss is based on Figure 7-2 for a ΔT of 50°C with a room ambient of 25°C surface dissipation times the transformer surface area, total loss is equal to $2 P_{cu}$
12. Current calculated from column 10 and 11
13. Current density calculated from column 5 and 12
14. Effective core weight for silicon plus copper weight in grams
15. Transformer volume calculated from Figure 2-8
16. Core effective cross-section

*Other Manufacturers
 Magnetic Metals
 National Magnetics
 Westinghouse
 Magnetic Inc.

Características de los Materiales Sometidos a la Prueba Espectrométrica.

Lámina UDB

Lámina comprada en DDELCO

Voltaje: No aplica

Corriente: No aplica

Tamaño aproximado de la muestra: 5cm²

Fecha de realización de la prueba: nov/8/2000

Parámetro destacado de la muestra: Porcentaje alto de hierro; porcentaje pequeño de silicio; posee otro tipo de impurezas.

Lámina UDB 2

Lámina de transformador de origen chino

Voltaje: 120/12 voltios

Corriente: 1A

Tamaño aproximado de la muestra: 3cm²

Fecha de realización de la prueba: nov/17/2000

Parámetro destacado de la muestra: Porcentaje alto de hierro; porcentaje moderado de silicio.

Lámina UDB 3

Lámina de transformador de origen norteamericano

Voltaje: 120/24/18/12 voltios

Corriente: Variable según el devanado del secundario

Tamaño aproximado de la muestra: 3.5cm²

Fecha de realización de la prueba: nov/17/2000

Parámetro destacado de la muestra: Porcentaje alto de hierro; aproximadamente un 2% de silicio.

Muestra 2

Lámina de transformador de baja potencia

Voltaje: 220/24/12 voltios

Corriente: Variable según el devanado del secundario

Tamaño aproximado de la muestra: 21cm²

Fecha de realización de la prueba: mar/23/2001

Parámetro destacado de la muestra: Porcentaje moderado de hierro y de silicio.

Muestra 3

Lámina de transformador de baja potencia

Corriente: Variable según el devanado del secundario

Tamaño aproximado de la muestra: 14cm²

Fecha de realización de la prueba: mar/23/2001

Parámetro destacado de la muestra: Porcentaje moderado de hierro y de silicio.

Muestra 4

Lámina del rotor de un motor monofásico

Voltaje del motor: 110 voltios

Corriente: Aproximadamente 2A

Tamaño aproximado de la muestra: 10cm²

Fecha de realización de la prueba: mar/23/2001

Parámetro destacado de la muestra: Porcentaje moderado de hierro y alto porcentaje de silicio.

Muestra 5

Material: Lámina de transformador fabricado en la UDB de origen alemán

Voltaje: 220/24 voltios

Corriente: Aproximadamente 10A

Tamaño aproximado de la muestra: 30cm²

Fecha de realización de la prueba: mar/23/2001

Parámetro destacado de la muestra: Porcentaje moderado de hierro y alto porcentaje de silicio.

CONT

AN= 36 TAN= 875

Date Nov-08-00 Time 15:5

ST-No.:LAS

AG-No.:LAS

[Lamina UDB

LÁMINA DE DIELECTRO]

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
1	99.441	.05894	.02434	.30069	.01593	.02776	.05926	.00517	.01862
2	99.454	.05544	.02303	.30023	.01566	.02650	.05873	.00382	.02014
VE	99.448	.05719	.02368	.30046	.01579	.02713	.05900	.00450	.01938
	.01300	.00350	.00131	.00046	.00027	.00126	.00053	.00135	.00152
D	.00922	.00247	.00093	.00033	.00019	.00089	.00037	.00095	.00107
V	.00927	4.3275	3.9119	.10826	1.2099	3.2840	.63531	21.214	5.5459
	Al	Mo	V	Ti	Co	Sn	Nb	Pb	W
1	.03016	.00000	.00000	.00193	.00145	.01222	.00185	.00029	.00000
2	.02910	.00000	.00000	.00205	.00000	.00884	.00247	.00000	.00000
VE	.02963	.00000	.00000	.00199	.00072	.01053	.00216	.00014	.00000
	.00106	.00000	.00000	.00012	.00145	.00338	.00062	.00029	.00000
D	.00075	.00000	.00000	.00008	.00103	.00239	.00044	.00021	.00000
V	2.5296	.00000	.00000	4.2640	142.41	22.697	20.297	146.56	.00000

7.2935 Inten

1 6.6624

2 6.5332

VE 6.5978

.12920

D .09136

V 1.3847

CONT,**

AN= 22 TAN= 424

Date Nov-17-00 Time 14:04

No.:LAS	AG-No.:LAS		[Lamina UDB 2 TRAFU CHINO]					
Fe	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
98.219	.00000	1.4950	.21186	.01103	.00952	.00987	.00000	.01390
98.187	.00000	1.4946	.21916	.01250	.01163	.01012	.00000	.01365
98.203	.00000	1.4948	.21551	.01176	.01058	.01000	.00000	.01378
.03201	.00000	.00040	.00730	.00147	.00211	.00025	.00000	.00025
.02263	.00000	.00028	.00516	.00104	.00149	.00018	.00000	.00018
.02305	.00000	.01892	2.3952	8.8390	14.102	1.7692	.00000	1.2839
Al	Mo	V	Ti	Co	Sn	Nb	Pb	W
.02336	.00000	.00000	.00158	.00000	.00401	.00000	.00055	.00000
.03456	.00000	.00000	.00180	.00359	.00213	.00179	.00742	.00000
.02896R	.00000	.00000	.00169	.00180	.00307	.00090	.00398R	.00000
.01120	.00000	.00000	.00022	.00359	.00188	.00179	.00687	.00000
.00792	.00000	.00000	.00016	.00254	.00133	.00127	.00486	.00000
27.347	.00000	.00000	9.2049	141.03	43.302	140.64	122.06	.00000

Inten

7.2932

7.8314

7.5623

.53820

.38056

5.0324

CONT **

AN= 32 TAN= 434

Date Nov-17-00 Time 14:12

No.:LAS	AG-No.:LAS		[Lamina UDB 3) TRAFU UDB]					
Fe	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
97.286	.04141	1.8278	.22752	.00759	.01015	.02128	.00000	.02349
97.235	.05098	1.8449	.22428	.00805	.01056	.02314	.00000	.02279
97.260	.04620	1.8363	.22590	.00782	.01036	.02221	.00000	.02314
.05100	.00957	.01710	.00324	.00046	.00041	.00186	.00000	.00070
.03607	.00677	.01209	.00229	.00033	.00029	.00132	.00000	.00049
.03709	14.647	.65848	1.0142	4.1595	2.7992	5.9217	.00000	2.1390
Al	Mo	V	Ti	Co	Sn	Nb	Pb	W
.45815	.00000	.00140	.00330	.00389	.00316	.01152	.01076	.06284
.48540	.00000	.00109	.00363	.00510	.00217	.01284	.01196	.05803
.47177	.00000	.00124	.00346	.00450	.00266	.01152	.01136	.06044
.02725	.00000	.00031	.00033	.00121	.00099	.00132	.00120	.00481
.01927	.00000	.00022	.00023	.00086	.00070	.00093	.00085	.00340
4.0843	.00000	17.687	6.7472	19.014	26.318	7.6632	7.4694	5.6274

CONT ** AN= 19 TAN= 1176 Date Mar-23-01 Time 10:09

-No.:LAS AG-No.:LAS [MUESTRA 2]

	Fe	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr
1	7.0171	.06777	.24716	.00853	.01136	1.8733	.15181	.04328	.09404
2	7.1857	.06375	.25047	.00866	.01124	1.9522	.15002	.04267	.08817
3	6.9273	.07406	.26159	.00874	.00988	1.9689	.15264	.04292	.07354
	7.0434	.06853	.25307	.00864	.01083	1.9315	.15149	.04296	.08525R
	.25840	.01031	.01443	.00021	.00148	.09560	.00262	.00061	.02050
	.13119	.00520	.00756	.00011	.00082	.05106	.00134	.00031	.01056
	1.8626	7.5828	2.9869	1.2276	7.5904	2.6436	.88388	.71386	12.384
	Mo	Sn	Al	V					
1	.00357	.01943	.20303	.00000					
2	.00367	.01620	.21372	.00000					
3	.00457	.01943	.22804	.00000					
	.00394	.01835	.21493	.00000					
	.00100	.00323	.02501	.00000					
	.00055	.00186	.01255	.00000					
	13.979	10.163	5.8386	.00000					

CONT ** AN= 23 TAN= 1180 Date Mar-23-01 Time 10:13

-No.:LAS AG-No.:LAS [MUESTRA 3]

	Fe	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr
1	7.3912	.05765	.23874	.02020	.00651	1.5431	.00000	.00000	.02049
2	7.2293	.06069	.23929	.02023	.00631	1.5572	.00016	.00000	.03030
3	7.2798	.06312	.24211	.02116	.00686	1.5725	.00000	.00000	.02197
	7.3001	.06049	.24005	.02053	.00656	1.5576	.00005	.00000	.02425R
	.16190	.00547	.00337	.00096	.00055	.02940	.00016	.00000	.00981
	.08284	.00274	.00181	.00055	.00028	.01470	.00009	.00000	.00529
	1.1347	4.5308	.75315	2.6586	4.2437	.94402	184.93	.00000	21.809
	Mo	Sn	Al	V					
1	.00000	.01529	.03304	.00000					
2	.00000	.01354	.03130	.00000					
3	.00000	.01826	.04298	.00000					
	.00000	.01570	.03577R	.00000					
	.00000	.00472	.01168	.00000					
	.00000	.00239	.00630	.00000					
	.00000	15.198	17.617	.00000					

CONT **

AN= 34 TAN= 1191

Date Mar-23-01 Time 10:26

-No.:LAS	AG-No.:LAS [MUESTRA 4]								
	Fe	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr
1	7.7565	.05605	.04527	.01064	.00720	3.0789	.01570	.00194	.00624
2	7.6330	.05536	.04692	.01208	.00856	3.2373	.01684	.00285	.00723
3	7.6591	.05465	.04289	.01068	.00683	3.0155	.01494	.00264	.00651
	7.6829	.05535	.04503	.01113	.00753	3.1106	.01583	.00248	.00666
	.12350	.00140	.00403	.00144	.00173	.22180	.00190	.00091	.00099
	.06509	.00070	.00203	.00082	.00091	.11424	.00096	.00048	.00051
	.84720	1.2647	4.4992	7.3683	12.098	3.6726	6.0412	19.214	7.6841
	Mo	Sn	Al	V					
1	.00002	.00470	.00000	.00000					
2	.00105	.00553	.00075	.00000					
3	.00024	.00794	.00000	.00000					
	.00044	.00606	.00025	.00000					
	.00103	.00324	.00075	.00000					
	.00054	.00168	.00043	.00000					
	123.28	27.772	173.21	.00000					

CONT **

AN= 29 TAN= 1186

Date Mar-23-01 Time 10:19

-No.:LAS	AG-No.:LAS [MUESTRA 5]								
	Fe	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr
1	7.9198	.05502	.04320	.00867	.00697	3.0086	.01864	.00757	.01046
2	7.6290	.06806	.04373	.00899	.00728	2.9578	.02401	.00634	.02556
3	7.7842	.05574	.04498	.00897	.00696	3.0807	.01969	.00736	.01219
	7.7777	.05961R	.04397	.00888	.00707	3.0157	.02078	.00709	.01607R
	.29080	.01304	.00178	.00032	.00032	.12290	.00537	.00123	.01510
	.14551	.00733	.00091	.00018	.00018	.06176	.00285	.00066	.00826
	1.8709	12.296	2.0786	2.0192	2.5733	2.0478	13.696	9.2800	51.425
	Mo	Sn	Al	V					
1	.00023	.00637	.00000	.00000					
2	.00370	.01354	.00000	.00279					
3	.00111	.00449	.00000	.00000					

y el material 1113 será más fácil de maquinar. Las designaciones AISI son las mismas que los números de la SAE pero con el prefijo letra C. Un acero SAE 1020 será en AISI C 1020.

3.4 Tratamiento térmico del acero

El tratamiento térmico es un término amplio general que se aplica a procesos consistentes en calentamientos y enfriamientos para dar al acero las propiedades deseadas. Cuando el acero se calienta arriba de cierta temperatura crítica, está formado por completo de hierro que contiene carbón

en solución sólida. A este constituyente se le llama austenita. Si se enfría lentamente, la austenita se transforma en una sustancia que es suave y dúctil a la temperatura ambiente, pero si se enfría rápidamente, la austenita se transforma en una sustancia fuerte y quebradiza (martensita) que es muy dura.

A fin de conseguir las propiedades deseadas, es prudente comenzar con el acero en alguna condición normal o estándar. Dicha condición puede producirse por un proceso *normalizado*, el cual consiste en calentar las partes de acero a una temperatura de alrededor de 100°F mayor que la crítica y manteniendo esta temperatura un tiempo suficientemente largo para dar al acero una oportunidad de formar una estructura de grano uniforme. La experiencia demuestra que esta estructura uniforme se

Tabla 3.2

PROPIEDADES FÍSICAS DE BARRAS DE ACERO AL CARBÓN SAE
Tomadas del *Manual SAE de 1957*. Con autorización de la SAE.)

Nos. SAE y AISI	Valores mínimos estimados						FACILIDAD DE MAQUINADO PROMEDIADO (ESTIRADO EN FRÍO EN PRÍO 1112 = 100)
	Tipo de proceso	Resistencia a la tensión lbs/pulg ²	Resistencia a la cedencia lbs/pulg ²	Alargamiento en 2", %	Reducción de área en %	Dureza Brinell	
1006	Laminado en caliente	43,000	24,000	30	55	86	48
	Estirado en frío	48,000	41,000	20	45	95	
1008	Laminado en caliente	44,000	24,500	30	55	86	50
	Estirado en frío	49,000	41,500	20	45	95	
1009	Laminado en caliente	43,000	24,000	30	55	86	48
	Estirado en frío	48,000	41,000	20	45	95	
1010	Laminado en caliente	47,000	26,000	28	50	95	52
	Estirado en frío	53,000	44,000	20	40	105	
1012	Laminado en caliente	48,000	26,500	28	50	95	52
	Estirado en frío	54,000	45,000	19	40	105	
1015	Laminado en caliente	50,000	27,500	28	50	101	53
	Estirado en frío	56,000	47,000	18	40	111	
1016	Laminado en caliente	55,000	30,000	25	50	111	64
	Estirado en frío	61,000	51,000	18	40	121	
1017	Laminado en caliente	53,000	29,000	26	50	105	56
	Estirado en frío	59,000	49,000	18	40	116	
1018	Laminado en caliente	58,000	32,000	25	50	116	66
	Estirado en frío	64,000	54,000	15	40	126	
1019	Laminado en caliente	59,000	32,500	25	50	116	70
	Estirado en frío	66,000	55,000	15	40	131	

Tabla 3.2 (Cont.)

Nos. SAE y AISI	Valores mínimos estimados						FACILIDAD DE MAQUINADO PROMEDIADO (ESTIRADO EN FRÍO EN PRÍO 1112 = 100)
	Tipo de proceso	Resistencia a la tensión lbs/pulg ²	Resistencia a la cedencia lbs/pulg ²	Alargamiento en 2", %	Reducción de área en %	Dureza Brinell	
1020	Laminado en caliente	55,000	30,000	25	50	111	58
	Estirado en frío	61,000	51,000	15	40	121	
1021	Laminado en caliente	61,000	33,000	24	48	116	68
	Estirado en frío	68,000	57,000	15	40	131	
1022	Laminado en caliente	62,000	34,000	23	47	121	69
	Estirado en frío	69,000	58,000	15	40	137	
1023	Laminado en caliente	56,000	31,000	25	50	111	58
	Estirado en frío	62,000	52,500	15	40	121	
1024	Laminado en caliente	74,000	41,000	20	42	149	64
	Estirado en frío	82,000	69,000	12	35	163	
1025	Laminado en caliente	58,000	32,000	25	50	116	58
	Estirado en frío	64,000	54,000	15	40	126	
1026	Laminado en caliente	64,000	35,000	24	49	126	66
	Estirado en frío	71,000	60,000	15	40	143	
1027	Laminado en caliente	75,000	41,000	18	40	149	64
	Estirado en frío	83,000	70,000	12	35	163	
1030	Laminado en caliente	68,000	37,500	20	42	137	68
	Estirado en frío	76,000	64,000	12	35	149	
1033	Laminado en caliente	72,000	39,500	18	40	143	68
	Estirado en frío	80,000	67,000	12	35	163	

Tabla 3.2 (Cont.)

Nos. SAE y AISI	Valores mínimos estimados						FACILIDAD DE MAQUINADO PROMEDIADO (ESTIRADO EN FRÍO 1112 = 100)
	Tipo de proceso	Resistencia a la tensión lbs/pulg ²	Resistencia a la cedencia lbs/pulg ²	Alargamiento en 2", %	Reducción de área en %	Dureza Brinell	
1035	Laminado en caliente Estirado en frío	72,000 80,000	39,500 67,000	18 12	40 35	143 163	65
1036	Laminado en caliente Estirado en frío	83,000 92,000	45,500 77,500	16 12	40 35	163 187	54
1037	Laminado en caliente Estirado en frío	74,000 82,000	40,500 69,000	18 12	40 35	143 167	65
1038	Laminado en caliente Estirado en frío	75,000 83,000	41,000 70,000	18 12	40 35	149 163	62
1039	Laminado en caliente Estirado en frío	79,000 88,000	43,500 74,000	16 12	40 35	156 179	61
1040	Laminado en caliente Estirado en frío	76,000 85,000	42,000 71,000	18 12	40 35	149 170	62
1041	Laminado en caliente Estirado en frío	92,000 102,500	51,000 87,000	15 10	40 30	187 207	50
1042	Laminado en caliente Estirado en frío	80,000 89,000	44,000 75,000	16 12	40 35	163 179	60
1043	Laminado en caliente Estirado en frío	82,000 91,000	45,000 77,000	16 12	40 35	163 179	58
1045	Laminado en caliente Estirado en frío	82,000 91,000	45,000 77,000	16 12	40 35	163 179	55
1046	Laminado en caliente Estirado en frío	85,000 94,000	47,000 79,000	15 12	40 35	170 187	54
1049	Laminado en caliente Estirado en frío	87,000 97,000	48,000 81,500	15 10	35 30	179 197	53
1050	Laminado en caliente Estirado en frío	90,000 100,000	49,500 84,000	15 10	35 30	179 197	51
1052	Laminado en caliente	108,000	59,500	12	30	217	—
1055	Laminado en caliente	94,000	51,500	12	30	192	—
1060	Laminado en caliente	98,000	54,000	12	30	201	—
1064	Laminado en caliente	97,000	53,500	12	30	201	—
1065	Laminado en caliente	100,000	55,000	12	30	207	—

Tabla 3.2 (Cont.)

Nos. SAE y AISI	Valores mínimos estimados						FACILIDAD DE MAQUINADO PROMEDIADO (ESTIRADO EN FRÍO 1112 = 100)
	Tipo de proceso	Resistencia a la tensión lbs/pulg ²	Resistencia a la cedencia lbs/pulg ²	Alargamiento en 2", %	Reducción de área en %	Dureza Brinell	
1070	Laminado en caliente	102,000	56,000	12	30	212	—
1074	Laminado en caliente	105,000	58,000	12	30	217	—
1078	Laminado en caliente	100,000	55,000	12	30	207	—
1080	Laminado en caliente	112,000	61,500	10	25	229	—
1084	Laminado en caliente	119,000	65,500	10	25	241	—
1085	Laminado en caliente	121,000	66,500	10	25	248	—
1086	Laminado en caliente	112,000	61,500	10	25	229	—
1090	Laminado en caliente	122,000	67,000	10	25	248	—
1095	Laminado en caliente	120,000	66,000	10	25	248	—
<i>(Bessamer)</i>							
1111	Laminado en caliente Estirado en frío	60,000 67,000	33,000 56,000	25 10	45 35	121 131	92
1112	Laminado en caliente Estirado en frío	61,000 68,000	33,500 57,000	25 10	45 35	121 137	100
1113	Laminado en caliente Estirado en frío	61,000 68,000	33,500 57,000	25 10	45 35	121 137	137
<i>(Horno de hogar abierto)</i>							
1108	Laminado en caliente Estirado en frío	50,000 56,000	27,500 47,000	30 20	50 40	101 121	75
1109	Laminado en caliente Estirado en frío	50,000 56,000	27,500 47,000	30 20	50 40	101 121	75
1115	Laminado en caliente Estirado en frío	55,000 61,000	30,000 51,000	25 20	50 40	111 121	80
1117	Laminado en caliente Estirado en frío	62,000 69,000	34,000 58,000	23 15	47 40	121 137	87
1118	Laminado en caliente Estirado en frío	65,000 72,000	36,000 61,000	23 15	47 40	131 143	84
1119	Laminado en caliente Estirado en frío	62,000 69,000	34,000 58,000	23 15	47 40	121 137	100

Tabla 3.2 (cont.)

Nos. SAE y AISI	Tipo de proceso	Valores mínimos estimados					Facilidad de maquinado (Estirado en frío 1112 = 100)
		Resistencia a la tensión lbs/pulg ²	Resistencia a la cedencia lbs/pulg ²	Alargamiento en 2" %	Reducción de área en %	Dureza Brinell	
1120	Laminado en caliente	62,000	34,000	23	47	121	80
	Estirado en frío	69,000	58,000	15	40	137	
1126	Laminado en caliente	64,000	35,000	23	47	126	78
	Estirado en frío	71,000	59,500	15	40	143	
1132	Laminado en caliente	83,000	45,500	16	40	167	75
	Estirado en frío	92,000	77,000	12	35	183	
1137	Laminado en caliente	88,000	48,000	15	35	179	71
	Estirado en frío	98,000	82,000	10	30	197	
1138	Laminado en caliente	73,000	40,000	18	40	149	74
	Estirado en frío	81,000	68,000	12	35	156	
1140	Laminado en caliente	79,000	43,500	16	40	156	71
	Estirado en frío	88,000	74,000	12	35	170	
1141	Laminado en caliente	94,000	51,500	15	35	187	69
	Estirado en frío	105,000	88,000	10	30	212	
1144	Laminado en caliente	97,000	53,000	15	35	197	83
	Estirado en frío	108,000	90,000	10	30	217	
1145	Laminado en caliente	85,000	47,000	15	40	170	63
	Estirado en frío	94,000	80,000	12	35	187	
1146	Laminado en caliente	85,000	47,000	15	40	170	69
	Estirado en frío	94,000	80,000	12	35	187	
1151	Laminado en caliente	92,000	50,500	15	35	187	66
	Estirado en frío	102,000	86,000	10	30	207	

tiene elevando la temperatura de las partes dentro de un horno y manteniendo esta temperatura por aproximadamente una hora por pulgada de diámetro de sección mínima. Así una parte con un diámetro mínimo de 2 pulgadas debe ser mantenida a la temperatura de normalizado durante 2 horas. Al finalizar este lapso, las partes se sacan del horno y se dejan enfriar en aire tranquilo. El acero tratado de esta manera tendrá una estructura de grano consistente, pero no será tan suave como si se hubiera enfriado más lentamente. Desde este punto de arranque normal se puede aplicar tratamiento térmico posterior que dependerá de las propiedades deseadas.

El recocido completo hace al acero suave y dúctil, reduce su resistencia y desaparecen todos los esfuerzos internos. El proceso consiste en calentar el material hasta una temperatura por encima de la temperatura crítica pero no tan alta como la temperatura de normalizado y después permitir que se enfíe lentamente en el horno.

Si las partes van a ser templadas se calentarán nuevamente por encima de la temperatura crítica y se enfriarán a base de enfriamiento rápido. El acero enfriado rápidamente es muy duro y debe ser revenido antes de usarse. Esto consiste en recalentar las partes hasta una temperatura menor a la temperatura crítica, de acuerdo con la dureza deseada y después enfriándolas a una razón de enfriamiento que también depende de la dureza necesaria final. Sin importar la composición, los aceros de la misma dureza producidos a temperaturas después de templados (revenidos) tendrán la misma resistencia a la tensión y a la cedencia. En general, ent cuanto más alto sea el contenido de carbón, más duro se puede hacer el acero. La profundidad y la distribución de la dureza producida por el enfriamiento rápido es una medida de su *habilidad de endurecimiento*.

Como diseñador no se espera que sepa tanto de metalurgia como un técnico. Si el diseño parece necesitar un tratamiento térmico, consulte al departamento metalúrgico o al vendedor que va a surtir la parte. Explíquelo qué es lo que tiene que hacer la parte y las propiedades físicas que se desean y pídale consejo antes de especificar detalles sobre el tratamiento térmico en los dibujos.

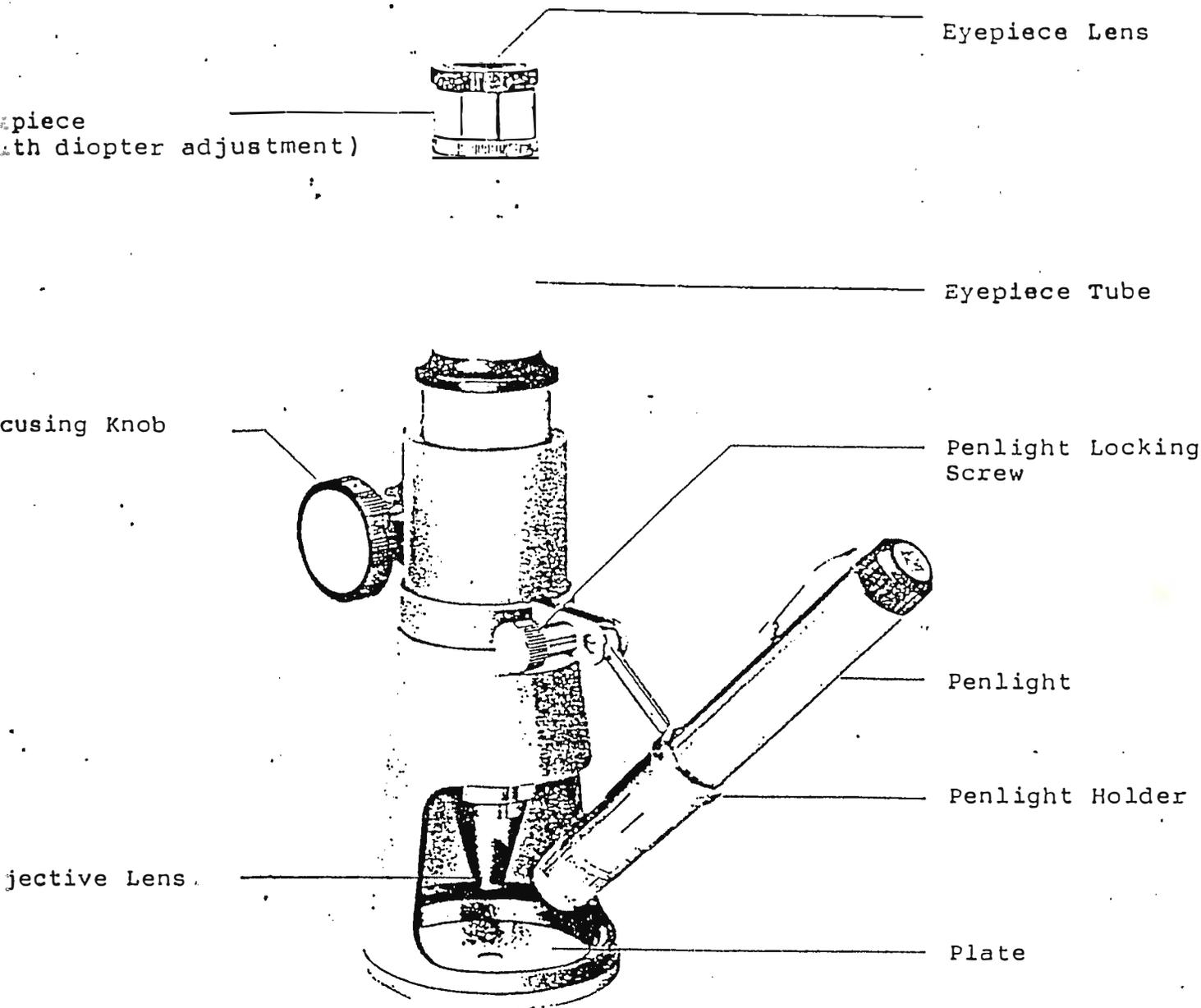
3.5 Características y usos típicos de los aceros al carbón simples

Deben considerarse otras características además de la resistencia, cuando se decide qué clase de acero debe usarse para una parte determinada. La facilidad para darle forma, para soldarse, para endurecerse, y su facilidad de maquinado son algunas de ellas. Estas características, así como la manera como están relacionadas a usos típicos, serán dadas aquí. Para una información más extensa consúltese el Manual SAE.

SAE 1006-1015. Estos son los aceros al carbón más bajos entre los aceros al carbón simples y se usan cuando la característica esencial que se necesita es su facilidad para darles forma. Pueden estar hechos de aceros con desoxidación controlada o totalmente desoxidados antes de vaciarse. Los aceros con desoxidación controlada son los mejores para lámina, flejes, varillas, y alambre cuando son deseables buenas propiedades de estiramiento y buen acabado como por ejemplo el material para las carrocerías y las defensas, los depósitos de aceite y prácticamente todas las partes de troquelado profundo. Esta es la clase de material usada para remaches y

Instruction Manual

Shop Microscope No. 1731, 1732, 1733



eyepiece
(with diopter adjustment)

Eyepiece Lens

Eyepiece Tube

Focusing Knob

Penlight Locking
Screw

Penlight

Penlight Holder

Objective Lens

Plate

Model	Magnification	Eyepiece	Objective	Field of View	Measuring Range	Minimum Graduation	Working Distance
1731	100X	10X	10X	1.7 mmφ	1.0mm/0.05inch	0.01mm/0.001inch	6.4mm
1732	60X	15X	6X	3.25mmφ	2.4mm/0.1 inch	0.02mm/0.001inch	23.9mm
1733	40X	10X	4X	4.25mmφ	3.0mm/0.1 inch	0.02mm/0.001inch	23.9mm

 <p>SENIA A.A. BOSS</p>	<p>CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO</p>	
	<p>ASTIN</p>	
	<p>REGIONAL VALLE-CALI</p>	

METODO DE DUREZA BRINELL Y VICKERS

P. Sáenz

Método	Penetrador	Espesor Probeta mm	Carga Total Kg	Aplicación
HB 2,5/187,5	Esfera \varnothing 2,5 mm	1,5 - 3	187,5	Acero, fundición gris \geq 140 HB, cobre y aleaciones de cobre $>$ 200 HB
HB 1/30	Esfera \varnothing 1 mm	0,6 - 1,5	30	
HB 5/250	Esfera \varnothing 5 mm	3 - 6	250	Fundición grfs $<$ 140 HB, cobre y aleaciones de cobre de 35 hasta 200 HB, metales ligeros y sus aleaciones $>$ 35 HB
HB 5/125	Esfera \varnothing 5 mm.	3 - 6	125	Cobre y aleaciones de cobre $<$ 35 HB, metales ligeros y sus aleaciones de hasta 80 HB (Al, Mg y Al - Mg.)
HB 2,5/31,25	Esfera \varnothing 2,5 mm	1,5 - 3	31,25	
HB 10/250	Esfera \varnothing 10 mm	$>$ 6	250	Metales ligeros y sus aleaciones $<$ 35 HB (Metales antifricción).
HB 2,5/15.625	Esfera \varnothing 2,5 mm	1.5-3	15,625	
HB 10/125	Esfera \varnothing 10 mm	$>$ 6	125	Plomo y estaño, metales ligeros y sus aleaciones $<$ 35 HB.
HB 5/31,25	Esfera \varnothing 5 mm	3 - 6	31,25	
HB 10/100	Esfera \varnothing 10 mm	$>$ 6	100	
HV 30	Piramide Diamant 136°		30	Metales con baja y muy alta dureza.
HV 31,25	Piramide Diamant 136°		31,25	
HV 100	Piramide Diamant 136°		100	

$$HB = \frac{2 F}{\pi \times D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

D = diámetro de la esfera en mm.

d = " de la huella en la probeta, en mm

F = Carga en Kg.

$$HV = \frac{F}{d_m^2} \times 1,854$$

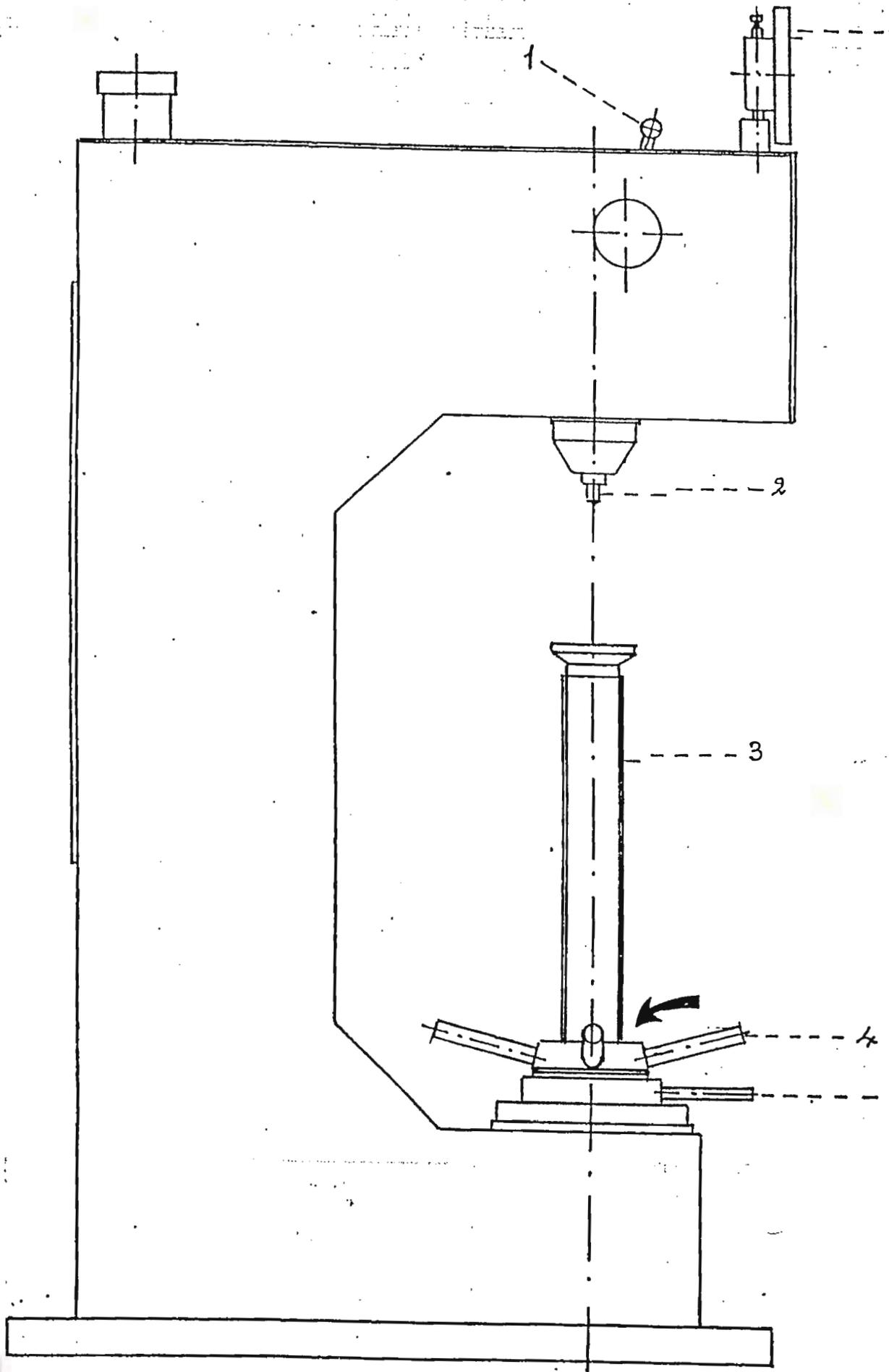
dm = diagonal media.

HARDNESS CONVERSION (from ASTM standard E 140)

ROCKWELL			SUPERFICIAL ROCKWELL			VICKERS	KNOOP	BRINELL	TENSILE STRENGTH
C	A	D	15N	30N	45N	HARDNESS	HARDNESS	HARDNESS	1000 lbs/ square inch
50 kgf diamond	60 kgf diamond	100 kgf diamond	15 kgf diamond	30 kgf diamond	45 kgf diamond		500 gf and over	3000 kgf 10mm ball	
68	85.6	76.9	93.2	84.4	75.4	940	920
67	85.0	76.1	92.9	83.6	74.2	900	895
66	84.5	75.4	92.5	82.8	73.3	865	870
65	83.9	74.5	92.2	81.9	72.0	832	846	739	...
64	83.4	73.8	91.8	81.1	71.0	800	822	722	...
63	82.8	73.0	91.4	80.1	69.9	772	799	705	...
62	82.3	72.2	91.1	79.3	68.8	746	776	688	...
61	81.8	71.5	90.7	78.4	67.7	720	754	670	...
60	81.2	70.7	90.2	77.5	66.6	697	732	654	...
59	80.7	69.9	89.8	76.6	65.5	674	710	634	351
58	80.1	69.2	89.3	75.7	64.3	653	690	615	338
57	79.6	68.5	88.9	74.8	63.2	633	670	595	325
56	79.0	67.7	88.3	73.9	62.0	613	650	577	313
55	78.5	66.9	87.9	73.0	60.9	595	630	560	301
54	78.0	66.1	87.4	72.0	59.8	577	612	543	292
53	77.4	65.4	86.9	71.2	58.6	560	594	525	283
52	76.8	64.6	86.4	70.2	57.4	544	576	512	273
51	76.3	63.8	85.9	69.4	56.1	528	558	496	264
50	75.9	63.1	85.5	68.5	55.0	513	542	481	255
49	75.2	62.1	85.0	67.6	53.8	498	526	469	246
48	74.7	61.4	84.5	66.7	52.5	484	510	455	238
47	74.1	60.8	83.9	65.8	51.4	471	495	443	229
46	73.6	60.0	83.5	64.8	50.3	458	480	432	221
45	73.1	59.2	83.0	64.0	49.0	446	466	421	215
44	72.5	58.5	82.5	63.1	47.8	434	452	409	208
43	72.0	57.7	82.0	62.2	46.7	423	438	400	201
42	71.5	56.9	81.5	61.3	45.5	412	426	390	194
41	70.9	56.2	80.9	60.4	44.3	402	414	381	188
40	70.4	55.4	80.4	59.5	43.1	392	402	371	182
39	69.9	54.6	79.9	58.6	41.9	382	391	362	177
38	69.4	53.8	79.4	57.7	40.8	372	380	353	171
37	68.9	53.1	78.8	56.8	39.6	363	370	344	166
36	68.4	52.3	78.3	55.9	38.4	354	360	336	161
35	67.9	51.5	77.7	55.0	37.2	345	351	327	156
34	67.4	50.8	77.2	54.2	36.1	336	342	319	152
33	66.8	50.0	76.6	53.3	34.9	327	334	311	149
32	66.3	49.2	76.1	52.1	33.7	318	326	301	146
31	65.8	48.4	75.6	51.3	32.5	310	318	294	141
30	65.3	47.7	75.0	50.4	31.3	302	311	286	138
29	64.8	47.0	74.5	49.5	30.1	294	304	279	135
28	64.3	46.1	73.9	48.6	28.9	286	297	271	131
27	63.8	45.2	73.3	47.7	27.8	279	290	264	128
26	63.3	44.6	72.8	46.8	26.7	272	284	258	125
25	62.8	43.8	72.2	45.9	25.5	266	278	253	123
24	62.4	43.1	71.6	45.0	24.3	260	272	247	119
23	62.0	42.1	71.0	44.0	23.1	254	266	243	117
22	61.5	41.6	70.5	43.2	22.0	248	261	237	115
21	61.0	40.9	69.9	42.3	20.7	243	256	231	112
20	60.5	40.1	69.4	41.5	19.6	238	251	226	110

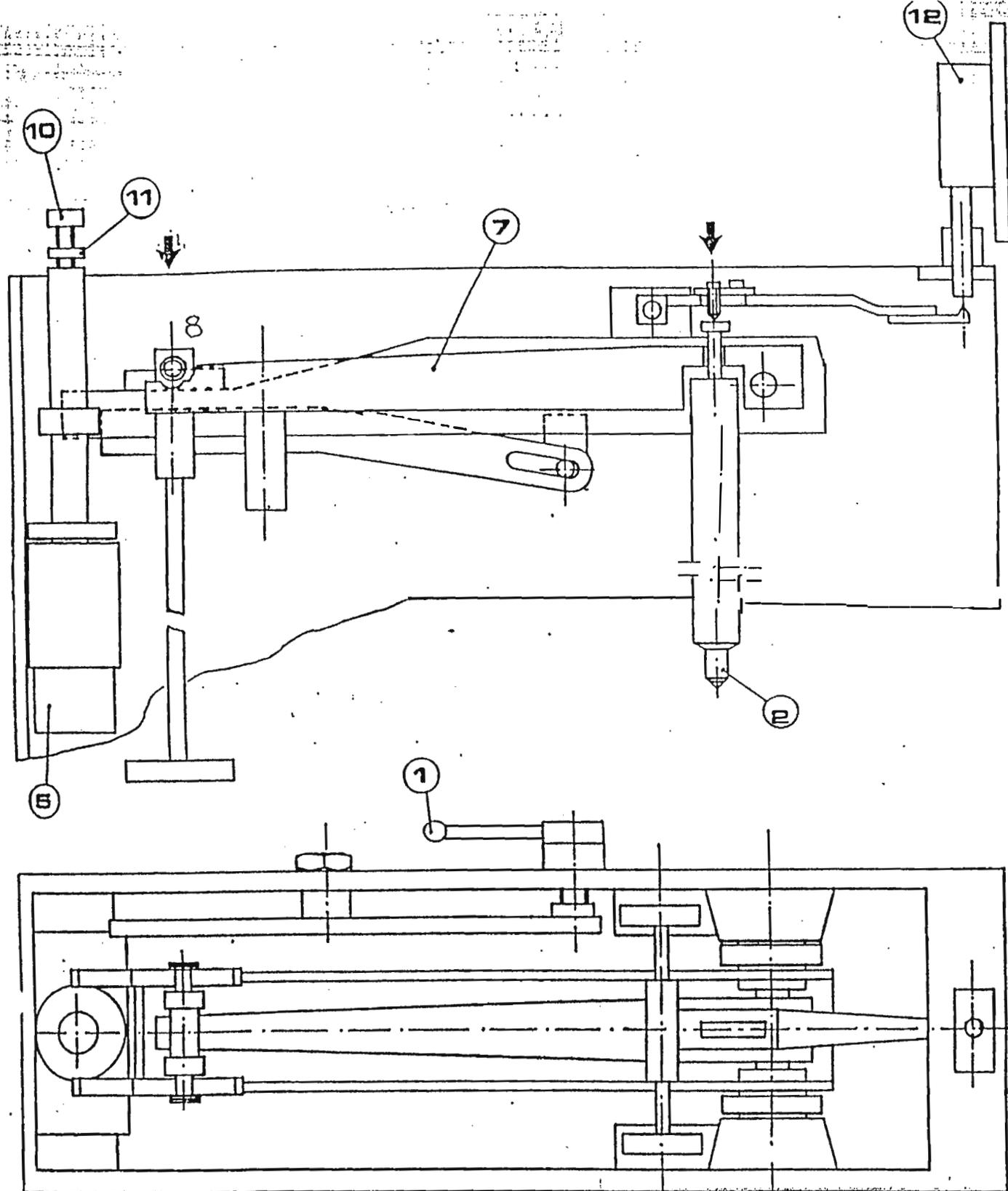
The conversion values contained herein should be considered approximate only, and may be inaccurate for specific applications.

Hardness numbers in boldface type are outside the range recommended for Brinell testing in ASTM standard E 10.



1/7

apparello per prove di numerale
11578-1 X_c



1/8

NUMERO	Scala
12182/B	A
DATA	bisogn.
24-6-80	Plana

Apparecchio per prove di durezza metodo Rockwell

HARDNESS CONVERSION

from ASTM standards E 140

ROCKWELL			SUPERFICIAL ROCKWELL			VICKERS	KNOOP	BRINELL		TENSILE
B	A	E*	15T	30T	45T	HARDNESS	HARDNESS	HARDNESS	HARDNESS	STRENGTH
100 kgf 1/16" ball	60 kgf diamond	100 kgf 1/8" ball	15 kgf 1/16" ball	30 kgf 1/16" ball	45 kgf 1/16" ball		500 gf and over	3000 kgf 10mm ball	500 kgf 10mm ball	1000 lbs/ square inch
100	61.5	...	93.1	83.1	72.9	240	251	240	201	116
99	60.9	...	92.8	82.5	71.9	234	246	234	195	114
98	60.2	...	92.5	81.8	70.9	228	241	228	189	109
97	59.5	...	92.1	81.1	69.9	222	236	222	184	104
96	58.9	...	91.8	80.4	68.9	216	231	216	179	102
95	58.3	...	91.5	79.8	67.9	210	226	210	175	100
94	57.6	...	91.2	79.1	66.9	205	221	205	171	98
93	57.0	...	90.8	78.4	65.9	200	216	200	167	94
92	56.4	...	90.5	77.8	64.8	195	211	195	163	92
91	55.8	...	90.2	77.1	63.8	190	206	190	160	90
90	55.2	...	89.9	76.4	62.8	185	201	185	157	89
89	54.6	...	89.5	75.8	61.8	180	196	180	154	88
88	54.0	...	89.2	75.1	60.8	176	192	176	151	86
87	53.4	...	88.9	74.4	59.8	172	188	172	148	84
86	52.8	...	88.6	73.8	58.8	169	184	169	145	83
85	52.3	...	88.2	73.1	57.8	165	180	165	142	82
84	51.7	...	87.9	72.4	56.8	162	176	162	140	81
83	51.1	...	87.6	71.8	55.8	159	173	159	137	80
82	50.6	...	87.3	71.1	54.8	156	170	156	135	77
81	50.0	...	86.9	70.4	53.8	153	167	153	133	73
80	49.5	...	86.6	69.7	52.8	150	164	150	130	72
79	48.9	...	86.3	69.1	51.8	147	161	147	128	70
78	48.4	...	86.0	68.4	50.8	144	158	144	126	69
77	47.9	...	85.6	67.7	49.8	141	155	141	124	68
76	47.3	...	85.3	67.1	48.8	139	152	139	122	67
75	46.8	...	85.0	66.4	47.8	137	150	137	120	66
74	46.3	...	84.7	65.7	46.8	135	147	135	118	65
73	45.8	...	84.3	65.1	45.8	132	145	132	116	64
72	45.3	...	84.0	64.4	44.8	130	143	130	114	63
71	44.8	...	83.7	63.7	43.8	127	141	127	112	62
70	44.3	99.5	83.4	63.1	42.8	125	139	125	110	61
69	43.8	99.0	83.0	62.4	41.8	123	137	123	109	60
68	43.3	98.0	82.7	61.7	40.8	121	135	121	108	59
67	42.8	97.5	82.4	61.0	39.8	119	133	119	106	58
66	42.3	97.0	82.1	60.4	38.7	117	131	117	104	57
65	41.8	96.0	81.8	59.7	37.7	116	129	116	102	56
64	41.4	95.5	81.4	59.0	36.7	114	127	114	100	...
63	40.9	95.0	81.1	58.4	35.7	112	125	112	99	...
62	40.4	94.5	80.8	57.7	34.7	110	124	110	98	...
61	40.0	93.5	80.5	57.0	33.7	108	122	108	96	...
60	39.5	93.0	80.1	56.4	32.7	107	120	107	95	...
59	39.0	92.5	79.8	55.7	31.7	106	118	106	94	...
58	38.6	92.0	79.5	55.0	30.7	104	117	104	92	...
57	38.1	91.0	79.2	54.4	29.7	103	115	103	91	...
56	37.7	90.5	78.8	53.7	28.7	101	114	101	90	...
55	37.2	90.0	78.5	53.0	27.7	100	112	100	89	...
54	36.8	89.5	78.2	52.4	26.7	...	111	...	87	...
53	36.3	89.0	77.9	51.7	25.7	...	110	...	86	...
52	35.9	88.0	77.5	51.0	24.7	...	109	...	85	...
51	35.5	87.5	77.2	50.3	23.7	...	108	...	84	...
50	35.0	87.0	76.9	49.7	22.7	...	107	...	83	...
49	34.6	86.5	76.6	49.0	21.7	...	106	...	82	...
48	34.1	85.5	76.2	48.3	20.7	...	105	...	81	...
47	33.7	85.0	75.9	47.7	19.7	...	104	...	80	...
46	33.3	84.5	75.6	47.0	18.7	...	103	...	80	...
45	32.9	84.0	75.3	46.3	17.7	...	102	...	79	...
44	32.4	83.5	74.9	45.7	16.7	...	101	...	78	...
43	32.0	82.5	74.6	45.0	15.7	...	100	...	77	...
42	31.6	82.0	74.3	44.3	14.7	...	99	...	76	...
41	31.2	81.5	74.0	43.7	13.6	...	98	...	75	...
40	30.7	81.0	73.6	43.0	12.6	...	97	...	75	...
39	30.3	80.0	73.3	42.3	11.6	...	96	...	74	...
38	29.9	79.5	73.0	41.6	10.6	...	95	...	73	...
37	29.5	79.0	72.7	41.0	9.6	...	94	...	72	...
36	29.1	78.5	72.3	40.3	8.6	...	93	...	72	...
35	28.7	78.0	72.0	39.6	7.6	...	92	...	71	...
34	28.2	77.0	71.7	39.0	6.6	...	91	...	70	...
33	27.8	76.5	71.4	38.3	5.6	...	90	...	69	...
32	27.4	76.0	71.0	37.6	4.6	...	89	...	69	...
31	27.0	75.5	70.7	37.0	3.6	...	88	...	68	...
30	26.6	75.0	70.4	36.3	2.6	...	87	...	67	...

*Values for these scales are not from ASTM tables.

ANEXO 8: Características Técnicas de las Maquinarias Planteadas en el Documento.

A continuación se muestran las características técnicas de las maquinarias que se plantean en el presente documento. En algunas de ellas se muestra el precio, ya que la fuente de información así las presentaba; otras, determinan el lugar de adquisición o distribuidora de dicha máquina. Las maquinarias indicadas a continuación son algunas de las posibilidades que se encuentran en diversas distribuidoras, y algunas veces sus características varían con respecto a los diseños funcionales que se han ido mencionando a lo largo de este documento.

1. Horno de Recocido. Horno para el Tratamiento Térmico.

Modelo: k1251

Temperatura nominal: 1150/1250°C

Potencia nominal: 2.64kW

Frecuencia nominal: 50/60Hz

Tensión nominal: 220Vac

Fusible de la red: 16A de acción

Tiempo de calentamiento: 130/140min a 1150/1250°C

Tiempo de enfriamiento a 100°C: 24/28h

Tiempo de enfriamiento a 200°C: 16/17h

Temperatura de la red exterior: <80°C

Peso: 85kg

Carga admisible: 5kg

Dimensiones de espacio útil. Ancho: 130/150mm; altura: 110/120mm; profundidad: 200mm

Dimensiones exteriores. Ancho: 780mm; altura: 601mm; profundidad: 700mm

Procedencia: Agustín de Foxá 25

E-28036 Madrid, España

Tel: (1) 7337844

Teles: 43102 Hero E

Telefax: (1) 733 7674

Área de trabajo utilizada: 1.5m²

2. Inyectora de Plástico Windsor.

Tipo de Máquina: AP 15/44

Volumen de la carga de inyección: 720cm³

Número de husillos: 2

Diámetro de los husillos: 78mm

Presión de inyección: 123MPa

Fuerza de cierre del molde: 3.5MN

Distancia entre las columnas de la máquina: 46*46cm

Carrera del molde: 46mm

Procedencia de la información: Polígono Industrial Don Bosco

Área de trabajo utilizada: 6m²

Estimado típico de producción: 4 piezas por minuto aproximadamente

3. Horno para Secado. Proceso de Aislamiento.

Tensión nominal: 220Vac

Potencia nominal: 6.75kW

Dimensiones.

Ancho: 1m

Largo: 1m

Alto: 1m

Regulador térmico.

Principio de funcionamiento del regulador térmico: Comparación de tensión con amplificación de error, mediante circuitos integrados de alta estabilidad térmica. Retroacción acción proporcional, integral y derivativo.

Pantalla de visualización: 3 ó 4 cifras luminosas altas de 9.2mm. La indicación proporciona la lectura instante por instante de la temperatura tomada por la sonda.

Temperatura ambiente: No se tienen variaciones de temperatura controlada para temperatura ambiente de -10 a $+60^{\circ}\text{C}$.

Precisión del instrumento: $\pm 1\%$ F.S.

Impedancia de entrada: $>100\text{k}\Omega$

Salida: 1 contacto de cambio de relé de 2A/250Vac

Señalización: Diodo LED rojo que indica funcionamiento

Alimentación: 220Vac $\pm 15\%$, 50/60Hz

Procedencia: DeLorenzo

Rozan (Milano), Italy

Tlx: 321122 DELO I

Fax: 8255181

Tel (2): 8254551

Marca: DeLorenzo

Mod: DLRI 0701045

Área de trabajo utilizada: 2m^2

4. Bobinadora.

Tensión nominal: 110Vac

Motor eléctrico: 110Vac

Potencia nominal del motor: ¼ HP

Diámetro del carrete: 8"

Diámetro del volante: 4", girado en sentido horario

Tipo de contómetro: Contómetro analógico de 3 dígitos

Dimensiones.

Ancho: 0.5m

Largo: 0.5m

Alto: 0.5m

Procedencia: DeLorenzo

Rozan (Milano), Italy

Tlx: 321122 DELO I

Fax: 8255181

Tel (2): 8254551

Marca: DeLorenzo

Mod: DLRI 0701045

Área de trabajo utilizada: 1m²

5. Horno de Recocido.

Tensión nominal: 208Vac

Corriente nominal: 6.8A

Potencia nominal: 2.7kW

Frecuencia: 50/60Hz

Temperatura de trabajo: 0-300°C

Clase: 2.0

Schutzart: IP20

Tipo: 1824030000202

No. 990198

Dimensiones.

Ancho: 1m

Largo: 1.5m

Alto: 1.5m

Área de trabajo utilizada: 2.5m²

6. Máquina para Prueba de Dureza

a. Equipo del Probador.

i. Penetrador de esfera: ϕ 1/6", ϕ 1/8", ϕ 1/4", ϕ 1/2"; ϕ 2.5mm, ϕ 5mm

ii. Penetrador UL 3633

iii. Placas de referencia: 45.9 HRC, 60.1 HRC, 61.3 HRC 25/187.5

iv. Pesas: B1= 31.25; B2= 65.5; B3= 100; B4= 125; B5= 150;

B7= 187.5, Z1= 60kgf

v. Dimensiones de la máquina: Están mostradas dentro de los anexos.

b. Ensayo de Dureza Rockwell-C según DIN 50103.

Penetrador: Cono de diamante 120°

Carga inicial Po: 10kgf

Carga adicional P1 (pesa B1 y B2): 140kgf

Carga total P: 150kgf

c. Ensayo de Dureza Vickers.

Penetrador: Piramidal de diamante cuadrado 160°

Carga inicial Po: 10kgf

Para números HRC de 50 o más: \pm 1.5 números HRC

Para números HRC menores de 50: \pm 2.0 números HRC

d. Ensayo de Dureza Brinell (HB) según DIN 50103

Penetrador: Bola de acero endurecido de 1/16"

Carga inicial Po: 10kgf

Carga adicional P1: 177.5 kgf

Carga total P: 187.5kgf

Tiempo en que actúa la carga P1: 10seg.

Área de trabajo utilizada: 1.5m²

Estimado típico de producción: 15 minutos por muestra analizada

7. Prensa Troqueladora.

Descripción: Prensa troqueladora con potencia hidráulica. La prensa puede ejecutar funciones de troquelado, doblado y embutido. Esta prensa realiza funciones equivalentes a las de una prensa eléctrica que funciona con un sistema de volantes, aunque su capacidad de producción es más lenta. Es una prensa equivalente.

Marca: MetalPro 4000

Dimensiones.

Ancho: 55 1/4"

Largo: 24"

Alto: 30"

Motor.

Tensión nominal: 110Vac

Potencia nominal: ¾HP. Puede desarrollarse una potencia de 1.5HP bajo condiciones de carga máxima, a 110Vac 20A

Presión del pistón hidráulico: 2500PSI

Capacidad de combustible: 1galón

Modelo: MP 4000

Stock No. : 3ZJ45

Precio: \$ 2769.00

Accesorios. Freno.

Stock No.: 3ZJ46

Peso: 62lbs

Precio: \$ 593.50

Nota: En las páginas anexas se muestran además otros accesorios adicionales.

Fuente de procedencia de información: Grainger

Área de trabajo utilizada: 1.5m²

Estimado típico de producción: 4 piezas por minuto aproximadamente

8. Cuchilla Cortadora.

Sólida mesa de aluminio con un hueco de 3 5/8"

Medidor de 3/4" para acomodar las piezas a ser trabajadas.

Compatible con los modelos de portacable 514, 518, 520, 630, 690, 691, 7529, 7537, 7538 y 7539.

Dimensiones.

Medida de la mesa de trabajo: 16 3/4"x 19 3/4"

Ancho: 20.5"

Alto: 12"

Peso: 26lbs

Modelo: 3W394

Precio: : \$ 175.25

Fuente de procedencia de información: Grainger

Área de trabajo utilizada: 2.5m²

9. Máquina Cortadora-Dobladora.

Máquina de fácil uso con medidas de 16", ½" a 1" de delgada.

El equipo estándar incluye: Cuchilla, dobladora, guía de trabajo, sujetadores y espaciadores.

Stock No.: 3W900

Peso: 42lbs

Precio: \$ 305.25

Accesorios adicionales.

Aplicación. Accesorio para cortes ajustables.

Modelo: 5121

Stock No.: 3W900

Peso: 3.5lbs

Precio: \$119.10

Aplicación: ½" de cortes ajustables

Modelo: 5119

Stock No.: 3W899

Peso: 16lbs

Precio: \$37.10

10. Banda Transportadora.

El cuerpo de la banda transportadora galvanizada Bonded contiene refuerzos tubulares diagonales y una placa única entre laterales para escuadrar. Soporta 1854 libras por metro lineal cuando contiene apoyos cada 6 metros.

Los transportadores Bonded son disponibles con bandas de ancho entre 14" y 72". La cabeza estándar del transportador incluye una chumacera esférica de rodillos, flecha gruesa y pulida, polea forrada y ejes para bujes. La sección estándar de la cola incluye una polea conducida tipo jaula de ardilla, chumacera de base de doble hilera de rodillos, y tensor de tornillo con protección para el rodillo galvanizado.

Modelo: FCS 1014

Ancho de banda: 14"

Ancho del rodillo: 28 ½"

Ancho de mesa: 17"

Altura de zona de transporte: 9 5/8"

Capacidad de la banda: 480kg/m³

Velocidad de la banda: 17 m/min

Rodillo estándar CEMA: Tipo B

Modelo: FCS 1018

Ancho de banda: 18"

Ancho del rodillo: 32 1/2"

Ancho de mesa: 21"

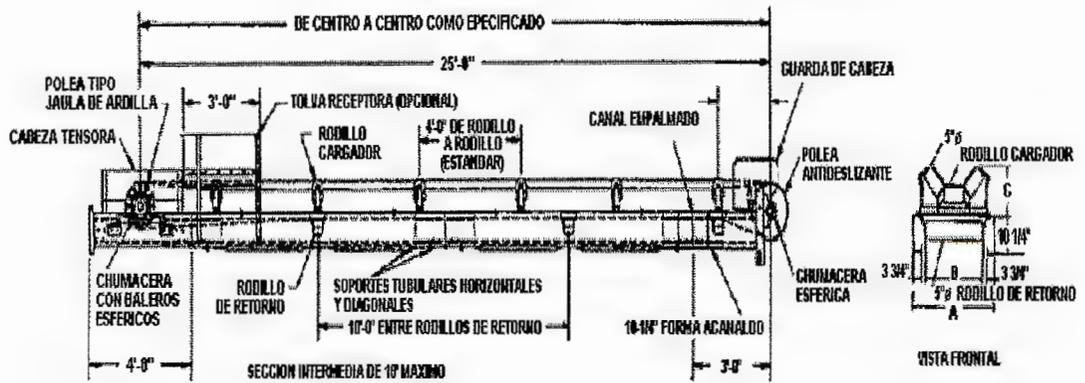
Altura de zona de transporte: 10 1/16"

Capacidad de la banda: 800kg/m³

Velocidad de la banda: 29 m/min

Rodillo estándar CEMA: Tipo B

En los diagramas siguientes se muestran las especificaciones técnicas para diferentes tipos de bandas transportadoras. De estos diagramas se han obtenido las especificaciones técnicas que se mostraron anteriormente.



ESPECIFICACIONES

Modelo	Ancho de Banda	X					Rodillo Estándar CEMA [®]
		A	B	30"	35"	45"	
EX-1000	14"	28 1/2"	17"	9 5/8"	10 7/8"	N/A	B
EX-2000	18"	32 1/2"	21"	10 1/16"	11 11/16"	12 7/8"	B
EX-3000	24"	38 1/2"	27"	10 3/4"	12 7/8"	13 15/16"	B
EX-4000	30"	44 1/2"	33"	11 1/2"	14 1/16"	15 1/2"	B

CAPACIDADES: Con Rodillos Inclinaados 20°

Ancho de Banda en	Capacidad en Toneladas Métricas/Hora							
	Producto Kg/m ³	Velocidad de Banda en Metros/Min.						
		31	46	61	76	92	107	122
14"	480	8	12	17	21	25		
	800	14	21	29	36	42		
	1200	21	31	42	54	64		
	1600	29	42	57	71	86		
18"	480	13	17	23	29	35	40	
	800	21	28	37	47	57	67	
	1200	31	41	54	68	82	97	
	1600	43	57	74	92	111	131	

ANEXO 9: Proceso de Laminación [19], [20].

Para llevar a cabo la producción industrial de máquinas eléctricas es necesario resolver un problema clave o estratégico el cual consiste en la elaboración para aceros magnéticos, o sea los procesos de producción de aceros con características magnéticas para máquinas eléctricas. Por eso es muy importante el proceso de laminación que se describe a continuación, para tener una idea del proceso a seguir para obtener lámina de diferentes espesores. Existe también un tema muy importante el cual es la elaboración de acero al silicio, siendo este material muy importante, ya que la lámina de acero al silicio posee características magnéticas muy importantes, siendo este material el óptimo para la construcción de máquinas eléctricas.

Materia Prima.

Se parte de la chatarra como materia prima. Hasta la década del setenta la chatarra era un material de desecho, difícil de eliminar. No se sabía que hacer con ella. El proceso continua en el horno eléctrico para procesar chatarra, transformándola en lingotes primero y después en palanquillas y luego pasa a los trenes de laminación para continuar la transformación hasta los productos comerciales. La chatarra de hierro/acero es cualquier desecho metálico de hierro/acero.

La chatarra es suministrada a la planta industrial por "los chatarreros", trabajadores independientes que se dedican a la recolección de desperdicios: chatarra -papel - vidrio. La chatarra llega a la planta totalmente mezclada y sucia. Es necesario por lo tanto clasificarla, seleccionarla y eliminar contaminantes.

Se clasifica de acuerdo a su densidad y más primordialmente de acuerdo al procesamiento posterior que va a sufrir para aumentar su densidad. Así se distinguen 5 tipos de chatarra:

- **Liviana de prensa:** chatarra de baja densidad que va a ser procesada en una prensa tijera.

- **Estañada:** chatarra de baja densidad que contiene estaño. También va a ser procesada dosificadamente en la prensa tijera.
- **Pesada chica:** chatarra de alta densidad que no es necesario procesarla para aumentar su densidad, pero sí es necesario limpiarla y separar los contaminantes que tiene (cobre, bronce, plomo, etc.), pues es una chatarra muy contaminada.
- **Pesada para oxicorte:** chatarra de alta densidad, de mucho espesor, que no puede ser procesada por la prensa tijera, y que es necesario trozarla con equipos de oxicorte (corte a soplete con oxígeno y supergas).
- **Fundición:** chatarra de alta densidad y alto contenido de carbono. Sólo puede partirse por percusión (pera desde altura). Debe usarse dosificadamente.

Fusión.

Es el pasaje del estado sólido (chatarra) al estado líquido (acero líquido). El proceso de fusión se produce en un horno eléctrico trifásico. El horno es de 10 toneladas por colada y está alimentado por un transformador 30000/500 voltios de 12 MVA (megavoltamper). Tiene paredes y bóveda refrigerados por agua y solera dolomítica. La temperatura de fusión del acero es entre 1650/1700°C. Es necesario hacer dos recargas del horno para obtener las 10 toneladas por corrida. La fusión se realiza por la acción combinada de los tres electrodos de grafito (uno por fase) y la inyección de oxígeno gaseoso. Se forman tres arcos entre los electrodos y la chatarra, generándose una energía radiante tan intensa que funde toda la chatarra a su alrededor. El oxígeno colabora entregando energía química y acelerando el proceso de fusión.

Procesos de Producción.

Un flujograma que muestra el proceso de producción llevado a cabo en un proceso de laminación se muestra en la figura a.

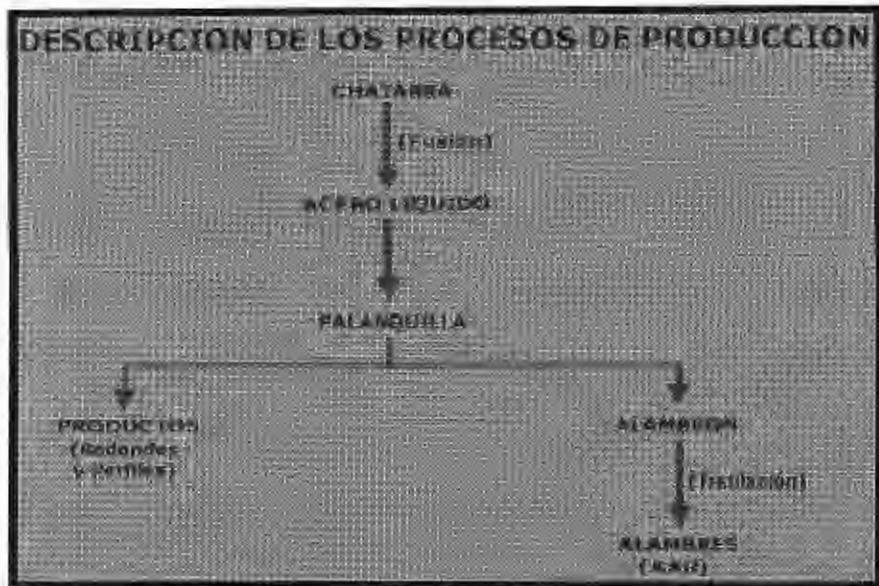


Fig. a. Descripción de los Procesos de Producción del Laminado de Metales

Laminación.

La laminación es un proceso de deformación, en este caso del acero. Consiste en deformar el material por el pasaje del mismo a través de dos cilindros que giran en sentido contrario (uno horario y el otro antihorario). Se produce una reducción en altura. Se constata además que el material se ensancha algo, pero principalmente se alarga mucho. El volumen prácticamente se mantiene constante. Se trata de laminación en caliente, a 1200°C. La figura b muestra dos rodillos presionando una porción de lámina en un proceso de laminado.

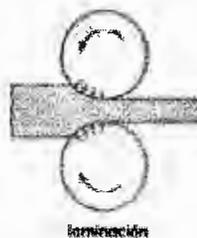


Fig. b. Reducción de Lámina por Medio del Proceso de Laminado

El proceso general para laminar metales es el siguiente:

a) Calentamiento de la palanquilla a 1200°C en un horno de empuje a fuel-oil con dos quemadores en la pared frontal. La palanquilla se carga por el lateral del horno y se saca por una puerta lateral en el frente del horno con la ayuda de un equipo extractor de palanquilla (lanza refrigeradora). En las Industrias Laisa se practica el "cargar el horno con palanquillas calientes (tibias)" para ahorrar combustible (fuel-oil) y aumentar la capacidad del horno. La palanquilla sale del proceso de solidificación (máquina de colada continua) a unos 700°C. Se trata de cargar lo que sale de la máquina de colada continua directamente al horno de laminación, procurando que pierda lo menos posible su temperatura.

SIDERURGICA LAISA nace en diciembre del año 1980 de la fusión de dos empresas: LAISA y ALIS S.A.. La primera se inició en el área de laminación en el año 1965, en tanto ALIS S.A. comenzó a operar en el área de acería en el año 1977, como proveedora de materia prima (lingotes) para LAISA y a partir de abril de 1998 cambió su razón social por la actual GERDAU LAISA S.A. GERDAU LAISA S.A. es una empresa del sector siderúrgico uruguayo que se dedica a la producción de acero partiendo de chatarra como materia prima y transformándolo en diversos tipos de barras comerciales: Redondos para la construcción (lisos, torsionados y conformados), redondos mecánicos, perfiles (ángulos y planchuelas), alambrones, alambres de alta resistencia y mallas electrosoldadas. Además comercializa alambres y clavos que importa de GERDAU Riograndense y representa todos los productos GERDAU producidos en otras fabricas.

b) Tren desbaste (9 pases). Tren abierto de 3 cajas de laminación con velocidad constante (2m/s). La palanquilla de 100x100mm caliente a 1200°C sale del horno a una mesa pivoteable neumática que la hace caer por gravedad a un transportador de la mesa fija que la conduce hacia el tren desbaste. En el tren desbaste se hacen las primeras pasadas, que modifican la estructura interna microscópica del acero. Son pasadas fuertes, de alta reducción, precisamente de "desbaste". En la caja D1 (trío) se hacen 7 pasadas: plano-óvalo sueco-cuadrado 60-plano-redondo 51-plano-redondo 38. En la caja D2 (dúo) se hace 1 pasada: óvalo de 57 x 18, y en D3 (dúo) se hace una pasada: redondo de 28. Cada

palanquilla va deformándose sucesivamente por cada pasada, se reduce su sección y se alarga fuertemente, manteniéndose el volumen. A pesar de ser laminación en caliente (esfuerzos bien menores que si fuera en frío), al tratarse de acero, se necesitan potencias muy grandes para deformar por laminación la barra. Así D1 tiene un motor eléctrico de 1200 HP (900 kW), un volante de 11 toneladas y gira a 94 r.p.m., D2 y D3 tienen otro motor común de 1080 HP (800 kW) y giran a 94 r.p.m.

c) Tren medio (4 pases). Tren continuo de 4 cajas de laminación con velocidad variable. En este tren se dan 4 pases sucesivos en forma continua. El gasto másico se mantiene constante variando la velocidad.

d) Tren terminador continuo (4 pases). Tren continuo de cuatro cajas de laminación con velocidad variable y regulable en cada caja. En este tren se dan cuatro pases sucesivos en forma continua. El gasto másico se mantiene constante variando la velocidad.

e) Tren continuo (2 pases). Tren continuo de 2 cajas de laminación con velocidad variable y reducción fija caja a caja H-V (horizontal – vertical).

f) Tren de alambrón o monobloco (6 pases). Tren continuo de 6 pases con aumento de velocidad caja a caja, para garantizar que se pueda mantener el gasto másico. Tren continuo de reducción fija caja a caja. Es un tren continuo H-V (horizontal - vertical).

g) Sistemas de enfriamiento y salida.

g.1) Sistema de enfriamiento y salida controlado para garantizar propiedades mecánicas definidas (proceso **Thermex**).

g.2) Plancha de enfriamiento, tijera de corta a medida, empaquetamiento.

g.3) Stelmor.

h) Procesos de deformación en frío.

h.1) Proceso de enderezado de varillas (redondo de 6 y 8 mm.).

h.2) Enderezado y torsionado de varillas de 6 y 8 mm.

h.3) Torsionado de redondo 10, 12, 16, 19, 22, 25, 28, 32 mm.

h.4) Enderezado de perfiles (ángulos y planchuelas).

Antes de la revolución industrial, el acero era un material caro que se producía en escala reducida para fabricar armas, principalmente. Los componentes estructurales de máquinas, puentes y edificios eran de hierro forjado o fundiciones. Las fundiciones son aleaciones de hierro con carbono entre 2.5% y 5%. La aleación que contiene el 4.3% se conoce como "eutéctica" y es aquella donde el punto de fusión es mínimo, 1130°C. Esta temperatura es mucho más accesible que la del punto de fusión del hierro puro (1537°C). Los chinos ya en el siglo VI de nuestra era, conocían y aprovechaban la composición eutéctica para producir fundiciones en hornos de leña. Eran hornos, mayores que los europeos y por su mayor escala podían alcanzar temperaturas superiores a los 1150°C. El producto de estos hornos era una aleación líquida llamada arrabio que contenía abundantes impurezas. Por su baja temperatura de fusión, el arrabio servía como punto de partida para la fabricación de hierro fundido, al cual solamente se le eliminaban las impurezas manteniendo un alto contenido de carbono.

El arrabio, ya en estado sólido, servía también para producir hierro forjado. Usualmente se introducía en lingotes a hornos de carbón de leña, dotados de sopladores de aire. El oxígeno del aire reaccionaba con el carbono y otras impurezas del arrabio formándose así escoria líquida y una esponja de hierro. El hierro esponja, casi puro, se mantenía sólido y la escoria líquida se removía a martillazos.

La maquinaria básica para el conformado de piezas estructurales se desarrolló mucho antes que la aparición en escala masiva del acero. En Massachusetts, desde 1648, operaban molinos de laminación para producir alambρόn y barras de hierro forjado. La laminación consiste en hacer pasar un trozo de metal maleable a través de un sistema de dos rodillos, como se indica en la figura. Al girar los rodillos aplanan al metal. A veces los rodillos tienen acanalados que sirven para conformar barras; o arreglos más caprichosos para producir perfiles en forma de T o I, o alguna otra configuración.

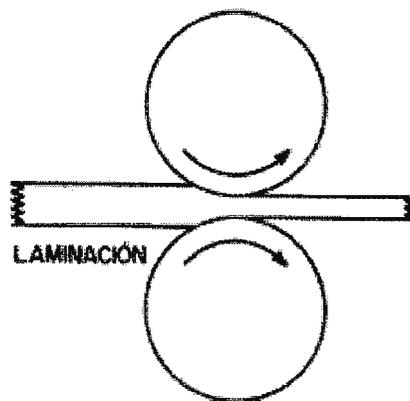


Fig. c. Otra figura que muestra el Proceso de laminación. Una placa o una barra de acero, generalmente al rojo vivo, se pasa por unos rodillos donde se produce un cambio en la sección transversal con la geometría deseada.

A principios del siglo XVIII ya había en Suecia y en Inglaterra laminadores movidos por molinos de agua. La máquina de vapor de Watt fue aplicada para este uso por primera vez en 1786. A mediados del siglo XIX se producían por laminación rieles para ferrocarril de 40 m de largo; se usaba de manera generalizada el martillo de vapor y se fabricó el primer buque interoceánico hecho a base de hierro forjado. El buque, llamado *SS Great Britain* fue construido con doble capa de hierro y con cinco compartimentos. Su peso fue de 8 000 toneladas, cuatro de las cuales fueron de la hélice. El casco se construyó traslapando placas unidas con remaches a un poderoso marco de vigas.

Problema de Laminación

En un marco de un tren de laminación en frío se realiza una reducción del 20% a una plancha de 4 mm de espesor y ancho de 900 mm a una velocidad de 5 m/s. El material sigue la ley de Hollomon $\bar{\sigma} = 40\bar{\varepsilon}^{0.2}$. El diámetro de los rodillos es de 500 mm y el coeficiente de roce es 0.4.

- Determine la distribución de presiones sobre el cilindro si existe una tensión de la lámina a la salida de 5 Kg/mm².
- Determine la posición teórica del punto de no deslizamiento para las condiciones en a)
- Determine la carga de laminación teórica.
- Determine la potencia teórica requerida para realizar el proceso.
- Determine la carga de laminación por un método simplificado.
- Determine la potencia requerida para realizar el proceso por un método simplificado.

a.-

En la sección de salida

$$\frac{P_s}{\bar{\sigma}_0} = e^{K\varphi} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} + \frac{4}{\sqrt{3}K^2} - \frac{\sigma_{x1}}{\bar{\sigma}_0} \right) - \frac{4}{\sqrt{3}K^2} (1 + K\varphi)$$

En la sección de entrada

$$\frac{P_e}{\bar{\sigma}_0} = e^{K(\varphi_0 - \varphi)} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} + \frac{4}{\sqrt{3}K^2} (1 - K\varphi_0) \right) - \frac{4}{\sqrt{3}K^2} (1 - K\varphi)$$

$$\varphi_0 = \tan^{-1} \sqrt{\frac{h_0}{h_1} - 1} = \tan^{-1} \sqrt{\frac{4}{3.2} - 1} = 0.4637 = \underline{26.57^\circ} \quad \alpha_0 = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} = \sqrt{\frac{0.8}{250}} = 0.0566 = \underline{3.25^\circ}$$

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{k}{n+1} \bar{\varepsilon}^n; \quad \bar{\varepsilon} = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{h_0}{h_1} = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{4}{3.2} = 0.257; \quad \Rightarrow \bar{\sigma}_0 = \frac{40}{1.2} 0.257^{0.2} = \underline{25.4 \frac{Kg}{mm^2}}$$

$$K = 2\mu \sqrt{\frac{R}{h_1}} = 2 \times 0.4 \sqrt{\frac{250}{3.2}} = \underline{7.07}$$

Salida:

$$\frac{P_s}{25.4} = e^{7.07\varphi} (1.0044) - 0.0462(1 + 7.07\varphi) \quad \varphi_p \geq \varphi \geq 0$$

Entrada:

$$\frac{P_e}{25.4} = e^{7.07(0.4637 - \varphi)} (1.0447) - 0.0462(1 - 7.07\varphi) \quad \varphi_0 \geq \varphi \geq \varphi_p$$

$$p_s|_{\varphi=0} = 24.34 \frac{kg}{mm^2}$$

$$p_e|_{\varphi=\varphi_0} = 29.21 \frac{kg}{mm^2}$$

$$p|_{\varphi=\varphi_p} = p_{\max} \text{ en b. -}$$

b.- Punto de no deslizamiento $P_e = P_s$

$$e^{7.07(0.4637-\varphi)}(1.0447) - 0.0462(1 - 7.07\varphi) - e^{7.07\varphi}(1.0044) + 0.0462(1 + 7.07\varphi) = 0$$

resolviendo, $\varphi_p = \underline{0.2367}$

$$\Rightarrow \alpha_p = \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{h_1}{R}} \tan \varphi_p \right) = \underline{0.0273 = 1.563^\circ}$$

Con $\varphi_p = 0.2367$ en P_e o P_s $p_{\max} = \underline{132.86 \frac{kg}{mm^2}}$

c.- Carga de laminación teórica

$$P = R w \left[\int_0^{\alpha_p} p_s(\varphi)(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) d\alpha + \int_{\alpha_p}^{\alpha_0} p_e(\varphi)(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) d\alpha \right]$$

Reemplazar $\varphi = \tan^{-1}(8.839 \tan \alpha)$ en P_e y P_s e integrar numéricamente.

d.- Potencia teórica

Momento Torsor

$$M = \mu R^2 w \left[\int_{\alpha_p}^{\alpha_0} p_e(\varphi) d\alpha - \int_0^{\alpha_p} p_s(\varphi) d\alpha \right]$$

Reemplazar $\varphi = \tan^{-1}(8.839 \tan \alpha)$ en P_e y P_s e integrar numéricamente.

Velocidad angular

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{5}{0.25} = 20 \frac{1}{seg}$$

Potencia $W = M \times \omega \frac{Kg - mm}{s}$

e.- Carga de laminación método simplificado

Según EKELUND

$$\frac{P}{w} = \bar{S} \sqrt{R' \Delta h} \left(1 + \frac{1.6 \mu \sqrt{R' \Delta h} - 1.2 \Delta h}{h_0 + h_1} \right)$$

$$\bar{S} = \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma}_0$$

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{k}{n+1} \bar{\varepsilon}^n; \quad \bar{\varepsilon} = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{h_0}{h_1} = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{4}{3.2} = 0.257; \quad \Rightarrow \bar{\sigma}_0 = \frac{40}{1.2} 0.257^{0.2} = 25.4 \frac{Kg}{mm^2}$$

$$\bar{S} = 29.5 \frac{kg}{mm^2}$$

$$R' = R \left(1 + c \frac{P}{w \Delta h} \right); \quad c = 3.34 \times 10^{-4} \left(\frac{in^2}{ton} \right) \times \frac{1}{1000} \frac{ton}{kg} \times 25.4^2 \frac{mm^2}{in^2} = 2.15 \times 10^{-4} \frac{mm^2}{kg}$$

$$R' = 250 \left(1 + \frac{2.15 \times 10^{-4} P}{0.8 w} \right) \Rightarrow \text{Se reemplaza en la ecuación de EKELUND}$$

$$\frac{P}{w} = 1043.7 \frac{kg}{mm} \Rightarrow P = 939360 kg \quad \text{Sin tensión de salida}$$

$$P' = P \left(1 - \frac{\sigma_{x1}}{\sigma_0} \frac{\alpha_p}{\alpha_0} \right) = 939360 \left(1 - \frac{5}{25.4} \frac{1.563}{3.25} \right) = 850431 kg$$

f.- Potencia según método simplificado

Torque:

$$M = P \frac{L_p}{2} \quad L_p = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{250 \times 0.8} = 14.14 mm$$

$$M = 850431 \frac{14.14}{2} = 6012 Kg - m$$

Potencia:

$$N = M \times \omega = 6012 \times 20 = 120251 \frac{kg - m}{s} = 1180 KW$$

ANEXO 10: Ciclo de Histéresis, Programa de Cálculo de Transformadores, Inventario del Proceso en CITT.

Ciclo de Histéresis.

El ciclo de histéresis puede observarse construyendo una estación de prueba como la mostrada posteriormente en estos anexos. El ciclo de histéresis es básicamente la curva de saturación de un transformador de material magnético. La curva representa el nivel de intensidad de corriente en el eje x, y el nivel de flujo de campo magnético en el eje y.

Después de aplicar una corriente al material bajo prueba, se produce un flujo magnético que va desde el centro de un eje de referencia hasta el punto de saturación. Como se le aplica un voltaje de alimentación senoidal al transformador, cuando la corriente empieza a decaer debido a que empieza a disminuir el nivel de voltaje senoidal, y por lo tanto, también empieza a disminuir la señal del ciclo de histéresis regresando a un nivel de flujo magnético de cero, aunque lo hace por una ruta diferente. Para la señal senoidal negativa se describe un comportamiento similar, aunque en sentido contrario. En la figura a se observa el ciclo de histéresis generalizado para cualquier material, siendo M_s el flujo magnético de saturación del material, M_r es el flujo magnético remanente y B_c la intensidad de campo magnético coercitivo.

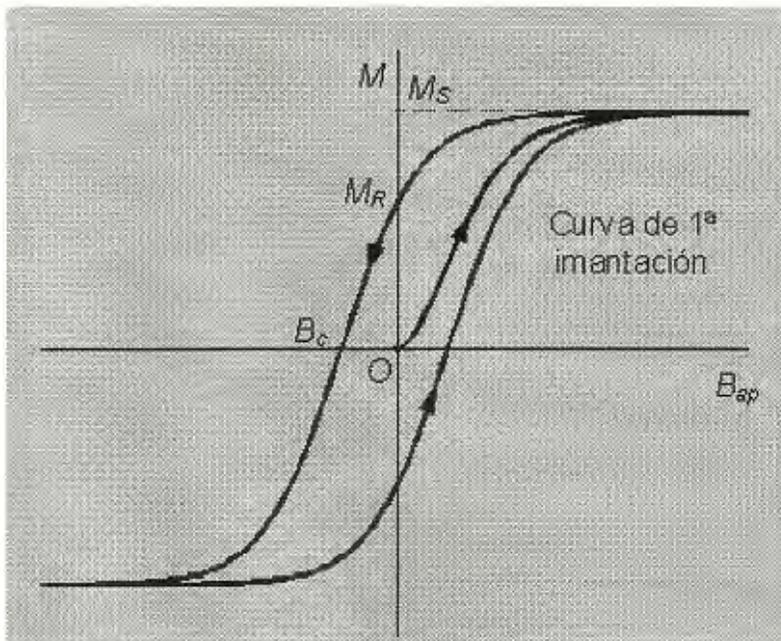
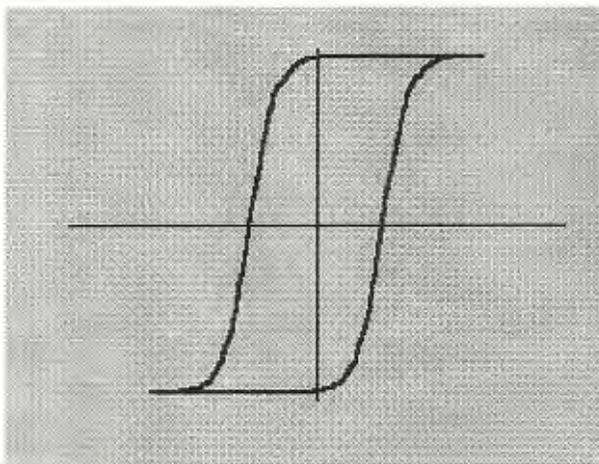


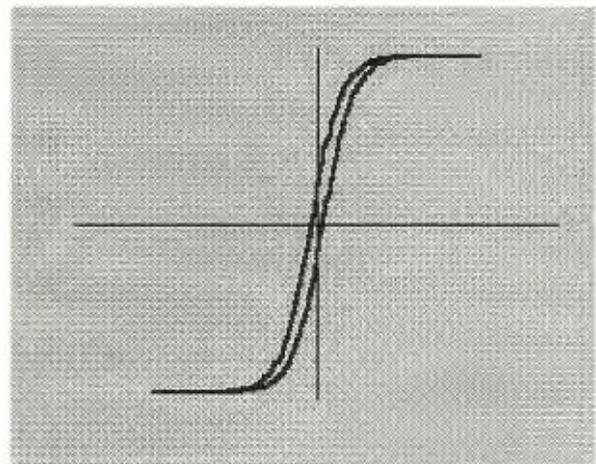
Fig. a. comportamiento del ciclo de histéresis de un material

Es muy importante aclarar que la cantidad de flujo magnético presente en el núcleo depende no sólo de la intensidad de la corriente en el núcleo, sino también depende del flujo remanente que había quedado almacenado en el material magnético. Recuérdese que un material magnético puede almacenar una cantidad de flujo, algo similar al comportamiento de un electroimán. Esta dependencia del flujo remanente y la aplicación de una intensidad de corriente capaz de saturar el material es lo que produce el ciclo de histéresis de un material, del cual se analiza la estación de pruebas que se describe posteriormente.

El área incluida en la curva de histéresis es proporcional a la energía disipada en forma de calor en el proceso irreversible de imantación y desimantación. Si este área es pequeña, las pérdidas de energía en cada ciclo será pequeña, y el material se denomina magnéticamente blando. La comparación entre un material duro y un material blando puede observarse en la figura b.



Material "duro"



Material "blando"

Fig. b. Comparación entre un material magnéticamente duro y un material magnéticamente blando

A continuación se describe porque se produce el ciclo de histéresis: Antes de analizar el comportamiento de los materiales magnéticos, es necesario conocer

algo acerca de su estructura. Los átomos de hierro de metales similares entre sí (níquel, cobalto, etc.) tienden a tener sus campos magnéticos alineados cercanamente entre sí. Dentro de los metales hay pequeñas regiones conocidas como dominios.

En cada dominio, los átomos están alineados con sus campos magnéticos apuntando al azar, así que cada dominio dentro del material actúa como un pequeño imán permanente orientado en diferentes direcciones. Cuando un campo magnético externo es aplicado a una serie de numerosos dominios orientados al azar, los dominios tratan de orientarse en la misma dirección de la del campo magnético, de manera que se produce un aumento en la cantidad de flujo magnético del material.

Cuando todos los átomos y los dominios están alineados con respecto al campo magnético externo, cualquier incremento adicional de la fuerza magnetomotriz hará que se produzca la saturación del material magnético. Se supone que el material está ya en condiciones de lograr su punto de saturación, o sea que ya están determinadas las condiciones de voltaje externo para que se dé tal situación.

Para determinar las propiedades de un material ferromagnético es necesario evaluar el ciclo de histéresis correspondiente del material. Para ello, se deben de usar los datos correspondientes de un material específico para realizar los cálculos de diseño con el propósito de que las especificaciones esperadas para los transformadores cumplan los rangos de las tolerancias de diseño.

Por esa razón es imprescindible contar con una estación de prueba de propiedades ferromagnéticas. Los pasos básicos para construir la estación de prueba y para obtener las propiedades ferromagnéticas del material se detallan a continuación.

- a. Primero se determinan los amperios-vuelta de diseño del material. Para ello se pueden utilizar dos láminas del material bajo prueba, de las cuales se procede a tomar las siguientes dimensiones: Longitud media del núcleo

(lc), espesor del núcleo (2 láminas), área del núcleo (A_c); luego tomamos un valor de B de referencia según las gráficas mostradas. Con estos datos determinamos los amperios-vuelta de diseño utilizando la fórmula $Ni = Blc/\mu$, donde $\mu = \mu_r \mu_0$, siendo μ_r la permeabilidad del material y μ_0 la permeabilidad del aire.

- b. Se determinan las espiras de la bobina de excitación. En esta parte del proceso obtenemos las espiras de la bobina auxiliándonos de un valor de corriente para una fuente de voltaje pequeña, la cual puede asumirse como un valor de corriente entre 0.1 y 0.3 A. La fórmula despejada que nos proporcionará el número de espiras de la bobina es la siguiente:
$$N = (Blc/\mu)/i.$$
- c. Se construye el circuito de prueba para medir las propiedades de ese material. El circuito de prueba a construir y los materiales necesarios para lograr este objetivo se observan en la figura 1. y en la tabla a del ejemplo que se muestra en este apartado. El objetivo de este circuito es observar las dos señales de prueba en los dos canales del osciloscopio de doble traza, para ello deberá presionarse el botón x-y para que el osciloscopio despliegue en la pantalla las variables respectivas según el sistema de ejes x-y.
- d. Con la estación de prueba se observa directamente el ciclo de histéresis del material en un osciloscopio. Los pasos necesarios para lograr este objetivo son: Arme el circuito que se muestra en la figura 1. del ejemplo, aplicando las señales $V_3(t)$ al canal 1 y $V_4(t)$ al canal 2, observándose las polaridades indicadas. Alimente el circuito con un generador de funciones con un voltaje de unos 5Vpp a 200Hz. Luego presione el botón x-y para observar la curva de histéresis, ajustando los niveles de ganancia y voltaje del osciloscopio hasta obtener una señal medible en la pantalla del osciloscopio.

El siguiente ejemplo sirve para reforzar los pasos expuestos anteriormente.

Ejemplo.

- Utilizando dos láminas y conociendo el tipo de material a que pertenecen, o al menos asumiendo el comportamiento con respecto a un material similar, se procede a tomar las dimensiones de la lámina:

Longitud media del núcleo (l_c): $l_c = 2(7) + 2(3.5) = 21\text{cm}$

Espesor del núcleo (2 láminas): 0.1cm

Área del núcleo: $A_c = 1.75 \times 0.1 = 0.18\text{cm}^2$

- Para determinar los amperios-vuelta de diseño en condiciones de saturación se utiliza la gráfica de saturación (B vrs, H) del material de referencia.

Si utilizamos: $B = 1.6$ Tesla, punto al cual satura el material

Permeabilidad del material: $\mu_r = 2000$ H/m

Permeabilidad del aire: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m

Determinamos: $\mu = \mu_r \mu_0 = 2000 (4\pi \times 10^{-7}) = 2.51 \times 10^{-3}$ H/m

Luego se utiliza la fórmula para obtener los amperios-vuelta:

$Ni = Bl_c / \mu = 1.6 \text{ Tesla} (0.21\text{m}) / 2.51 \times 10^{-3} \text{ H/m} = 133.86 \text{ A-v}$

- De la fórmula anterior se determinan las espiras de las bobinas, despejando la fórmula anterior:

$N = (133.86 \text{ A-v}) / i = (133.86 \text{ A-v}) / 0.25\text{A} = 535 \text{ A-v}$; de donde $i = 0.25\text{A}$ al utilizar una pequeña fuente de voltaje.

Antes de construir el circuito de prueba, asignamos el voltaje pico con que se conectará el circuito utilizando la siguiente fórmula:

$\phi = BA_c = 1.6 \text{ Tesla} (1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^2) = 2.88 \times 10^{-5} \text{ Wb}$ ó V.seg

$\epsilon = N\phi = 535 (2.88 \times 10^{-5} \text{ Wb}) = 0.02 \text{ V.seg}$

$\epsilon_{\text{pico}} = \epsilon / T = 0.02\text{seg} / (1/500) = 10\text{Vpico}$; donde $T = 1/f$, $f = 500\text{Hz}$

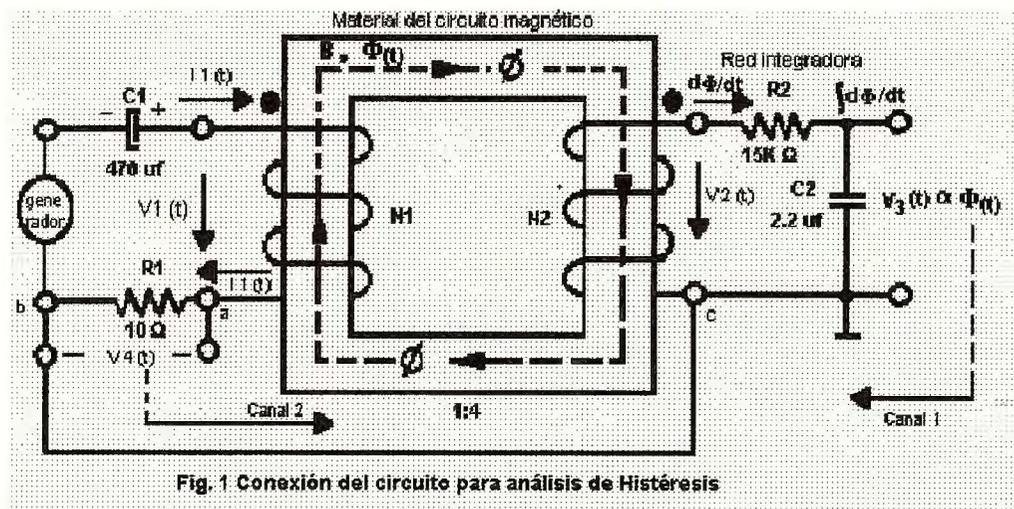
- El circuito de prueba a construir se muestra en la figura 1. siendo la función de sus elementos principales la siguiente:

$R = 10\Omega$, sirve para conocer la caída de tensión y obtener una muestra de corriente.

$C = 2\mu F$, el cual sirve para conformar la red integradora.

$R = 15k\Omega$, también conforma la red integradora.

$C = 470\mu F$, la cual sirve para filtrar la señal de entrada proporcionada por el generador o fuente de alimentación del circuito.



Observando los datos en el osciloscopio se obtuvieron los siguientes datos:

$$V_{10\Omega} = 4 \text{cuadros} \times 0.5 \text{escala} = 2.0 \text{ voltios}$$

$$I_{10\Omega} = V_{10\Omega} / R = 2.0 / 100 = 0.020 \text{ A}$$

Ahora se encuentra fmm y H:

$$fmm = Ni = 535 \times 0.020 = 107 \text{ A-v}$$

$$H = (fmm) / lc = (107 \text{ A-v}) / 21 \text{cm} = 5.0 \text{ A-v/cm}$$

$$V_{inducido} = 1.8 \text{cuadros} \times 5.0 \text{escala} = 9.0 \text{ voltios}; f = 77 \text{Hz}$$

Utilizando la Ley de Faraday, $E_s = V_{inducido} = 9.0 \text{ voltios}$ y $f = 77 \text{Hz}$, determinamos el valor de ϕ utilizando la siguiente fórmula:

$$N_s (d\phi/dt) = \varepsilon(t)$$

Despejando, sustituyendo los datos e integrando la ecuación anterior, obtenemos el valor de ϕ

$$\phi = 1.9 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

Con lo cual determinamos B:

$$B = \phi / A_c = 1.9 \times 10^{-5} \text{ Wb} / 1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 1.1 \text{ Tesla}$$

Los datos de B y H obtenidos prácticamente se comparan con los datos de la gráfica de saturación del material; de esta manera se observa si el material cumple las propiedades predeterminadas. Por último, es importante resumir el material y equipo necesarios para poder instalar la estación de pruebas ferromagnéticas, los cuales se muestran en la tabla a.

No.	Cantidad	Descripción
1	1	Osciloscopio de 2 trazos
2	1	Generador de funciones
3	5	Transformadores de diferentes tipos de núcleo.
4	1	Resistencia 10Ω / $\frac{1}{2} \text{ w}$
5	1	Resistencia $15\text{k} \Omega$ / $\frac{1}{2} \text{ W}$ (o $22\text{k}\Omega$)
6	1	Capacitor de $2.2 \mu\text{F}$ / 63 V (o $2\mu\text{F}$)
7	1	Capacitor de $470 \mu\text{F}$ (Electrolítico mayor de 40 V en corriente alterna).
8	1	Fuente bipolar para alimentación del generador.
9	2	Láminas del material a prueba

Tabla a. Material y equipo necesarios para montar la estación de pruebas de material ferromagnético

Programa de Cálculo de Transformadores.

Un programa sencillo, realizado en una hoja de cálculo EXCEL, se muestra a continuación.

El programa realiza los cálculos de los elementos necesarios para la construcción de transformadores de baja tensión: Tipo de conductor a utilizar, número de vueltas en la bobina del primario, número de vueltas en las bobinas de los secundarios pudiendo ser el transformador monofásico, bifásico o trifásico y número de láminas a utilizar. El programa se limita a realizar los cálculos según las condiciones de entrada del transformador, las corrientes en la bobina del primario y en las bobinas del secundario, así como también el ancho de las ventanas del núcleo pueden variar cambiando los valores en las celdas de color verde las cuales son las condiciones de entrada del programa.

Las celdas de color amarillo son las variables de salida del programa que dependen de las condiciones o variables de entrada manejadas al cambiara los valores de las celdas de color verde.

Si se introducen datos fuera de rango en las celdas de color verde como variables de entrada, el programa presenta datos incoherentes en algunas de sus celdas de color amarillo o variables de salida, las cuales lógicamente indican que se presenta algún error al momento de introducir las variables de entrada.

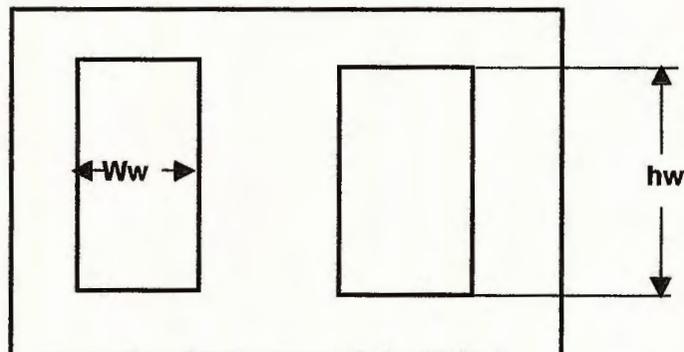
Además la hoja de cálculo presenta los datos que se presentan al correr el programa. La hoja de cálculo representa un método de realizar un programa básico sencillo y que de manera similar podría realizarse para otro tipo de transformadores o equipos que presenten cálculos en su diseño constructivo, aunque la misma podría ser mejorada posteriormente para ir obteniendo mejores resultados. A continuación se muestra la presentación de la misma.

Cambiar unicamente los valores que se encuentran en las celdas en color verde.

Parametros de entradas			
Eléctricos			
Volt. Primario	220 V	Corriente primario	2.50 A
Volt. Secundario (1)	50.00 V	Corriente secund. (1)	8.00 A
Volt. Secundario (2)	25.00 V	Corriente secund. (2)	3.00 A
Volt. Secundario (3)	5.00 V	Corriente secund. (3)	4.00 A
Frecuencia	60 HZ		
Físicos			
Altura de la ventana (hw)	6.20 cm	Ancho pierna central	2.22 cm
Ancho de la ventana (Ww)	1.19 cm	Ancho pierna lateral	1.11 cm
Tipo de lamina	1 *		
Temperatura máxima	60 °C	Eficiencia	90 %

Parametros de salida			
Físicos			
Conductor primario	0	Conductor S2	19
Conductor S1	15	Conductor S3	18
# de capas del primario	11	# de capas del S2	2
# de vueltas del primario	48	# de vueltas del S2	30
# de capas del S1	61	# de capas del S3	1
# de vueltas del S1	2	# de vueltas del S3	12
# de laminas a utilizar (EI)	205.00		

- * 1 = 0.63mm de 2.5 a 3% silicio (25 ó 60 HZ)
 2 = calibre 29 lámina acero (400 HZ)
 3 = 0.18mm aceros reducidos en frío (400 HZ)



S nominal 495 VA
 S con efici. 550.0 VA
 Ip 2.50 A
 Flujo 12,400 B

Espiras/cm Primario
 FALSO
 FALSO
 FALSO
 9.5
9.5

Nº de conductor
 AWG Primario
 FALSO
 FALSO
 FALSO
 FALSO
0

Acomodamiento (mm)
 FALSO
 FALSO
 1.18
 FALSO
1.18

Margen (mm)
 Primario
 FALSO
 FALSO
 3.97
 FALSO
3.97

Nº de conductor
 AWG
 Secundario1
 FALSO
 FALSO
 FALSO
 15
15

Area de ventana
i
 7.38 cm²
 FALSO

Ac
tp
 259.00 espiras
 28.60 cm²

Nº de conductor
 AWG
 Secundario2
 FALSO
 FALSO
 FALSO
 19
19

Grueso pierna central
*tp**
ts1
ts2
ts3
 12.88
 525.34 espiras
 120.00 espiras
 59.00 espiras
 12.00 espiras

Nº de conductor
 AWG
 Secundario3
 FALSO
 FALSO
 FALSO
 18
18

Espira*capas (P) 51.357
 #capas* 11
 Esp * capas (P) reales 48
 Espira*capas (S1) 31.552
 #capas* 61
 Esp * capas (S1) reales 2.00
 Espira*capas (S2) 45.15
 #capas* 2
 Esp * capas (S2) reales 30.00
 Espira*capas (S3) 40.425
 #capas* 1
 Esp * capas (S3) reales 12.00

Lp 21.57 cm
 Ls1 58.54 cm
 Ls2 91.36 cm
 Ls3 92.71 cm

Espiras/cm	FALSO	Margen	FALSO	Acomodamiento	FALSO
Secundario	FALSO	(mm) S 1	FALSO	(mm)	FALSO
	FALSO		FALSO		FALSO
	6.4		6.35		1.66
	6.4		6.35		1.66

Espiras/cm	FALSO	Margen	FALSO	Acomodamiento	FALSO
Secundario	FALSO	(mm) S 2	FALSO	(mm)	FALSO
	FALSO		4.75		1.18
	8.6		FALSO		FALSO
	8.6		4.75		1.18

Espiras/cm	FALSO	Margen	FALSO	Acomodamiento	FALSO
Secundario	FALSO	(mm) S 3	FALSO	(mm)	FALSO
	FALSO		4.75		1.36
	7.7		FALSO		FALSO
	7.7		4.75		1.36

Las variables de entrada que se muestran en las celdas de color verde, las cuales pueden modificarse dentro de los rangos de trabajo disponibles en el programa se listan a continuación:

Volt. Primario
Volt. Secundario (1)
Volt. Secundario (2)
Volt. Secundario (3)
Frecuencia
Altura de la ventana (hw)
Ancho de la ventana (Ww)
Tipo de lamina
Temperatura máxima

Donde el tipo de lámina está limitado a las siguientes condiciones:

- 1 = 0.63mm de 2.5 a 3% silicio (25 ó 60 HZ)
- 2 = calibre 29 lámina acero (400 HZ)
- 3 = 0.18mm aceros reducidos en frío (400 HZ)

Corriente secund. (1)
Corriente secund. (2)
Corriente secund. (3)
Ancho pierna central
Ancho pierna lateral
Eficiencia

Las variables de salida que se obtiene por medio del programa y que se ubican en las celdas de color amarillo son las siguientes:

Corriente primario

Conductor primario
Conductor S1
de capas del primario
de vueltas del primario
de capas del S1
de vueltas del S1
de laminas a utilizar (E I)

Conductor S2
Conductor S3
de capas del S2
de vueltas del S2
de capas del S3
de vueltas del S3

Además se muestran a continuación las fórmulas que se han utilizado en la hoja de cálculo para obtener todos los parámetros de salida necesarios para el cálculo de transformadores de baja tensión.

Se muestran sólo algunas de las fórmulas utilizadas, esto debido a que hay fórmulas demasiado largas, por lo tanto no es necesario colocar todas las fórmulas necesarias para la realización de este programa, las cuales vendrían a utilizar espacio innecesario dentro de este documento. Además se corre el riesgo de dañar el resultado de los cálculos ya que para mostrar las fórmulas es necesario abrir las celdas que las contienen, y esto podría traer como consecuencia que se coloque otro dato en alguna celda lo cual dañará todo el programa, que dicho de paso está protegido contra escritura. A la derecha del final de cada fórmula, y en negrillas, se encuentra la celda y la columna a que pertenece dicha fórmula.

=C8*F8+C9*F9+C10*F10 **K5**

=SI(Y(C11=25;C15=1);14700;SI(Y(C11=60;C15=1);12400;SI(Y(C11=400;C15=2);6200;SI(Y(C11=400;C15=3);12400)))) **K8**

=SI(Y(0.4<=K7;K7<0.5);20.9;SI(Y(0.5<=K7;K7<0.63);18.6;SI(Y(0.63<=K7;K7<0.8);16.6;SI(Y(0.8<=K7;K7<1.01);14.6;SI(Y(1.01<=K7;K7<1.27);13.4;SI(Y(1.27<=K7;K7<1.6);11.9)))))) **K11**

=C13*C14 **K20**

=SI(K13=76.8;38;SI(K13=70;37;SI(K13=62;36;SI(K13=55.5;35;SI(K13=49.5;34;SI(K13=44.5;33;SI(K13=39.3;32)))))) **N9**

Nº de conductor AWG Secundario1 **O20**

=SUMA(P22:P25) **P26**

=SUMA(T16:T19) **T20**

=SI(R32=7.7;4.75;SI(R32=6.9;4.75;SI(R32=6.4;6.35))) **T31**
=SI(R20=76.8;0.127;SI(R20=70;0.152;SI(R20=62;0.165;SI(R20=55.5;0.182;
SI(R20=49.5;0.198;SI(R20=44.5;0.217;SI(R20=39.3;0.251)))))) **V16**
=SI(R20=34.6;0.278;SI(R20=31;0.305;SI(R20=28.2;0.34;SI(R20=25.5;0.38;
SI(R20=23;0.42;SI(R20=20.9;0.47;SI(R20=18.6;0.53)))))) **V17**
=SI(R20=16.6;0.59;SI(R20=14.6;0.65;SI(R20=13.4;0.75;SI(R20=11.9;0.82;
SI(R20=10.7;0.97;SI(R20=9.5;1.07;SI(R20=8.6;1.18)))))) **V18**
=SI(R20=7.7;1.36;SI(R20=6.9;1.51;SI(R20=6.4;1.66))) **V19**
=SI(R32=76.8;0.127;SI(R32=70;0.152;SI(R32=62;0.165;SI(R32=55.5;0.182;
SI(R32=49.5;0.198;SI(R32=44.5;0.217;SI(R32=39.3;0.251)))))) **V28**
=SI(R32=34.6;0.278;SI(R32=31;0.305;SI(R32=28.2;0.34;SI(R32=25.5;0.38;
SI(R32=23;0.42;SI(R32=20.9;0.47;SI(R32=18.6;0.53)))))) **V29**
=SI(R32=7.7;1.36;SI(R32=6.9;1.51;SI(R32=6.4;1.66))) **V30**

Inventario del Proceso de Producción de Transformadores en el CITT.

Breve Descripción del Proceso.

A continuación se presenta un inventario del equipo mínimo disponible en las instalaciones del CITT para poder montar una planta de construcción de transformadores. Se mencionan diferentes áreas, y además se hace énfasis en el laboratorio de construcciones electromecánicas, esto por su área de trabajo disponible la cual es relativamente grande.

Este inventario nos da una idea de los elementos mínimos necesarios para montar una planta de construcción de transformadores, aunque no necesariamente debe ser en los locales anteriormente mencionados.

Máquinas Disponibles	Cantidad	Local
Horno a 220V	1	Construcciones Electromecánicas
Bobinadora manual	5	Construcciones Electromecánicas
Bobinadora automática	1	Construcciones Electromecánicas
Medidores para pruebas de aislamiento: Testers, conectores, fuente 5KVdc	2	Construcciones Electromecánicas
Soldadores 110V	3	Construcciones Electromecánicas
Máquina barnizadora	1	Construcciones Electromecánicas
Megger	3	Construcciones Electromecánicas

Tabla b. Máquinas disponibles en Construcciones Electromecánicas del CITT

Máquinas Disponibles en Otras Áreas	Cantidad	Local
Espectrómetro de precisión	1	Metrología
Troqueladora	1	Mecánica
Máquina para pruebas de dureza	1	Mecánica
Estación de prueba del ciclo de histéresis	3	Máquinas Eléctricas

Tabla c. Máquinas disponibles en otras áreas del CITT

Máquinas Faltantes
Inyectora de plástico
Remachadora
Bandas transportadoras
Cuchillas cortadoras
Laminadora

Tabla d. Máquinas faltantes para el proceso

Para conformar el proceso de producción de transformadores dentro de las instalaciones del CITT, se podrían utilizar las máquinas que se señalan en las tablas b y c mencionadas anteriormente.

Un resumen de la posibilidad de una instalación industrial dentro de las instalaciones del CITT se describe a continuación.

- Se adquiere la lámina magnética según pedido a las distribuidoras que se muestran en los anexos al final, para lo cual es necesario una inversión inicial en dólares según precios mostrados.
- Antes de adquirir lotes grandes de lámina, y si existe la posibilidad, es importante realizarle la prueba espectrométrica al material en el local de metrología del CITT, tal y como se describe en el apartado 4.1. de este documento; así nos aseguramos que el material por adquirir posee las características magnéticas que cumplan con los parámetros de los transformadores a construir.
- Teniendo láminas del material magnético, el CITT deberá tener un cierto número de matrices para troquelar lámina de material magnético; la descripción del método para fabricar las matrices para troquelar lámina se muestra del apartado 3.3.1. al apartado 3.3.4.
- Las láminas se cortan con una serie de máquinas como las mostradas del apartado 4.2.1. al apartado 4.2.6. En esta parte del documento se describió el proceso necesario para cortar material, específicamente lámina para el núcleo de transformadores, aunque el proceso de corte en general puede servir para realizar otras aplicaciones. En las instalaciones de mecánica del CITT sólo se cuenta con una máquina troqueladora, habiendo ausencia de las otras máquinas necesarias para realizar los procesos de corte de los núcleos.
- Teniendo las láminas para el núcleo, puede procederse a fabricar las bobinas, para ello es necesario el uso de las máquinas bobinadoras que se encuentran en el local de construcciones electromecánicas del CITT.

El alambre para construir las bobinas puede adquirirse en los locales mencionados en el capítulo 1 del presente documento, o además se tienen las opciones de compra según pedido a las distribuidoras que se muestran en los anexos al final, adquisición requerida en dólares, lo cual sugiere una inversión inicial como toda empresa que inicia un ciclo productivo.

- Los carretes para el núcleo pueden fabricarse con una máquina inyectora de plástico tal y como se describe en el apartado 4.2.7. de este documento o en su defecto pueden fabricarse carretes de cartón en el apartado 3.4.1. Una máquina inyectora similar a la descrita en este documento actualmente se encuentra en uso en el local del Polígono Industrial Don Bosco de San Salvador. Si al CITT le interesa la producción de elementos de plástico inyectado pueden hacerse las gestiones necesarias para la producción masiva de los carretes. Este método productivo podría resultar un poco caro debido a la complejidad de la matriz inyectora de plástico, cuyo precio oscila entre unos 90000 a 100000 colones.
- Después de tener los núcleos, las bobinas y los carretes puede procederse al ensamble manual de los elementos, de esta manera se conformarían los transformadores casi terminados.
- Dentro de las instalaciones del CITT, específicamente en construcciones electromecánicas, hay un horno que puede utilizarse para el secado de los transformadores, previo baño de barniz. Este horno es un horno tipo industrial que funciona a 220V.
- Después de este proceso puede procederse al montaje de los terminales de conexión, proceso que perfectamente puede realizarse en las instalaciones del CITT. Al final, y utilizando los meggers, deberán de realizársele las pruebas de aislamiento a los transformadores terminados. Este proceso se describe en el apartado 3.6.4., en el cual se menciona el control de calidad de los transformadores.

ANEXO 11: Opciones de Compra de Información Referente a Diferentes Procesos de Materiales y Distribuidoras en los Estados Unidos y Países Extranjeros.

En las páginas siguientes se muestra el precio de la bibliografía necesaria para la compra del material que describe diversos procesos productivos de materiales magnéticos.

Además se muestra la bibliografía de los directorios con las diferentes direcciones en las cuales se pueden adquirir diferentes tipos de materiales magnéticos en Los Estados Unidos y países extranjeros.

Otra alternativa que se observa es la de diferentes tipos de materiales magnéticos como las ferritas y vidrios metálicos.

Aunque es necesario una inversión inicial, estas páginas anexas nos muestran el material necesario que puede servir como apoyo para el desarrollo tecnológico en países como el nuestro, y a largo plazo realmente sólo se estaría pagando el papeleo del material bibliográfico a adquirir.

BCC

To Purchase items from this Table of Contents, click on the button next to each item, then click "Add to Cart".

home



Add to Cart

Clear Marked Items

search

services

register

user services

subscribers

shopping
cart:

view cart

checkout

about

help

IMR Mall

Business Communications Company, Inc.
SOFT MAGNETIC MATERIALS
Date: Jul-96

INTRODUCTION TO SOFT MAGNETIC MATERIALS \$ 30.00

OVERVIEW (\$ 30.00)

SUMMARY \$ 30.00

CONDENSED SUMMATION (\$ 30.00)

INDUSTRY OVERVIEW \$ 210.00

OVERVIEW (\$ 30.00)

PRICES OF SOFT MAGNETIC MATERIALS WITH TABLE (\$ 30.00)

U.S. MARKETS PART I WITH MARKET TABLE (\$ 30.00)

U.S. MARKETS PART II (\$ 30.00)

U.S. MARKETS PART III (\$ 30.00)

U.S. MARKETS PART IV (\$ 30.00)

MARKET SHARE FOR SOFT MAGNETIC MATERIALS, WITH TABLE (\$ 30.00)

TECHNOLOGY REVIEW \$ 150.00

OVERVIEW, IMPORTANT PROPERTIES PART I (\$ 30.00)

IMPORTANT PROPERTIES PART II (\$ 30.00)

SOFT MAGNETIC MATERIALS USED FOR MOTORS AND GENERATORS WITH TABLE (\$ 30.00)

SOFT MAGNETIC ALLOYS USED FOR TRANSFORMERS PART I: WITH TABLE (\$ 30.00)

SOFT MAGNETIC ALLOYS USED FOR TRANSFORMERS PART II, ELECTROMAGNETS AND RELAYS, OTHER APPLICATIONS (\$ 30.00)

ELECTRICAL STEELS \$ 390.00

OVERVIEW, MATERIALS AND TYPES (\$ 30.00)

ASTM LETTER CODE DESIGNATIONS TABLE FOR ELECTRICAL STEEL AND LAMINATION STEEL GRADE

- NONORIENTED, GRAIN-ORIENTED ELECTRICAL STEELS (\$ 30.00)
- PROPERTIES WITH TABLE PART I (\$ 30.00)
- PROPERTIES WITH TABLE PART II (\$ 30.00)
- FABRICATION PROCESS (\$ 30.00)
- APPLICATIONS WITH TABLE (\$ 30.00)
- NEW DEVELOPMENTS AND RECENT PATENTS (\$ 30.00)
- RECENT PATENTS; TECHNICAL ISSUES (\$ 30.00)
- INDUSTRY STRUCTURE AND MARKETS - U.S. PLAYERS (\$ 30.00)
- INDUSTRY STRUCTURE AND MARKETS - WCI STEEL PRODUCT INFORMATION TABLE; TABLE OF FOREIGN PRODUCERS (\$ 30.00)
- PRICES AND COMPETITION (\$ 30.00)
- U.S. MARKETS PART I (\$ 30.00)

- COLD-ROLLED LAMINATION STEEL \$ 300.00**
 - OVERVIEW, MATERIALS AND TYPES (\$ 30.00)
 - TABLE: GRADES OF COLD-ROLLED MOTOR LAMINATION STEEL (\$ 30.00)
 - PROPERTIES, WITH TABLES (\$ 30.00)
 - TABLE: MAXIMUM CORE LOSS FOR U.S. STEEL GRADES; FABRICATION PROCESS (\$ 30.00)
 - APPLICATIONS FOR COLD-ROLLED LAMINATION STEEL, WITH TABLE (\$ 30.00)
 - NEW DEVELOPMENTS, RECENT PATENTS (\$ 30.00)
 - INDUSTRY STRUCTURE AND MARKETS: U.S. COMPANIES, FOREIGN PLAYERS (\$ 30.00)
 - PRICES AND COMPETITION (\$ 30.00)
 - U.S. MARKETS PART I (\$ 30.00)
 - U.S. MARKETS PART II WITH MARKET TABLE (\$ 30.00)

- FERROMAGNETIC AMORPHOUS STEEL \$ 1440.00**
 - OVERVIEW, MATERIALS, TYPES PART I (\$ 30.00)
 - TYPES PART II: METAL-METALLOID SYSTEMS WITH TABLES (\$ 30.00)
 - METAL-METAL SYSTEMS, FABRICATION PROCESS (\$ 30.00)
 - PROPERTIES OF METALLIC GLASSES PART I: WITH TABLE (\$ 30.00)
 - PROPERTIES OF METALLIC GLASSES PART II: WITH TABLE (\$ 30.00)
 - CHEMICAL, THERMAL, ELECTRICAL PROPERTIES (\$ 30.00)
 - MAGNETIC PROPERTIES WITH TABLE (\$ 30.00)
 - METGLAS ALLOY PROPERTIES TABLE, NONIRON-BASED METGLAS ALLOY PROPERTIES TABLE (\$ 30.00)
 - APPLICATIONS (\$ 30.00)
 - MERITS AND RELATIVE COST OF METGLAS PRODUCTS FOR ELECTROMAGNETIC APPLICATIONS TABLE (\$ 30.00)

- Ⓒ METGLAS MATERIALS AND TYPICAL APPLICATIONS TABLE (\$ 30.00)
- Ⓒ TRANSFORMERS PART I (\$ 30.00)
- Ⓒ TRANSFORMERS PART II WITH TABLES (\$ 30.00)
- Ⓒ COMPARISON TABLE OF MAGNETIC PROPERTIES OF TYPICAL AMORPHOUS METAL; TABLE OF PROTC CORE LOSS COMPARISON (\$ 30.00)
- Ⓒ TABLE OF COMPARATIVE PERFORMANCE OF AMORPHOUS VS. SILICON UNITS (\$ 30.00)
- Ⓒ TYPICAL PERFORMANCE OF 25-Kva PILOT TRANSFORMERS WITH SILICON-IRON TRANSFORMERS W. TABLE (\$ 30.00)
- Ⓒ TEST BY U.S. NAVY; EXPERIENCE WITH THE UTILITIES (\$ 30.00)
- Ⓒ POWER TRANSFORMERS; CURRENT TRANSFORMERS (\$ 30.00)
- Ⓒ OTHER APPLICATIONS PART I (\$ 30.00)
- Ⓒ OTHER APPLICATIONS PART II (\$ 30.00)
- Ⓒ NEW DEVELOPMENTS AND RECENT PATENTS - OVERVIEW, POWERCORE CONSOLIDATED STRIP, WT TABLE (\$ 30.00)
- Ⓒ HIGH-FREQUENCY EDDY CURRENT LOSS REDUCTION IN METALLIC GLASSES; MAGNETIC PROPERTII SURFACE-TREATED FE-SI-B AMORPHOUS ALLOY (\$ 30.00)
- Ⓒ OPTIMUM SOLUTE CONCENTRATION FOR GOOD GLASS FORMABILITY; SURFACE OXIDATION OF FE40NI40B20 METALLIC GLASSES (\$ 30.00)
- Ⓒ FORCE TRANSDUCER USING AMORPHOUS FERROMAGNETIC RIBBONS, TRANSFORMER CORES (\$ 30.00)
- Ⓒ RECENT PATENTS PART I (\$ 30.00)
- Ⓒ RECENT PATENTS PART II (\$ 30.00)
- Ⓒ RECENT PATENTS PART III (\$ 30.00)
- Ⓒ RECENT PATENTS PART IV (\$ 30.00)
- Ⓒ RECENT PATENTS PART V (\$ 30.00)
- Ⓒ MAJOR TECHNICAL ISSUES (\$ 30.00)
- Ⓒ INDUSTRY STRUCTURE AND MARKETS: U.S. SUPPLIERS (\$ 30.00)
- Ⓒ INDUSTRY STRUCTURE AND MARKETS: FOREIGN SUPPLIERS PART I (\$ 30.00)
- Ⓒ INDUSTRY STRUCTURE AND MARKETS: FOREIGN SUPPLIERS PART II (\$ 30.00)
- Ⓒ MAJOR USERS PART I (\$ 30.00)
- Ⓒ MAJOR USERS PART II (\$ 30.00)
- Ⓒ MAJOR USERS PART III (\$ 30.00)
- Ⓒ MAJOR USERS PART IV (\$ 30.00)
- Ⓒ FOREIGN COMPANIES (\$ 30.00)
- Ⓒ ECONOMICS (\$ 30.00)
- Ⓒ MAJOR BUSINESS ISSUES, PRICES WITH TABLE (\$ 30.00)
- Ⓒ U.S. MARKETS PART I: TRANSFORMERS PART I (\$ 30.00)
- Ⓒ U.S. MARKETS PART II: TRANSFORMERS PART II WITH MARKET TABLE (\$ 30.00)
- Ⓒ DISTRIBUTION TRANSFORMERS PART I (\$ 30.00)

WITH MARKET TABLE \$ 30.00

APPENDIX I GLOSSARY OF TERMS \$ 180.00

GLOSSARY FROM A - T (\$ 30.00)

**APPENDIX II - U.S. COMPANIES PRODUCING AND SUPPLY
SOFT MAGNETIC MATERIALS \$ 120.00**

U.S. COMPANIES: A (\$ 30.00)

U.S. COMPANIES: B - C (\$ 30.00)

U.S. COMPANIES: F - I (\$ 30.00)

U.S. COMPANIES: L - M (\$ 30.00)

U.S. COMPANIES: N - P (\$ 30.00)

U.S. COMPANIES: S - W (\$ 30.00)

**APPENDIX III: FOREIGN COMPANIES INVOLVED IN SOFT
MAGNETIC MATERIALS \$ 120.00**

FOREIGN COMPANIES: A - E (\$ 30.00)

FOREIGN COMPANIES: F - L (\$ 30.00)

FOREIGN COMPANIES: M - P (\$ 30.00)

FOREIGN COMPANIES: R - V (\$ 30.00)

**APPENDIX IV MAJOR U.S. DISTRIBUTORS, CUSTOM
FABRICATORS, AND USERS OF SOFT MAGNETIC MATERIALS \$**

U.S. COMPANIES: A - D (\$ 30.00)

U.S. COMPANIES: E - L (\$ 30.00)

U.S. COMPANIES: M - O (\$ 30.00)

U.S. COMPANIES: P - W (\$ 30.00)



Add to Cart

Clear Marked Items

©Copyright 1999, Business Communications Company, Inc.. All Rights Reserved.

©Hypertext Implementation Copyright 1998, RBM Technology, Inc.. All rights reserved

PROPERTIES PART I: MECHANICAL PROPERTIES WITH TABLE OF SELECTED MAGNETIC PROPERTIES DIFFERENT NICKEL-IRON ALLOYS (\$ 30.00)

PROPERTIES PART II: TABLES OF MAGNETIC PROPERTIES OF SOME COMMON NICKEL-IRON ALLOYS

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES: FABRICATION PROCESS (\$ 30.00)

TABLES OF MAGNETIC PROPERTIES OF LOW-NICKEL, HIGH-NICKEL ALLOYS SUPPLIED BY METALIMF ALLOYS CORP. (\$ 30.00)

TABLE OF TYPICAL HEAT TREATMENTS AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF NICKEL-II ALLOYS (\$ 30.00)

APPLICATIONS PART I - WITH TABLE (\$ 30.00)

APPLICATIONS PART II (\$ 30.00)

NEW DEVELOPMENTS AND RECENT PATENTS, INDUSTRY STRUCTURE AND MARKETS PART I (\$ 30.00)

INDUSTRY STRUCTURE AND MARKETS PART II - U.S. PLAYERS, FOREIGN PLAYERS (\$ 30.00)

PRICES AND COMPETITION (\$ 30.00)

U.S. MARKETS WITH MARKET TABLE (\$ 30.00)

IRON POWDER CORE \$ 150.00

OVERVIEW, MATERIAL TYPES (\$ 30.00)

PRODUCTION, PROPERTIES (\$ 30.00)

APPLICATIONS, NEW DEVELOPMENTS PART I (\$ 30.00)

NEW DEVELOPMENTS PART II (\$ 30.00)

INDUSTRY STRUCTURE: PLAYERS, PRICES, U.S. MARKETS WITH TABLE (\$ 30.00)

OTHER SOFT METALLIC MAGNETIC MATERIALS \$ 360.00

OVERVIEW, HIGH PURITY IRONS (\$ 30.00)

COMPARISON TABLE OF PROPERTIES OF LOW-CARBON IRONS, STEEL, AND SILICON-IRON BAR PRC AND HEAVY STRIP (\$ 30.00)

SILICON-IRON BAR AND HEAVY STRIP MANUFACTURING, APPLICATIONS, INDUSTRY STRUCTURE AND MARKETS (\$ 30.00)

U.S. COMPANIES, MARKETS (\$ 30.00)

IRON-ALUMINUM AND IRON-ALUMINUM-SILICON ALLOYS: NEW DEVELOPMENTS, RECENT PATENTS

IRON-COBALT ALLOYS: TYPES AND PROPERTIES, WITH TABLE (\$ 30.00)

IRON-COBALT ALLOYS: NEW DEVELOPMENTS, INDUSTRY STRUCTURE AND MARKETS (\$ 30.00)

IRON-COBALT ALLOYS: PRICE AND COMPETITION, U.S. MARKETS WITH TABLE (\$ 30.00)

SOLENOID-QUALITY STAINLESS STEEL: MANUFACTURING, NEW DEVELOPMENTS (\$ 30.00)

SOLENOID-QUALITY STAINLESS STEEL: INDUSTRY STRUCTURE AND MARKETS, U.S. COMPANIES (\$

SOLENOID-QUALITY STAINLESS STEEL: PRICES, U.S. MARKETS WITH MARKET TABLE (\$ 30.00)

OVERALL MARKETS, TABLE OF U.S. MARKET FOR OTHER SOFT MAGNETIC MATERIALS (\$ 30.00)

U.S. MARKETS FOR SOFT MAGNETIC MATERIALS: OVERVIEW

- Ⓒ DISTRIBUTION TRANSFORMERS PART II WITH MARKET TABLE (\$ 30.00)
- Ⓒ HIGH-FREQUENCY CORE APPLICATIONS, ELECTRONIC ARTICLE SURVEILLANCE (\$ 30.00)
- Ⓒ RECORDING HEADS, COMBINED MARKETS WITH MARKET TABLE (\$ 30.00)
- Ⓒ FOREIGN MARKETS: OVERVIEW, PACIFIC RIM COUNTRIES (\$ 30.00)
- Ⓒ FOREIGN MARKETS: EUROPE, INDIA AND CHINA (\$ 30.00)

Ⓒ **SOFT FERRITES \$ 750.00**

- Ⓒ OVERVIEW, MATERIALS (\$ 30.00)
- Ⓒ TYPES OF SOFT FERRITES PART I (\$ 30.00)
- Ⓒ TYPES OF SOFT FERRITES PART II (\$ 30.00)
- Ⓒ PROPERTIES WITH TABLE (\$ 30.00)
- Ⓒ TABLE OF TYPICAL MAGNETIC CHARACTERISTICS OF MN-ZN AND ZI- ZN SOFT FERRITES (\$ 30.00)
- Ⓒ PROPERTIES OF REPROGRAPHIC FERRITE CORES (\$ 30.00)
- Ⓒ FABRICATION PROCESS (\$ 30.00)
- Ⓒ APPLICATIONS WITH TABLE OF SOFT FERRITE MAGNETIC DEVICES AND THEIR APPLICATIONS, NONMICROWAVE MATERIAL (\$ 30.00)
- Ⓒ TABLE OF SOFT FERRITE APPICATIONS (\$ 30.00)
- Ⓒ TELECOMMUNICATIONS APPLICATIONS (\$ 30.00)
- Ⓒ POWER, CONSUMER APPLICATIONS (\$ 30.00)
- Ⓒ RECORDING HEADS, COMPUTER MEMORIES CARRIER CORES FOR COPYING MACHINES (\$ 30.00)
- Ⓒ MICROWAVE FERRITES (\$ 30.00)
- Ⓒ NEW DEVELOPMENTS AND RECENT PATENTS - U.S. DEVELOPMENTS (\$ 30.00)
- Ⓒ FOREIGN DEVELOPMENTS (\$ 30.00)
- Ⓒ RECENT PATENTS IN SOFT FERRITES PART I (\$ 30.00)
- Ⓒ RECENT PATENTS IN SOFT FERRITES PART II (\$ 30.00)
- Ⓒ RECENT PATENTS IN SOFT FERRITES PART III (\$ 30.00)
- Ⓒ RECENT PATENTS IN SOFT FERRITES PART IV (\$ 30.00)
- Ⓒ RECENT PATENTS IN SOFT FERRITES PART V (\$ 30.00)
- Ⓒ INDUSTRY STRUCTURE AND MARKETS: U.S., FOREIGN PLAYERS (\$ 30.00)
- Ⓒ PRICES AND COMPETITION PART I (\$ 30.00)
- Ⓒ PRICES AND COMPETITION PART II: SHORTAGE OF FERRITE CORES, INTERMATERIAL COMPETITION FOREIGN COMPETITION (\$ 30.00)
- Ⓒ U.S. MARKETS PART I WITH TABLE (\$ 30.00)
- Ⓒ U.S. MARKETS PART II WITH MARKET TABLE; FOREIGN MARKETS (\$ 30.00)

Ⓒ **NICKEL-IRON ALLOYS \$ 360.00**

- Ⓒ OVERVIEW, MATERIALS AND TYPES (\$ 30.00)