

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



"DISEÑO DE UNA MAQUINA DE SOLDAR POR PUNTOS CO
CONTROL DE ESTADO SOLIDO"

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRICISTA

D. DAVID HUARACROJAS

PROMOCION : 82-1

LIMA- PERU

1997

SUMARIO

Las ondas de voltaje y corriente industrial tienen forma sinusoidal, modificando la forma de onda se gobierna la potencia. La duración de las corrientes es de pocos segundos de acuerdo al espesor de las planchas y a la fuerza de compresión. La temporización electrónica permitirá manejar las corrientes con intervalos de precisión. La hipótesis más importante que guiaron la investigación son: Dar los parámetros necesarios para el diseño del transformador, realizar el control y temporización con semiconductores del estado sólido

Se empezó recopilando datos de máquinas similares. Se ha utilizado el método científico-experimental porque partimos de leyes, modelos e hipótesis para en base a ello experimentar y alcanzar el objetivo buscado.

Los resultados del diseño en su implementación nos muestra lo siguiente: El transformador es una máquina especial, en los cuales se ha asumido parámetros de otros transformadores con cargas de trabajo similares, como es el de arco trayendo como consecuencia resultados satisfactorios en el funcionamiento.

**" DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE SOLDAR POR
PUNTOS CON CONTROL DE ESTADO SÓLIDO"**

TITULO : "Diseño de una máquina de soldar por puntos con control de estado sólido"

AUTOR : David Huarac Rojas

GRADO QUE OPTA : Título Profesional de:
Ingeniero Electricista

FACULTAD : Ingeniería Eléctrica y Electrónica

UNIVERSIDAD : Universidad Nacional de Ingeniería

CIUDAD : Lima

ANO : 1997

EXTRACTO

La tesis se desarrolla en seis capítulos.

En los capítulos I y II se realiza el diseño conceptual de la máquina. Que consiste en una recopilación y selección sistemática de información teórica y empírica , sistema por sistema , que se relacionan con el objetivo, de establecer parámetros que gobiernen el comportamiento de los sistemas.

En el capítulo III se realiza los cálculos que están destinados a dimensionar el transformador , basados en las decisiones tomadas en los capítulos anteriores.

En el capítulo IV se realiza el diseño del aparato de mando , regulación y el temporizador.

En el capítulo V se da la estructura de la máquina , aparato de mando de esfuerzo y la refrigeración de los portaelectrodos.

En el capítulo VI se realiza el análisis económico de costo de la máquina.

INDICE

EXTRACTO	V
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
SOLDADURA POR PUNTOS	3
1.1 Generalidades.	3
1.1.1 La industria en el Perú	3
1.1.2 Realidad tecnológica nacional	3
1.2 Fundamento teórico.	4
1.3 Dispositivos eléctricos.	6
1.3.1 Transformador de soldadura	8
1.4 Aparatos de mando, regulación y esfuerzo.	9
1.4.1 Aparatos de mando y regulación	9
1.4.2 Mandos para aplicar esfuerzo	9
1.5 Estructura mecánica.	10
CAPITULO II	
TRANSFORMADOR DE SOLDADURA	11
2.1 Principios teóricos.	11
2.1.1 Circuito equivalente del transformador	11
2.2 Ecuaciones fundamentales.	15
2.2.1 Potencia para servicio intermitente	15
2.2.2 Tensión específico	15

2.2.3	Sección del núcleo	19
2.2.4	Dimensiones de la ventana	19
2.2.5	Pérdidas en el transformador	21
2.2.6	Longitud media del circuito magnético	23
2.2.7	Corriente magnetizante del transformador	24
2.2.8	Corriente en vacío del transformador	25
2.2.9	Reactancia de dispersión	25
2.2.10	Resistencia de los devanados en D.C.	27
2.2.11	Resistencia de los devanados en A.C.	28
2.2.12	Peso del núcleo	28
2.3	Procesos transitorios en el transformador	29
2.3.1.	Proceso transitorio al conectar el transformador a la red	29
2.3.2	Proceso transitorio durante el cortocircuito en el transformador	30
2.3.3	Temperatura admisible en los elementos de un transformador	33
CAPITULO III		
DISEÑO DEL TRANSFORMADOR PROTOTIPO		37
3.1	Especificaciones de diseño	37
3.2	Cálculo de la tensión específica	38
3.3	Cálculo de la sección del núcleo	38
3.3.1	Area del núcleo teórico	38
3.3.2	Area del núcleo neto	38
3.3.3	Espesor del núcleo	38
3.3.4	Número de planchas	38
3.3.5	Area del núcleo real	38
3.4	Dimensionado de la ventana	39
3.4.1	Area de la ventana	39
3.4.2	Ancho de la ventana	39

3.4.3	Altura de la ventana	39
3.5	Diseño de los devanados	39
3.5.1	Número de espiras del primario	39
3.5.2	Número de espiras del secundario	39
3.5.3	Cálculo de la sección del conductor primario	39
3.5.4	Cálculo de la sección del conductor secundario	40
3.6	Aislamiento entre devanado, yugo y núcleo	44
3.7	Cálculo del número de capas de los devanados	40
3.7.1	Devanado primario	41
3.7.2	Devanado secundario	43
3.8	Dimensiones específicas del núcleo y de los devanados	44
3.9	Cálculo de la reactancia de dispersión	44
3.9.1	Reactancia de dispersión del primario	44
3.9.2	Reactancia de dispersión del secundario	45
3.10	Cálculo de la resistencia de los devanados	45
3.10.1	Resistencia D.C del primario	45
3.10.2	Resistencia D.C del secundario	46
3.10.3	Resistencia A.C del primario	46
3.10.4	Resistencia A.C del secundario	47
3.11	Cálculo del peso del núcleo	49
3.12	Longitud media del circuito magnético	49
3.13	Cálculo de la corriente magnetizante	49
3.14	Cálculo del peso de cobre	49
3.15	Cálculo de las pérdidas del transformador	49
3.15.1	Pérdidas en el hierro	49
3.15.2	Pérdidas en el cobre	50
3.16	Corriente de pérdidas del transformador	50

3.17	Corriente en vacío del transformador	50
3.18	Corriente de soldadura	50
3.18.1	Corriente de cortocircuito	51
3.19	Características de cortocircuito	53
3.19.1	Velocidad de crecimiento de la temperatura	53
3.19.2	Tiempo de cortocircuito límite	53
3.19.3	Tiempo de vida útil del devanado	54
CAPITULO IV		
DISEÑO DEL APARATO DE MANDO, REGULACION Y TEMPORIZADOR		55
4.1	Principios teóricos de mando , regulación y temporización	55
4.1.1	Principios teóricos del aparato de mando	55
4.1.2	Principios teóricos de regulación	60
4.1.3	Ecuaciones fundamentales de mando y regulación	62
4.1.4	Principios teóricos del temporizador	74
4.2	Diseño del aparato de mando	77
4.2.1	Elección del SCR	77
4.2.2	Cálculo de la red de desfase	82
4.2.3	Elección del detector cero- comparador	83
4.2.4	Circuito de disparo	83
4.2.5	Elección de la fuente de alimentación D.C. para Los circuitos auxiliares	84
4.3	Diseño del circuito de regulación	87
4.4	Diseño del temporizador	88
4.5	Circuito variador de potencia	88
4.6	Selección del transformador de pulsos	90
CAPITULO V		
ESTRUCTURA DE LA MAQUINA		92
5.1	Estructura de la máquina.	92

5.1.1 Soporte inferior y superior	92
5.1.2 Abertura de las consolas	95
5.1.3 Voladizo de los electrodos	95
5.2 Electrodo	95
5.3 Selección de los rodamientos	98
5.4 Selección del aparato de mando de esfuerzo	99
5.4.1 Principios teóricos	99
5.4.2 Selección de los resortes para el mando de esfuerzo	102
5.5 Refrigeración de los porta electrodos	106
CAPITULO VI	
ANALISIS ECONOMICO	108
6.1 Costos de la máquina.	108
6.1.1 El costo de fabricación	108
6.1.2 Costo directo	108
6.1.3 Costo indirecto	112
6.1.4 Costo total de la máquina	113
6.2 Costo horario de manufactura de la máquina	113
6.3 Tiempo de recuperación de la inversión	114
6.3.1 Fórmulas Matemáticas utilizadas	114
6.3.2 Cálculo del tiempo de recuperación	117
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
ANEXOS	121
BIBLIOGRAFIA	138

INTRODUCCION

Es importante alcanzar la innovación de máquinas , así de esta manera aportar al desarrollo tecnológico , con lo cual se puede impulsar la productividad con calidad a niveles óptimos. El presente trabajo, tiene una gran importancia tecnológica para nuestro medio , debido a que se logra diseñar una máquina que puede ser fabricado con el uso de materiales y máquinas con que se cuenta en el país y constituye un aporte importante a los intentos de generación de una tecnología nacional, mediante el diseño de una máquina que podrá ser operado por un hombre con características antropométricas de un Peruano.

En las maquinas de soldadura por puntos en el proceso del trabajo, realizan dos operaciones principales: la compresión que será realizado por el mando de esfuerzo y el calentamiento de las piezas a unir , para lo cual se utiliza la energía eléctrica de la red de alimentación industrial mediante un transformador reductor que permite obtener grandes corrientes de soldadura.

En la presente Tesis , se empieza haciendo el análisis y diseño del transformador, luego el mando y regulación , temporización y finalmente la selección de la estructura mecánica, del mando de esfuerzo , refrigeración de los electrodos.

Para el diseño del transformador de la máquina se han asumido valores experimentales de otros similares, porque no existen parámetros definidos para este tipo de máquina.

En una máquina convencional de soldadura por puntos se utiliza para suministrar Voltaje al devanado primario , por un determinado intervalo de tiempo los

Contactores , con el consecuente chisporroteo tanto en el cierre como en la apertura del mismo, ocasionando ruido. Eliminar estos dos problemas es posible con el suministro de Voltaje mediante un Control diseñado con dispositivos de estado sólido , en este caso utilizando rectificadores controlados de silicio SCR. Además este control es posible temporizarlo con gran precisión (desde cero hasta los milisegundos) electrónicamente lo cual redundará en la eficacia de la soldadura de la máquina de acuerdo al espesor de las superficies a unir .

CAPITULO I SOLDADURA POR PUNTOS

1.1 Generalidades.

La máquina de soldar por puntos, estará destinado a la producción en la pequeña y mediana industria metal mecánica nacional.

1.1.1 La industria en el Perú.

La industria en el Perú , se encuentra centralizada en la capital, el 62,25% de empresas formales se encuentran en Lima Metropolitana , el 5,4% en la provincia Constitucional del Callao , el 4,88% en Arequipa cómo se puede apreciar en el (cuadro No 1.1).

La distribución de los activos fijos industriales , es decir del tamaño de Empresa , también la mayor concentración se encuentra en Lima Metropolitana y en el Callao, siendo esta última la que posee las empresas industriales más grandes del país (CUADRO No 1.1).

Empresas registradas al año de 1979, con cinco o mas trabajadores.^[*0]

1.1.2 Realidad tecnológica nacional

La realidad tecnológica alcanzada por la industria nacional en su desarrollo es incipiente , la mayoría de las máquinas que utiliza la industria metal-mecánica son importadas . La alternativa en el proceso de desarrollo industrial no está en la compra

^[*0]FUENTE: ITENTEC "Evaluación Económica y social de la industria manufacturera, en el Perú" pág. 19

de tecnologías, ni en la importación de máquinas , sino en el desarrollo de una tecnología nacional ligado a una solución política que adopte el gobierno.

DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LA INDUSTRIA MANUFACTURERA EN EL PERU

DEPARTAMENTO	PORCENTAJE DE EMPRESAS
1. Lima Metropolitana	62,25%
2. Callao	5,40%
3. Arequipa	4,88%
4. Junin	3,76%
5. Loreto	3,67%
6. La Libertad	3,40%
7. Lambayeque	2,67%
8. Cuzco	2,33%
9. Ica	2,30%
10. Piura	1,97%
11. Lima (Provincias)	1,66%
12. Huánuco	1,07%
13. Ancash	0,74%
14. Cajamarca	0,73%
15. Tacna	0,65%
16. Puno	0,51%
17. Pasco	0,49%
18. San Martin	0,35%
19. Ayacucho	0,25%
20. Madre de Dios	0,23%
21. Moquegua	0,15%
22. Amazonas	0,14%
23. Tumbes	0,13%
24. Huancavelica	0,10%
25. Apurimac	0,09%

Cuadro 1 1

1.2 Fundamento teórico

La soldadura por puntos , es un proceso por el cual dos piezas no se sueldan a lo largo de toda la superficie de contacto , sino en unos determinados puntos , los que corresponden a los contactos entre las piezas y los electrodos (en forma de varillas)

que transmiten el esfuerzo y conducen la corriente . el método de la soldadura por puntos se basan en el calentamiento del metal por la corriente eléctrica que circula a través de las piezas . La cantidad de calor , en lo fundamental, depende de la intensidad de corriente, la duración y la resistencia del metal al paso de la misma en la zona de soldadura. En conclusión todas las máquinas de soldar por puntos realizan 2 operaciones principales que son la compresión y el calentamiento de las piezas a unir.

La resistencia eléctrica desempeña un papel esencial en los procesos de la soldadura. Al apretar las piezas una contra otra se forma un contacto en que dos superficies se conectan entre sí mediante un número insignificante de los puntos aislados . El área de contacto de cada punto y el número de puntos de contacto dependen del esfuerzo de compresión de las piezas , las propiedades mecánicas del metal y el estado de la superficie. Cuanto más blando sea el metal y cuanto menor sea la altura de la rugosidades en su superficie , tanto mas baja será la así llamada resistencia de contacto, siendo constante el esfuerzo de compresión. La resistencia de contacto se debe a la disminución brusca de la sección del conductor en la zona de contacto y a la presencia de películas de óxidos que tienen baja conductibilidad eléctrica en las superficies que van ha ser unidas. Al aumentar el esfuerzo de compresión algunos resaltos en la superficie del metal se aplastan , el área real de las piezas crece y la resistencia de contacto disminuye. La resistencia eléctrica del metal en lugar apretado entre los dos electrodos representa en si la suma de las resistencias siguientes : dos resistencias de contacto que surgen en los puntos de contacto de electrodos y piezas , una resistencia

de contacto en el lugar en que se juntan una pieza y la otra, y una resistencia intrínseca del metal de las dos piezas. Basados en experimentos se ha determinado que la resistencia de contacto entre el electrodo y la pieza es aproximadamente dos veces menor que la resistencia de contacto entre las piezas que se sueldan. Al conectar la corriente de soldadura, a costa de la concentración de las líneas de corriente, en primer lugar, se calientan los resaltos del contacto (figura 1.1). Y luego también el metal que se encuentra en la proximidad inmediatamente al contacto. Los electrodos que se usan Durante la soldadura por puntos se fabrican de las aleaciones de cobre que tiene alta conductibilidad térmica. Para que las superficies de las piezas, que entran en contacto con los electrodos, se calienten más lentamente que las capas internas del metal en la zona de soldadura, los electrodos se enfrían con agua. En la estructura de cualquier máquina pueden diferenciarse los dispositivos mecánicos eléctricos y de mando, sin embargo ciertas piezas pueden pertenecer tanto al dispositivo mecánico, como al eléctrico.

1.3 Dispositivos eléctricos.

El dispositivo eléctrico está destinado para cumplir un programa necesario de calentamiento del metal en la zona de soldadura. La máquina para soldar por puntos de corriente alterna esta compuesto de los siguientes elementos : El transformador,el interruptor estático y los aparatos de control . El circuito secundario incluye los electrodos que entran en contacto directo con las piezas y a la vez que suministran la

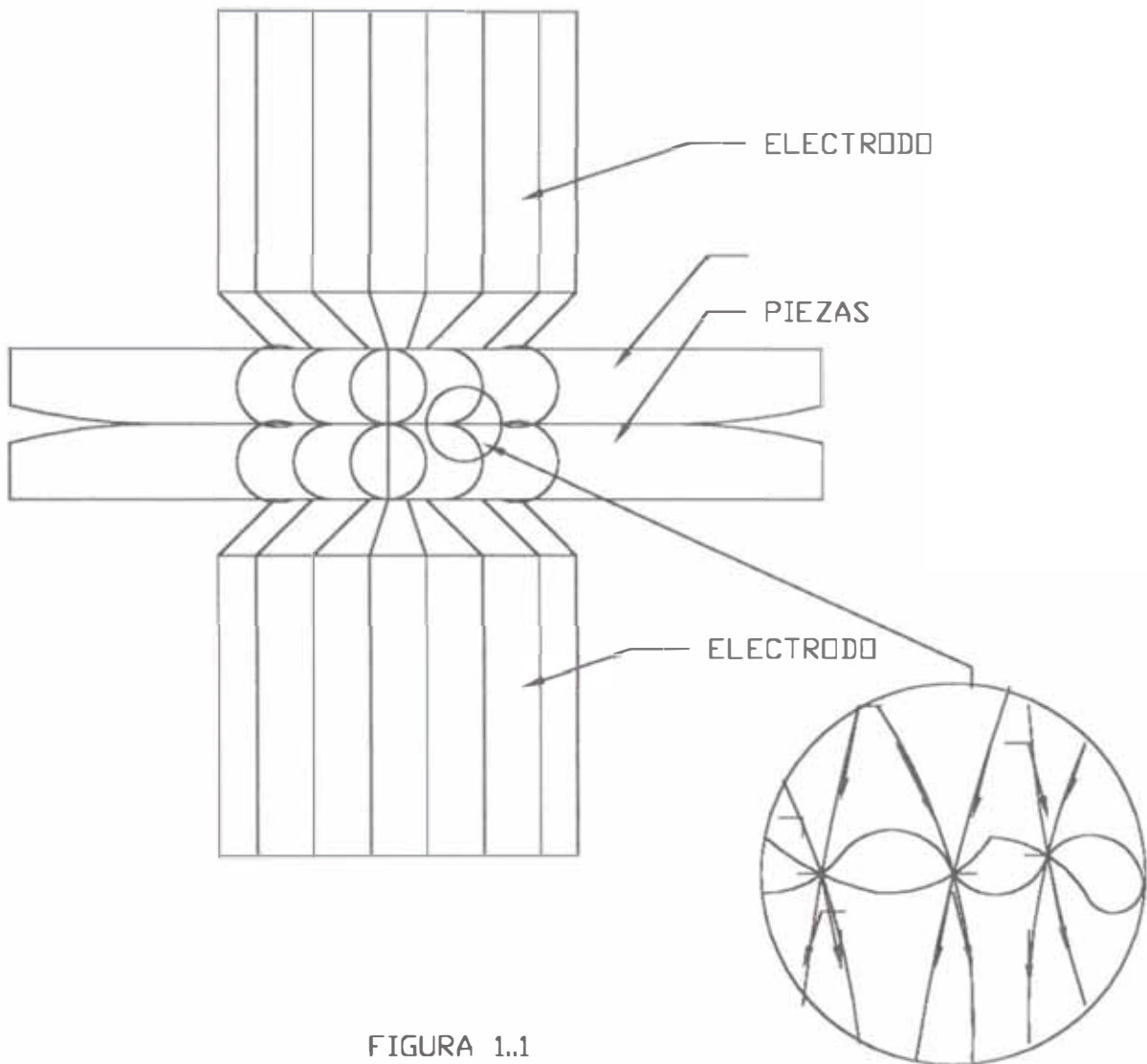


FIGURA 1.1
ESQUEMA DEL PROCESO DE
SOLDADURA POR PUNTOS

corriente y transmiten el esfuerzo; los porta electrodos , las consolas inferior y superior.

...Las dimensiones del circuito secundario(voladizo de electrodos y abertura de las consolas) y las secciones de los elementos conductores de la corriente determinan la resistencia eléctrica total del circuito.

...Los elementos conductores de la corriente del circuito secundario tienen las juntas de pernos, de cono o de cuña. La seguridad de los contactos eléctricos en estas juntas condiciona la estabilidad de resistencia del circuito secundario y por consiguiente, también la de la corriente de soldadura.

1.3.1 Transformador de soldadura.

Para transformar la energía eléctrica de la red de alimentación industrial en la energía necesaria para la soldadura , se utiliza un transformador reductor , con lo cual se obtiene grandes corrientes de soldadura en el orden de los KiloAmperios . En relación con la resistencia total relativamente pequeña del circuito secundario(se incluye la resistencia de la piezas a soldar). Estas corrientes grandes se logran a costa de una tensión baja en el devanado secundario del transformador los cuales se realizan con pocas espiras(no mayor que 10 V).

El transformador igual que otro cualquiera consta de tres conjuntos principales : El núcleo y los devanados primario y secundario. Cómo estos transformadores trabajan en el régimen de cargas repetidas de corta duración con corrientes grandes , los

arrollamientos sufren esfuerzos dinámicos considerables . Lo cual los satisface de modo óptimo el transformador con núcleo del tipo acorazado

1.4 Aparatos de mando, regulación y esfuerzo.

1.4.1 Aparatos de mando y regulación.

Para conectar y desconectar el transformador de soldadura a la red, sirven unos dispositivos especiales llamados interruptores de estado sólido (TIRISTORES) , a la vez también sirven para regular la corriente de soldadura. La duración de la corriente se controla con un temporizador del tipo electrónico.

El tiristor es un dispositivo semiconductor de Silicio que conduce la corriente al suministrarle impulsos de pequeña corriente y de corta duración a su electrodo llamado puerta(GATE).

Estos interruptores se conectan a la red en serie con el arrollamiento primario del transformador.

1.4.2 Mandos para aplicar el esfuerzo.

Los mandos para aplicar el esfuerzo en las máquinas para soldar por puntos tienen que desarrollar una fuerza estable y permitir una regulación suficientemente profunda.

En las máquinas se emplean diferentes tipos de mando para aplicar el esfuerzo (para el recalado y sujeción): de resortes, de pesas, de palancas, neumáticos e hidráulicos. Los mandos de resortes y de las pesas, por lo común se utilizan en las máquinas de potencia baja, donde se desarrollan esfuerzos hasta 150 KgF.

1.5 Estructura mecánica.

La parte principal del dispositivo mecánico de una máquina para soldar por puntos es el cuerpo , en el que están fijados el soporte inferior, que tiene la consola inferior y el portaelectrodo con electrodo y el soporte superior. Por lo común el soporte inferior se fabrica desplazable(de movimiento suave) por la altura lo que da la posibilidad de regular la distancia entre las consolas en dependencia de la forma y la dimensión de las piezas a soldar . El cuerpo ,los soportes superior e inferior o las consolas reciben el esfuerzo producido por el accionamiento de esfuerzo y por eso deben tener alta rigidez mecánica(sufrir pequeñas deformaciones por acción del esfuerzo). El cuerpo de la máquina ,los soportes superiores e inferiores por lo común se fabrican por soldadura de perfiles y laminados.

CAPITULO II TRANSFORMADOR DE SOLDADURA POR PUNTOS

2.1 Principios teóricos.

Utilizando el circuito eléctrico y magnético , encontraremos un modelo matemático equivalente , al producirse el contacto de las puntas del electrodo , con las piezas a unir , quedando casi en cortocircuito el secundario del transformador por breves segundos , de acuerdo al espesor de las piezas a soldar.

2.1.1 Circuito equivalente del primario

Al producirse corrientes grandes repetitivas , ocurren esfuerzos dinámicos apreciables, dicha exigencia mecánica lo cumple el núcleo del tipo acorazado. Utilizando analogía de circuito eléctrico, para el circuito magnético tenemos aproximadamente que las reluctancias R_1 y R_2 cumplen con: Fig.(2.1 y 2.2)

$$\text{En donde } R_1 = R_2 \quad (2.1)$$

Ecuación del circuito eléctrico del transformador en vacío

$$V_p = R_p I_p + N_p d \Phi_p / d_t \quad (2.2)$$

$$\text{donde : } \Phi_p = \Phi_{dp} + \Phi_m. \quad (2.3)$$

Φ_{dp} Flujo de dispersión del circuito primario

Φ_m Flujo de magnetización

De acuerdo a la definición de una Inductancia , se determina la de dispersión tanto del primario como la del secundario

$$L_{dp} = N_p * d \Phi_{dp} / d_{ip} \quad (2.4)$$

$$N * d \Phi / d_t = L * d_i / d_t \quad (2.5)$$

$$L_{ds} = N_s * d \Phi_{ds} / d_{is} \quad (2.6)$$

$$V_p = R_p * I_p + N_p * d / d_t (\Phi_{dp} + \Phi_m) \quad (2.7)$$

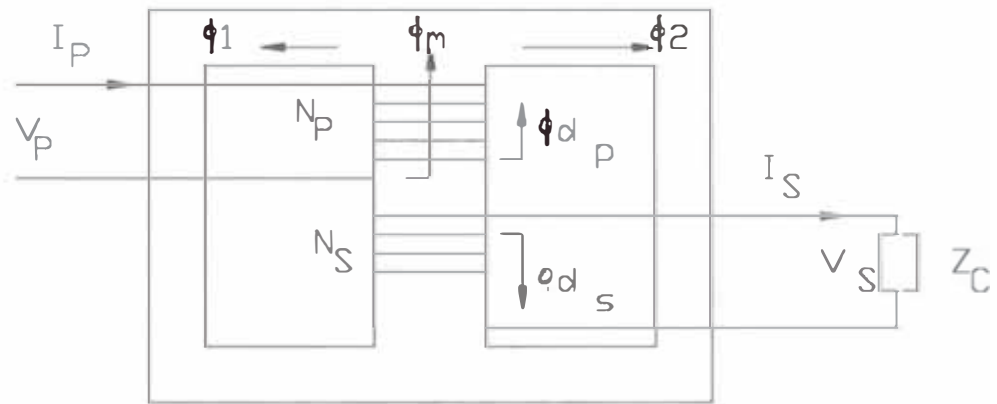


Figura 2.1
Circuito magnetico

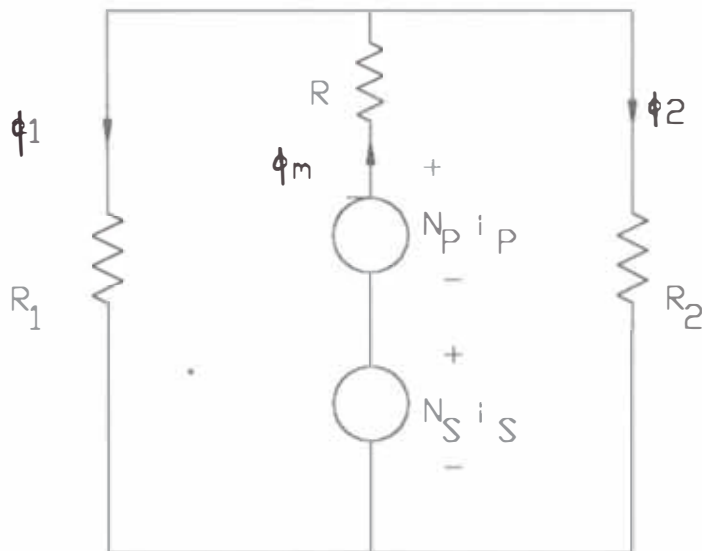


Figura 2.2
Analogia elettrica del
Circuito magnetico

$$V_p = R_p \cdot I_p + N_p \cdot d\Phi_{dp}/dt + N_p \cdot d\Phi_m/dt \quad (2.8)$$

luego simplificando la ecuación (2.8) se tiene:

$$V_p = R_p \cdot I_p + L_p \cdot dI_p/dt + L_m \cdot dI_m/dt. \quad (2.9)$$

Lo cual se puede representar mediante la Figura 2.3:

Circuito Eléctrico con carga en el secundario.

$$N_s \cdot d\Phi_s/dt + I_s \cdot R_s + V_s = 0. \quad (2.10)$$

$$- N_s \cdot d/dt(\Phi_{ds} - \Phi_m) = I_s \cdot R_s + V_s. \quad (2.11)$$

$$- N_s \cdot d\Phi_{ds}/dt + N_s \cdot d\Phi_m/dt = V_s + I_s \cdot R_s. \quad (2.12)$$

$$- L_s \cdot dI_s/dt + \varepsilon_s = V_s + I_s \cdot R_s. \quad (2.13)$$

De donde se tiene en la Figura 2.4:

$$\varepsilon_s = I_s \cdot R_s + L_s \cdot dI_s/dt + V_s \quad (2.14)$$

Considerando pérdidas en el núcleo:

Tenemos representado en la Figura 2.5

Circuito equivalente aproximado.

En la cual R_w es la resistencia representativa de las pérdidas en el núcleo, es decir

$$R_w = R_{wp} + R'_{ws} \quad (2.15)$$

R'_{ws} referidos al primario.

$$\text{También } L_m = L_{mp} + L'_{ms} \quad (2.16)$$

ambas la ubicamos en paralelo a la entrada del circuito, con lo cual estaremos dando cierto margen de seguridad en el cálculo de las pérdidas y de la corriente de magnetización, ya que estas dependen de la tensión aplicada. (Representado en la Figura 2.6)

Circuito equivalente aproximado referido al primario.

En este circuito todos los parámetros del secundario del transformador se refieren al primario.

Cuando se produce la corriente de soldadura, es decir al cortocircuitar los

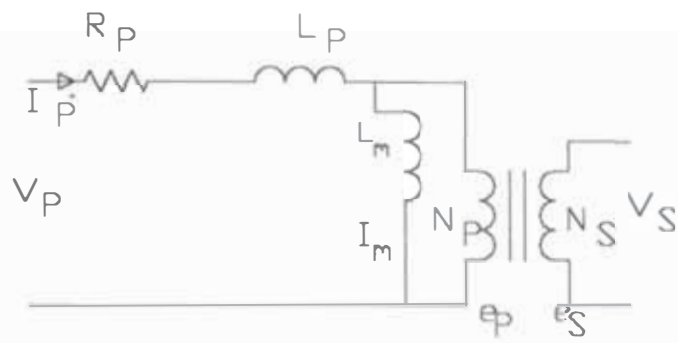


Figura 2.3
Circuito electrico en
vacío

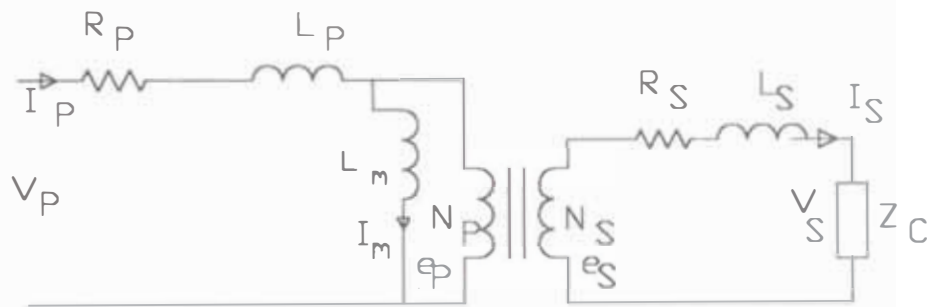


Figura 2.4
Circuito electrico
bajo carga

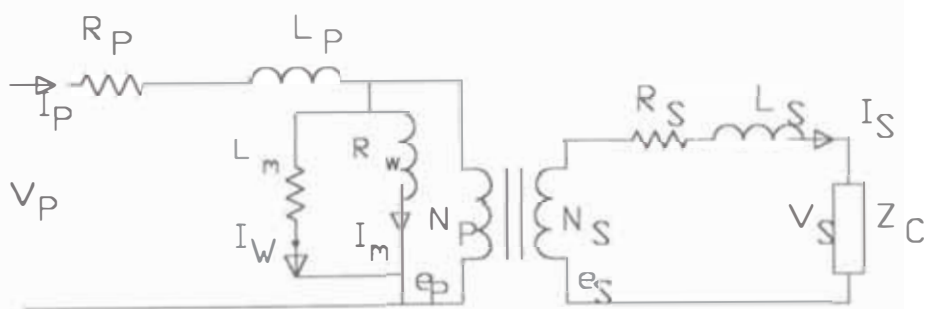


Figura 2.5
Circuito electrico
considerando las
perdidas en el nucleo

terminales del secundario, la corriente de carga I_s/n , será limitado por la resistencia y reactancia de dispersión equivalente. (Representado en la Figura 2.7).

2.2 Ecuaciones fundamentales.

En esta parte se trataran de las ecuaciones empleadas en el cálculo del transformador.

2.2.1 Potencia para servicio intermitente.

La máquina se halla sometida a ciclos de servicio en número indefinido, fijados durante un ciclo, una fracción de este ciclo funciona a plena carga y el resto permanece parado, dicha fracción llamado tiempo de conexión (T.C), se suele expresar en % del tiempo del ciclo (T_0).

I La corriente de carga.

I_qLa corriente equivalente de iguales pérdidas de energía durante el ciclo.

Por consiguiente la energía será:

$$E = E_q. \quad (2.17)$$

$$K \cdot I^2 \cdot T.C = K \cdot I_q^2 \cdot T_0. \quad (2.18)$$

Donde: K es una constante de proporcionalidad.

Relacionando la potencia en ambos a una tensión constante V ; se tiene:

$$K \cdot (P/V)^2 \cdot T.C = K \cdot (P_q/V)^2 \cdot T_0. \quad (2.19)$$

Simplificando la ecuación anterior.

$$P_q = P \cdot (\sqrt{T.C/T_0}) \quad (2.20)$$

Donde la relación $T.C/T_0$ es el ciclo de carga(DUTY CYCLE), para este tipo de máquina se considera el 50%, finalmente.

$$P_q = 0.7 P. \quad (2.21)$$

P_qPotencia constructiva de la máquina

PPotencia de la máquina o de servicio

2.2.2 Tensión específico.

Utilizando cómo punto de partida la Ley de inducción de Faraday:

$$\varepsilon_s = 4,44 * f * \phi * N_s \dots\dots\dots (2.22)$$

ε_s Tensión inducida en el secundario .. V

f Frecuencia industrial c/s

ϕ Flujo magnético Wb

N_s Número de vueltas del secundario.

Multiplicando la ecuación (2.22) por I_s se tiene:

$$\varepsilon_s * I_s = 4,44 * f * \phi * N_s * I_s (2.23)$$

$$P_q = 4,44 * f * \phi * N_s * I_s (2.24)$$

Relacionando con la densidad de corriente (J)

$$J_s = I_s / S_{cs} (2.25)$$

Densidad de flujo magnético y sección del núcleo

$$\phi = \beta_{max} * A_{fe} (2.26)$$

β_{max} Densidad de flujo (Tesla)

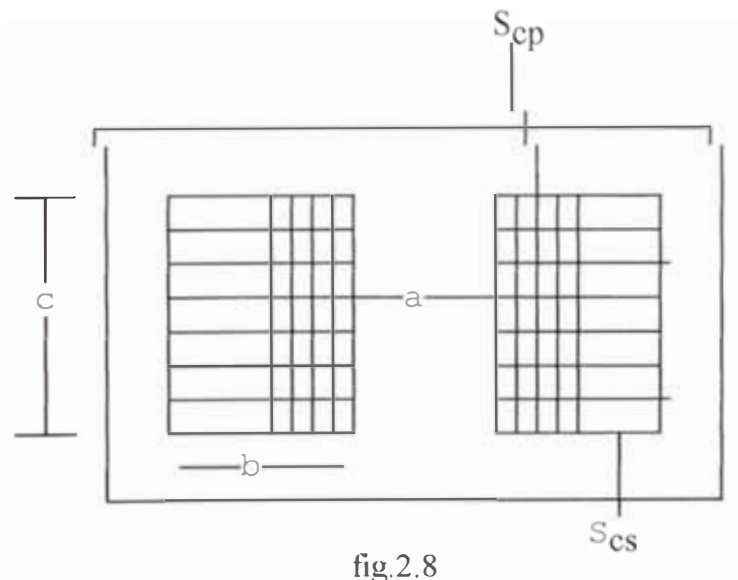
A_{fe} sección del núcleo m^2

$$P_q = 4,44 * f * \beta_{max} * A_{fe} * N_s * J_s * S_{cs} (2.27)$$

Donde: J_s Densidad de corriente en A/ mm^2

S_{cs} Sección del conductor secundario mm^2

Como se va utilizar núcleo del tipo acorazado figura 2.8



despreciando pérdidas en el transformador se tiene la siguiente relación:

$$I_p / I_s = N_s / N_p \quad (2.28)$$

$$J_p * S_{cp} / J_s * S_{cs} = N_s / N_p \quad (2.29)$$

$$\text{considerando } J_p = J_s = J \quad (2.30)$$

$$S_{cp} * N_p = S_{cs} * N_s \quad (2.31)$$

Area de cobre total del primario y secundario (S_{ct})

$$S_{ct} = S_{cp} * N_p + S_{cs} * N_s$$

$$S_{ct} / 2 = S_{cs} * N_s \quad (2.32)$$

reemplazando ec.(2.32) en ec.(2.27)

$$P_q = 4,44 * f * \beta_{max} * A_{fe} * S_{ct} * J / 2 \quad (2.33)$$

si consideramos un factor α , donde:

$$\alpha = (A_{fe} / S_{ct}) \quad (2.34)$$

$$P_q = (2,22 * f * \beta_{max} * A_{fe}^2 * J * 1000000) / \alpha$$

finalmente se tiene:

$$A_{fe} = \sqrt{((\alpha * P_q) / (2,22 * f * \beta_{max} * J * 1000000))} \quad (2.35)$$

de la relación (2.22) tenemos:

$$\epsilon_s / N_s = 4,44 * f * \beta_{max} * A_{fe} \quad (2.36)$$

esta última relación es llamada Tensión Específica:

$$E_{esp} = \epsilon_s / N_s \quad (V/esp)$$

$$E_{esp} = 4,44 * f * \beta_{max} * A_{fe} \dots\dots V/esp\dots \quad (2.37)$$

Reemplazando (2.35) en (2.37)

Simplificando la ecuación anterior

$$E_{esp} = \sqrt{((8,88 * f * \beta_{max} * \alpha) / (J * 10^6))} * \sqrt{P_q} \quad (V/esp) \quad (2.38)$$

Donde :

f..... 60 c/s

β_{max} 1,0-1,3 Tesla (servicio intermitente)

$J... \dots 2 \text{ A/mm}^2$

$\dots\dots 0,7- 0,9$

$P_q \dots \text{VA(Potencia constructiva de la máquina)}$

dando valores promedios a:

$\beta_{\max} \dots\dots 1,2 \text{ T}$

$\alpha \dots\dots 0,8$

reemplazando en (2.38) se tiene:

$$E_{\text{esp}} = 0,0160 * \sqrt{P_q} \quad \text{Voltios/esp} \quad (2.39)$$

2.2.3 Sección del núcleo.

El núcleo de la ec. 2.37, tendrá una sección igual a:

$$(A_{fe})_T = E_{\text{esp}} / (4,44 * f * \beta_{\max}) \quad (2.40)$$

Luego si consideramos un factor de apilamiento igual a 0,95 tendremos la sección neta:

$$(A_{fe})_N = (A_{fe})_T / 0,95 \quad (2.41)$$

La sección real del núcleo

$$(A_{fe})_{\text{real}} = a * \delta * n_p \quad (2.42)$$

$a \dots \dots$ espesor del núcleo mm

$\dots \dots$ espesor de las láminas mm

$n_p \dots \dots$ número de láminas

2.2.4 Dimensiones de la ventana.

La ventana del transformador será ocupado por los bobinados, es decir por el cobre , los aislamientos requeridos y elementos de sujeción, lo cual se puede apreciar en la figura 2.9.

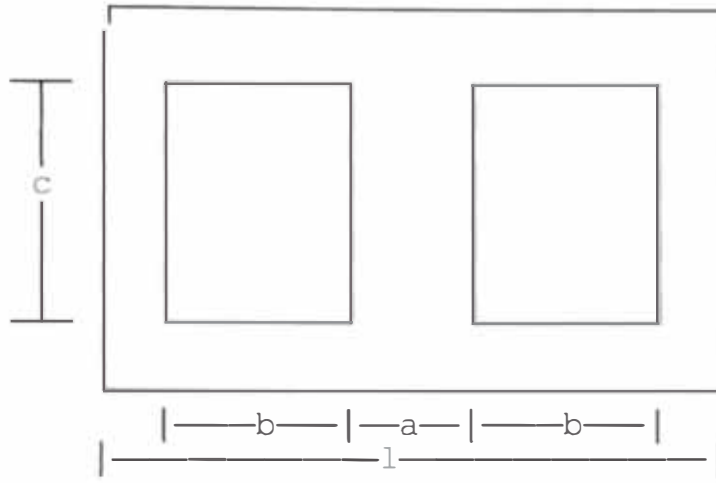


Figura 2.9

de la ecuación (2.27) se tiene:

$$P_q = 4,44 * f * \beta_{\max} * A_{fe} * N_s * S_{cs} * J \quad (2.43)$$

$$S_{ct} = N_p * S_{cp} + N_s * S_{cs} \quad (2.44)$$

definiendo un factor de utilización de ventana (K_{esp})

$$K_{esp} = (N_p * S_{cp} + N_s * S_{cs}) / A_v$$

$$K_{esp} = 2 * N_s * S_{cs} / A_v \quad (2.45)$$

$$N_s * S_{cs} = A_v * K_{esp} / 2 \quad \text{reemplazando en la ecuación (2.43); se}$$

tiene:

$$A_v = P_q / (2,22 * f * \beta_{\max} * (A_{fe})_{real} * K_{esp} * J * 10^6) \quad (2.46)$$

P_q VA (Potencia constructiva de la maquina)

f c/s

β_{\max} Tesla

$(A_{fe})_{real}$ m²

K_{esp} 0,30 (factor de utilización de ventana)

A_v m² (Area de la ventana)

J A/mm²

para dar dimensiones de la ventana emplearemos relaciones empíricas, así para núcleos acorazados se recomienda:

$$c/b \text{ entre } 2,5 - 3,5 \quad [*^1]$$

Tomando:

$$c = 3*b \quad (2.47)$$

Area de la ventana $A_v = b*c$

Reemplazando y simplificando en ec. anterior (2.47)

$$b = \sqrt{(A_v / 3)} \quad (2.48)$$

2.2.5 Pérdidas en el transformador.

a.- Pérdidas en el hierro.

Hay 2 causas principales de pérdidas en el hierro, cuando un núcleo esta sometido a la acción de campos magnéticos de Intensidad variable

a.1 Pérdidas por histéresis:

Es la energía irreversible requerida para invertir las paredes de los dominios magnéticos cuando se invierte la fuerza magnetizante.

$$p_h = e_h * (f/100) * (\beta_{max})^2 \quad \text{W/Kg} \quad [*^2] \quad (2.49)$$

donde:

e_h Constante que depende del espesor del material, porcentaje de Silicio y el peso específico del material

f c/s (Frecuencia de la red)

β_{max} Tesla

$e_h = 2,4$ para material TRAN COR5 de 0,35 mm de espesor, consideramos este valor porque es el que se utilizará.

a.2 Pérdidas por corrientes Foucault.

[*¹] Según SINGER Transformadores pag. 132

[*²] Según Robert Kuhn pag. 11

Se originan por corrientes eléctricas inducidas, llamadas torbellinos y tienden a fluir en trayectorias cerradas dentro del propio material magnético.

$$p_f = e_f \cdot (f/100)^2 \cdot (\beta_{\max})^2 \quad \text{W/Kg} \quad [*2] \quad (2.50)$$

f..... c/s(Frecuencia de la Red)

β_{\max} ... Tesla(Densidad máxima de flujo)

$$e_f = (16,4 \cdot \delta^2) / (\gamma \cdot \sigma) \quad [*3]$$

δ espesor del material en mm

γ Resistividad del material (ohmio-mm)/ m

Peso específico (gr/c.c), para material TRAN

COR5(4% de Si)

$\delta = 0,35$ mm

$$\gamma = 0,099 + 0,12 \cdot p \quad (2.51)$$

p (4%) porcentaje de Si

$\sigma_{fe} = 7,6$ g/cm³, para Tran Cor 5

Un valor recomendado para espesor de 0,35 mm. es:

$e_f = 1,38$

a.3 Pérdidas totales en el hierro por unidad de peso

$$p_{fe} = [1,38 \cdot (f/100)^2 + 2,4 \cdot (f/100)] \cdot \beta_{\max}^2 \quad \text{W/Kg} \quad (2.52)$$

b.- Pérdidas en el cobre.

Debido a la resistencia ohmica , dichas pérdidas tienen lugar en los arrollamientos del transformador.

$$P_{cu} = I_p^2 \cdot R_p + I_s^2 \cdot R_s$$

$$P_{cu} = I_p^2 [R_p + (N_p/N_s)^2 R_s] \quad (\text{W}) \quad (2.53)$$

o tambien se puede encontrar con:

$$W_{cu} = I^2 \cdot R = J^2 \cdot s^2 \cdot \gamma^2 \cdot l / (1000 \cdot s) \quad \text{W} \quad (2.54)$$

s en mm²

[*3] Según Robert Kuhn pag. 12

J en A/mm^2

γ $1/56$ $ohm\cdot mm^2/m$

$$\text{Peso}_{Cu} = \text{Dens} \cdot \text{Vol} = (8,9 \cdot l \cdot s) / 1000000 \quad \text{Kg} \quad (2.55)$$

l en mm

s en mm^2

Dens_{Cu} $8,9$ g/cm^3

dividiendo 2.54 entre 2.55 y simplificando

$$\rho_{Cu} = 2,25 \cdot J^2 \quad \text{W/kg} \quad (2.56)$$

2.2.6 Longitud media del circuito magnético.

Para encontrar la longitud media se utiliza la disposición que se muestra en la figura 2.10, llamemos l_m

a la longitud media del circuito magnético

$$l_m = 2 \cdot c + 2 \cdot b + 2 \cdot (a/2 + a/4) + 2 \cdot (a/4 + a/4) \quad \text{m}$$

$$l_m = (5/2) \cdot a + 2 \cdot b + 2 \cdot c \quad (2.57)$$

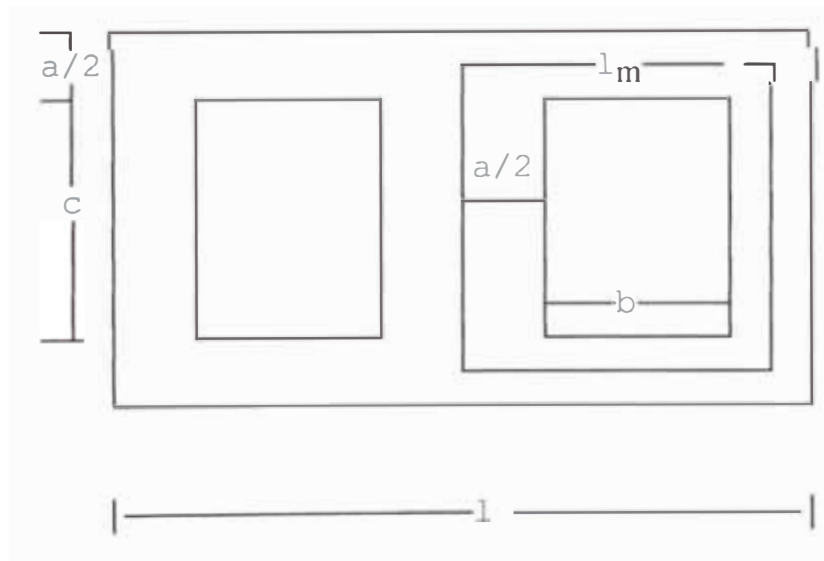


Figura 2.10

2.2.7 Corriente magnetizante en el transformador.

Para determinar la corriente que produce el flujo magnético tendremos en cuenta el tipo de núcleo que estamos utilizando. Para armar se lo construye en trozos unos en forma de E y otros en forma de I, y se colocan alternados, para evitar que las juntas coincidan. El hecho que los núcleos sean hechos en dos trozos, hace que aparezcan juntas donde los dos filos del hierro no coinciden perfectamente, quedando una pequeña luz que se llama entrehierro(u), en la práctica esta distancia es pequeña y despreciable.

longitud del entrehierro(l_e)

$$l_e \sim 2 * u \quad (2.58)$$

$$I_m = (H_{max} * l_m + B_{max} * l_e / \mu_0) / (F.c * N_p) \quad (2.59)$$

H_{max} Intensidad de campo magnético(A/m)

B_{max} Densidad maxima de flujo magnético (Tesla)

μ_0 permeabilidad del vacío (H/m)

l_e Longitud del entrehierro (m)

F.c Factor de cresta, por ser una onda no sinusoidal

N_p Número de vueltas del devanado primario

I_m Corriente magnetizante eficaz (A)

Factor de cresta que se pueden adoptar según[*4]; en el Cuadro 2.1

B_{max} Tesla	Factor de cresta
0,9	1,65
1,0	1,70
1,1	1,75
1,2	1,90

Cuadro 2.1

[*4] Según Richter, "Elektrische machinen", Tomo III

Como β_{\max} de 1 a 1,2 Tesla el factor de cresta a considerar es un promedio ,
ademas despreciando longitud del entrehierro(l_e), y reemplazando en la
ecuación(2.59), se tiene:

$$I_m = 0.60 [(H_{\max} * l_m) / N_p] \text{ A.} \quad (2.60)$$

2.2.8 Corriente en vacio del transformador.

Cuando se conecta el arrollamiento primario a una fuente de corriente alterna se
forman corrientes parásitas en el armazón del hierro, cuyo trabajo se transforma
integramente en calor(Perdidas por Foucault), sumandose a esta el efecto de la
histéresis debido a la periódica variación de la magnetización .

La corriente en vacio se compone de la magnetizante(I_m) y de las pérdidas(I_w), por
tanto:

$$I_0 = \sqrt{I_m^2 + I_w^2} \quad (2.61)$$

2.2.9 Reactancia de dispersión.

Considerando un bobinado de "N", vueltas como el que se muestra en la figura
2.11

La dispersión en un bobinado de un transformador, tipo acorazado , donde la
permeancia en un espacio d_x será:

$$dP_x = \mu_0 * dA / c \quad (2.62)$$

c es la altura de la columna central(m)

dA es la diferencial de área

$$dA = 2 * \pi * (r_1 + x) dx \quad (2.63)$$

$$dP_x = [2 * \pi * \mu_0 * (r_1 + x) dx] / c \quad (2.64)$$

El flujo debido a las "N" espiras:

N d

N_x x

$$N_x = (x * N) / d \quad (2.65)$$

donde d es espesor del devanado

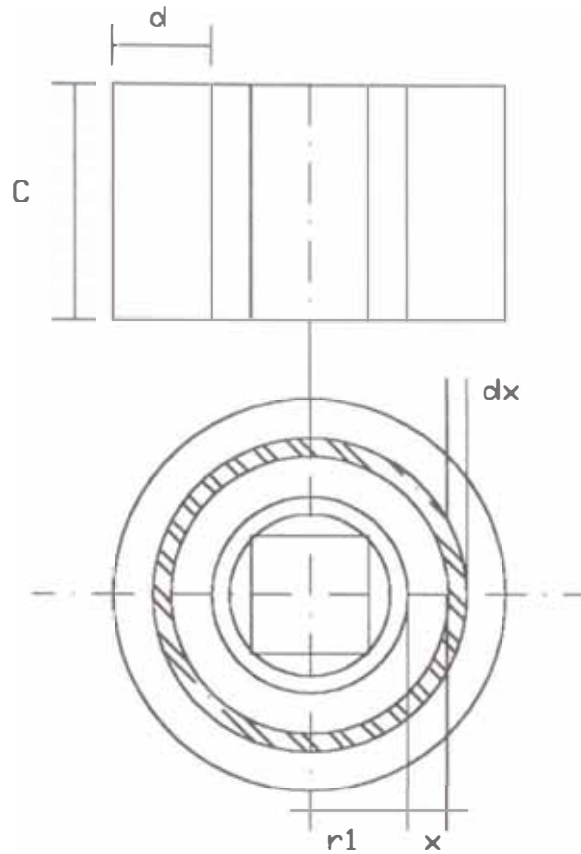


Figura 2.11
Diagrama para determinar reactancia de dispersión

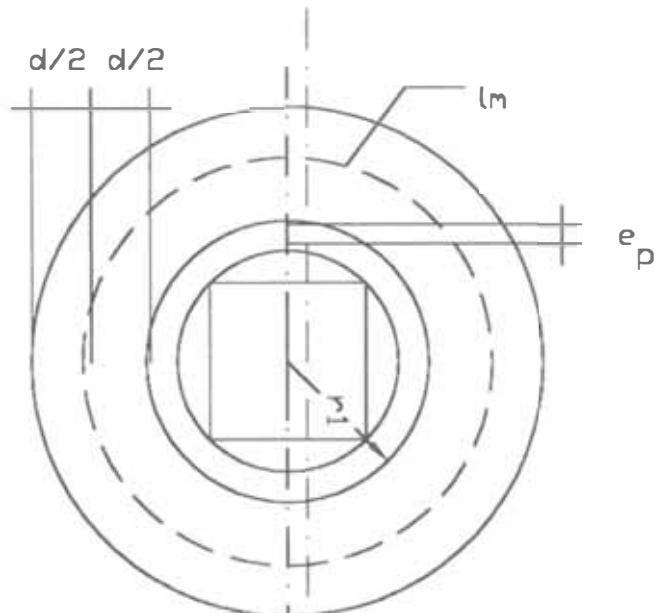


Figura 2.12
Diagrama utilizado para encontrar longitud media

$$l_m = 2 * \pi * r_m$$

$$r_m = r_1 + d/2$$

$$dL_x = (N_x)^2 \cdot dP_x = \left[\left(\frac{x \cdot N}{d} \right)^2 \cdot dP_x \right]$$

$$dL_x = \left[\frac{2 \cdot \mu_0 \cdot N^2}{c} \right] \cdot (r_1 + x) \cdot \left(\frac{x \cdot N}{d} \right)^2 \cdot dx \quad (2.66)$$

$$\int_0^{L_d} dL_x = \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot N^2}{c} \cdot \int_0^d x^2 \cdot (r_1 + x) \cdot dx \quad (2.67)$$

Integrando y reemplazando los límites de integración se tiene que la reactancia de dispersión (L_d) es:

$$L_d = \left[\frac{2 \cdot \mu_0 \cdot N^2 \cdot d}{3 \cdot c} \right] \cdot \left[r_1 + \frac{3}{4} \cdot d \right]$$

$$L_d = \left[\frac{2 \cdot \mu_0 \cdot N^2 \cdot d}{c} \right] \cdot \left[r_1 + \frac{d}{2} + \frac{d}{4} \right] \quad (2.68)$$

Considerando longitud media del devanado (l_{md}) Figura 2.12

$$l_{md} = 2 \cdot \mu_0 \cdot r_{md}$$

donde: $r_{md} = r_1 + d/2$

$$r_1 = a \cdot \sqrt{2} / 2 + e_p$$

$$r_{md} = a \cdot \sqrt{2} / 2 + e_p + d/2$$

e_p ... espesor de aislamiento entre núcleo y devanado

$$L_d = \left[\frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot d}{3 \cdot c} \right] \cdot \left[l_{md} + \frac{\mu_0 \cdot d}{2} \right] \cdot H \quad (2.69)$$

Finalmente la Reactancia de dispersión (X_d)

$$X_d = 2 \cdot \mu_0 \cdot f \cdot L_d \quad \text{ohmios} \quad (2.70)$$

$$X_d = \left[\frac{2 \cdot \mu_0 \cdot u_0 \cdot f \cdot N^2 \cdot d}{3 \cdot c} \right] \cdot \left[l_{md} + \frac{\mu_0 \cdot d}{2} \right] \cdot \Omega \quad (2.71)$$

u_0 permeabilidad del vacío ($4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m)

f frecuencia de la red (c/s)

N número de vueltas del devanado

d espesor del devanado en (m)

c altura del núcleo del devanado (m)

l_{md} longitud media del devanado (m)

2.2.10 Resistencia de los devanados en D.C.

- A 20°C

$$R_{dc} = (\gamma_{cu} * N * l_{md}) / A_{cu} \quad \text{Ohmios} \quad (2.72)$$

γ_{cu} resistividad del cobre (1/56 Ohmio-mm²/m) a 20°C

N número de vueltas del devanado

l_{md} longitud media del devanado (m)

A_{cu} Sección del cobre (mm²)

- A 75°C

Hay que considerar la variación de la resistividad del cobre utilizando la siguiente relación:

$$\gamma_{cu75} = \gamma_{cu} * ((235 + 75) / (235 + 20)) \quad (2.73)$$

2.2.11 Resistencia de los devanados en A.C.

$$R_{ac} = R_{dc} (1 + k) \quad (2.74)$$

$$k = [(n_c^2 - 0,2) * (e)^4] / 9 \quad (2.75)$$

n_c número de capas del devanado

$$e = \theta * h_c \quad (2.76)$$

h_c altura del conductor del devanado

$$\theta = \{0,2 * \Pi\} * \sqrt{[(l_c * d_c * f) / (c * d * \gamma * 10^3)]} \quad 1/cm \quad (2.77)$$

$$l_c = n_e * b_c \quad (2.78)$$

n_e número de espiras por capa del devanado

b_c longitud del conductor utilizado en el devanado (cm)

$$d_c = n_c * h_c \quad (2.79)$$

f frecuencia de la red (c/s)

c altura del núcleo del devanado (cm)

d espesor del devanado (cm)

γ resistividad del cobre a 20° C

2.2.12 Peso del núcleo.

Despreciando agujeros de fijación, el entrehierro; el volumen total se encuentra de la figura 2.13.

$$W_{fe} = \{[(a \cdot H \cdot l) - 2(a \cdot b \cdot c)] / K_{fe}\} \cdot \sigma_{fe} \text{ (Kg)} \quad (2.80)$$

σ_{fe} peso específico del hierro (7600 Kg/m³)

K_{fe} es un factor llamado de relleno debido al aislamiento de las láminas de acero al silicio ($K_{fe} = 1,1$)

a, H, l, b, c en (m)

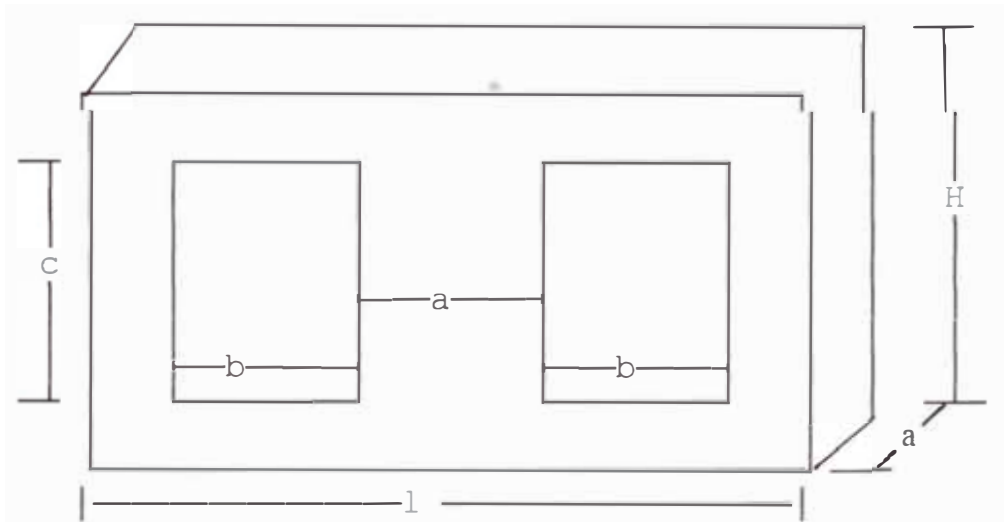


Figura 2.13

2.3 Procesos transitorios en el transformador.

2.3.1 Proceso transitorio al conectar el transformador a la red

Analizando el principio de conexión del transformador a la red, el devanado secundario del transformador está abierto ($i_2 = 0$). En el instante $t = 0$, el devanado primario se conecta a la red con tensión de fase $u_p = U_p \cos(\omega t + \phi)$. Los fenómenos que tienen lugar en la red del devanado primario del transformador están descritos en la ecuación no lineal de tensiones

$$i_0 \cdot R_p + N_p \cdot d\phi/dt = u_p \quad (2.81)$$

en la cual i_0 es la corriente transitoria en vacío; $\phi = f(i_0)$ es el flujo magnético de inducción mutua que se halla en dependencia no lineal de la corriente i_0 .

Teniendo en cuenta que $i_0 R_p \ll N_p \cdot d\phi/dt$, se puede expresar sin cometer un error perceptible, la corriente i_0 con el flujo ϕ mediante la dependencia lineal aproximada

$$i_o = N_p * \phi / L_p \quad (2.82)$$

donde L_p es una constante del valor medio de la inductancia del devanado primario:

$$d\phi / dt + \phi * R_l / L_p = u_p / N_p \quad (2.83)$$

La solución de la ecuación diferencial con coeficientes constantes se escribe en forma de la suma de dos componentes de flujos

$$\phi = \phi_l + \phi_{est} \quad (2.84)$$

La componente libre de flujo, representa la solución general de la ecuación homogénea

$$d\phi / dt + \phi * R_p / L_p = 0 \quad (2.85)$$

donde $\phi_l = C * e^{-\alpha_0 t}$, en el cual $\alpha_0 = R_p / L_p$ es la raíz característica

La componente estacionaria de flujo, representa el flujo de inducción mutua que se establece en el circuito magnético del transformador en vacío.

$$\phi_{est} = \phi_m \text{ sen } (wt + \varphi) \quad (2.86)$$

donde $\phi_m = U_p / (w * N_p)$

$$\phi = \phi_l + \phi_{est} = C * e^{-\alpha_0 t} + \phi_m \text{ sen}(wt + \varphi) \quad (2.87)$$

en $t=0$ el flujo en el circuito magnético es igual a cero $0 = C + \phi_m \text{ sen}\varphi$, donde:

$$C = -\phi_m \text{ sen}\varphi$$

$$\phi = -\phi_m * \text{sen}\varphi * e^{-\alpha_0 t} + \phi_m \text{ sen}(wt + \varphi) \quad (2.88)$$

La conexión mas desfavorable es con $\varphi = \pm \Pi / 2$

2.3.2 Proceso transitorio durante el cortocircuito en el transformador.

Suponiendo que hasta el momento de cortocircuito $t < 0$, el devanado primario esta conectado a la red con la tensión:

$$u_p = U_p \text{ cos}(wt + \varphi) \text{ y el devanado secundario abierto.}$$

Si se desprecia la corriente magnetizante y se considera que $i_p = i_s / n$, el proceso transitorio durante el cortocircuito se puede calcular con ayuda del circuito equivalente del transformador (vease la Fig.2.7), contiene la resistencia :

$$R_{eq} = R_p + n^2 * R_s ; \quad l_{eq} = L_p + n^2 * L_s$$

En este esquema los procesos transitorios se describen por una ecuación diferencial lineal con coeficientes constantes (R_{eq} y L_{eq})

$$R_{eq} \cdot i + L_{eq} \cdot di/dt = u \quad (2.89)$$

cuya solución:

$$i = i_l + i_{est} \quad (2.90)$$

La componente libre de corriente, representa la solución general de la ecuación homogénea.

$$di/dt + i \cdot R_{eq}/L_{eq} = 0 \quad (2.91)$$

donde $i_l = C \cdot e^{-\alpha_{cc}t}$, en el cual $\alpha_{cc} = R_{eq}/L_{eq}$ es la raíz característica.

La componente estacionaria de corriente representa la solución particular:

$$i_{est} = \sqrt{2} \cdot I_{cc} \cdot \cos(\omega t + \varphi - \varphi_{cc}) \quad (2.92)$$

$$i = i_l + i_{est} = C \cdot e^{-\alpha_{cc}t} + \sqrt{2} \cdot I_{cc} \cdot \cos(\omega t + \varphi - \varphi_{cc}) \quad (2.93)$$

$$\varphi_{cc} = \text{Arc Tan}(\omega \cdot L_{eq} / R_{eq}) \quad (2.94)$$

La constante C , se puede hallar con $t=0$, despreciando la corriente en vacío $i=0$

$$0 = C + \sqrt{2} \cdot I_{cc} \cdot \cos(\varphi - \varphi_{cc})$$

$$i = \sqrt{2} \cdot I_{cc} [-\cos(\varphi - \varphi_{cc}) \cdot e^{-\alpha_{cc}t} + \cos(\omega t + \varphi - \varphi_{cc})] \quad (2.95)$$

La duración del proceso transitorio corresponde al tiempo de la atenuación de la componente libre de corriente i_l . Pasado el tiempo $t_{cc} = 1/\alpha_{cc}$, después de comenzar el proceso, la componente libre disminuye "e" veces, se denomina constante del tiempo de atenuación, para los transformadores

$$t_{cc} = 1/\alpha_{cc} = X_{eq} / (R_{eq} \cdot \omega) \quad (2.96)$$

Cuanto mayor sea el valor inicial de la componente libre, tanto mayores corrientes surgirán durante el cortocircuito como resultado de la suma de la componente libre y estacionaria.

Las consecuencias más peligrosas las provoca el cortocircuito que se produce cuando $\varphi = \varphi_{cc}$ ó $\varphi = \Pi + \varphi_{cc}$, en estos casos el valor inicial de la amplitud libre es igual a la amplitud de la componente estacionaria

En los devanados las corrientes alcanzan su valor máximo al cabo de medio periodo después de comenzar el proceso ($\varphi = \varphi_{cc} + \Pi$)

$$i_m = -\sqrt{2} I_{cc} \cos \Pi e^{-\alpha_{cc} t} + \sqrt{2} I_{cc} \cos(2\Pi)$$

$$i_m = \sqrt{2} I_{cc} (e^{-\alpha_{cc} t} + 1) \quad (2.97)$$

dividiendo a ambos entre I_{nom} , se tiene:

$$i_m / \sqrt{2} I_{nom} = (I_{cc} / I_{nom}) (1 + e^{-(\Pi/w)t_{cc}}) \quad (2.99)$$

Por los devanados primario y secundario del transformador fluyen corrientes en dirección contraria. Durante el cortocircuito, a causa de esto, las fuerzas electromagnéticas tienden a comprimir las espiras del devanado interior y estiran las espiras del devanado exterior. Debido a la interacción de las corrientes dirigidas en el mismo sentido en las espiras de cada uno de los devanados, las fuerzas electromagnéticas tienden a comprimir el devanado por la altura.

Durante el cortocircuito las fuerzas electromagnéticas que son proporcionales al cuadrado de las corrientes crecen $(i_m / \sqrt{2} I_{nom})^2$ veces. Estas fuerzas pulsan con una frecuencia de $2f = 2 \cdot 60 = 120$ Hz sin cambiar de dirección y no ejercen acciones destructivas sobre el devanado si las tensiones mecánicas que surgen debido a ello no superan 50...60 N/mm².

En los devanados la densidad de corriente crece mucho y alcanza valores entre 10-40 A/mm². Si se considera que el proceso de calentamiento del devanado se desarrolla adiabáticamente (o sea, si se supone que el calor desprendido en el devanado no se transmite al medio ambiente, sino que solo se utiliza para calentar el propio devanado), la temperatura del devanado crecerá a la velocidad de:

$$J^2 / 170 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{sg} \quad [^{*5}] \quad (2.100)$$

Antes del cortocircuito los devanados podrían tener una temperatura límite admisible de 105°C. La temperatura límite, brevemente admisible, del devanado, a lo

cual aún no se deteriora el aislamiento, se considera igual a 250°C. Conociendo la velocidad de crecimiento de la temperatura se puede hallar el tiempo de cortocircuito durante el cual la temperatura del devanado crecerá $250-105 = 145^\circ\text{C}$ y alcanzará 250°C.

Este tiempo se puede apreciar por la fórmula:

$$t_{cc} \cong 2,5 * [100 * (I_{nom} / I_{cc}) / (J_{nom})]^2 \text{ sg} \quad [*^5] \quad (2.101)$$

I_{nom} corriente nominal

I_{cc} corriente de cortocircuito

J_{nom} Densidad de corriente nominal

t_{cc} tiempo de cortocircuito

En este tipo de máquinas no se debe sobrepasar el tiempo t_{cc} de tal manera que la temperatura de los devanados del transformador no llegue al límite.

2.3.3 Temperaturas admisibles en los elementos de un transformador.

El transformador debe estar diseñados de tal modo que la temperatura no supere los límites admisibles.

Principalmente se limitan las temperaturas de los elementos que se hallan en contacto con los materiales aislantes.

El envejecimiento del material aislante, expresado por la reducción de su resistencia eléctrica y mecánica, se produce tan intensamente cuanto mayor sea su temperatura.

El transformador puede servir fiablemente durante 15...20 años si sus elementos tienen, por separado en régimen nominal las temperaturas admisibles, depende de la clase de resistencia al calor, a la cual pertenece el aislamiento (Cuadro 2.2). En la fabricación de las máquinas eléctricas se usan principalmente los siguientes materiales aislantes:

- Clase A.- Materiales fibrosos de celulosa, algodón o seda impregnados con material aislante orgánico líquido.

[*8] Según Ivanov-Smolenski "maquinas electricas" T.1 pag.176

- Clase E .- Ciertas películas sintéticas.
- Clase B .- Materiales a base de mica(incluyendo los materiales con soportes orgánicos), asbesto o fibra de vidrio que se emplean con aglutinantes orgánicos y soluciones impregnadoras.
- Clase F .- Materiales a base de mica, amianto y fibra de vidrio, empleados en combinación con aglutinantes sintéticos y soluciones impregnadoras.
- Clase H .- Materiales a base de mica, amianto y fibra de vidrio , empleados en combinación con aglutinantes de silicona y soluciones impregnadoras.

Temperatura de los devanados, °C , para el aislamiento de distinta Clase de resistencia al calor según VDE

Temperatura °C	Clas.de resist.al calor del aisl.				
	A	E	B	F	H
Límite admisible para el mat. aisl.	105	120	130	155	180
Media adm. para dev	100	115	120	140	165

Cuadro 2.2

Cuando los cortocircuitos son estables las temperaturas de los devanados no deben sobrepasar:

Para los transformadores secos con devanados de cobre y aislamiento de la clase de resistencia al calor:

A	180 °C
E	250 °C
B ,F ,H	350 °C

La duración del cortocircuito debe estar limitada de tal modo que no se sobrepasen las temperaturas indicadas.

Las Temperaturas calculadas de los elementos del transformador que garantizan el plazo de servicio del mismo durante 15..20 años , están establecidas teniendo en cuenta las oscilaciones diarias y anuales de temperatura ambiente y de la carga del transformador que se observan durante su explotación . La mayor parte de tiempo (Cuando la carga es menor que la nominal o cuando la temperatura del aire ambiente es menor que 40 °C)la temperatura de aislamiento del transformador no alcanza la calculada, lo cual aumenta visiblemente su plazo de servicio.

Según la Norma Europea IEC(Comisión Electrotécnica Internacional) se tiene la figura 2.14 para determinar el tiempo de vida útil de los devanados de acuerdo a la "Clase de Aislamiento" que es la misma que la VDE. Si este límite es excedido en 10 °C, la vida del aislamiento es reducida a la mitad.

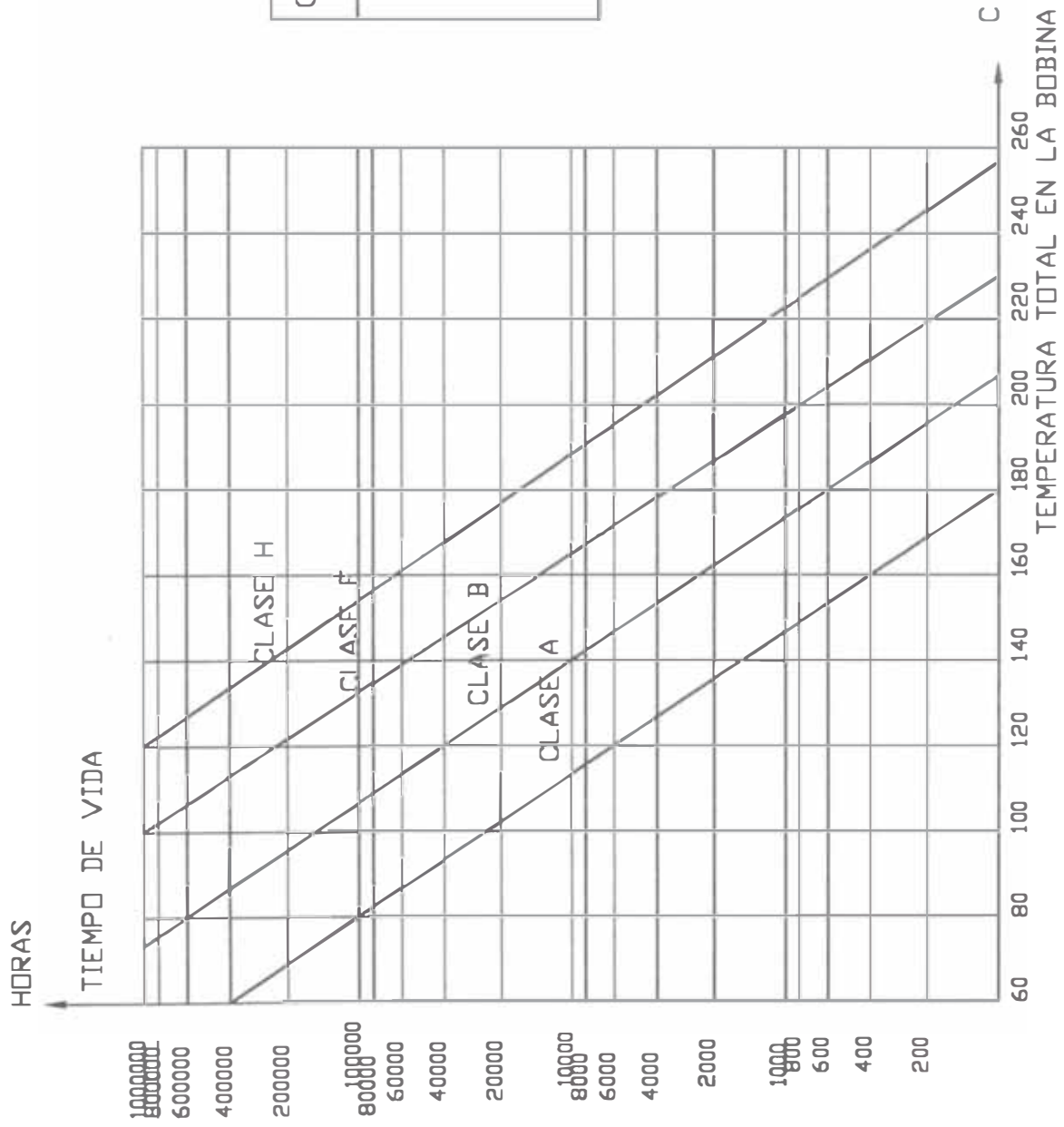


FIGURA 2.14

CAPITULO III DISEÑO DEL TRANSFORMADOR DE SOLDADURA PROTOTIPO

3.1 Especificaciones de diseño.

- Transformador:

Monofásico

- Potencia de servicio:

10 KVA 50% de ciclo de carga

- Potencia de la máquina:

7 KVA

- Frecuencia : 60 c/s

- Tipo de plancha: TRAN COR 5

- Espesor de la plancha 0,35 mm

- β_{\max} 1,2 Tesla

- Densidad de corriente $J = 2 \text{ A/mm}^2$

- Voltaje Nominal:

Primario: 220 V

Secundario: 4 V

- Corriente nominal:

Primario: 32,39 A

Secundario: 1750 A

- Corriente de Soldadura:

Primario: 181,81 A

Secundario: 10000 A

3.2 Cálculo de la tensión específica (E_{esp})

De acuerdo a la ecuación (2.39)

$$E_{\text{esp}} = 0,016 \cdot \sqrt{P_q}$$

$$P_q = 7000 \text{ VA}$$

$$E_{\text{esp}} = 0,016 \sqrt{7000}$$

$$E_{\text{esp}} = 1,338 \text{ Voltios/espira}$$

3.3 Cálculo de la sección del núcleo.

3.3.1 Área del núcleo teórico ($(A_{\text{fe}})_T$).

$$(A_{\text{fe}})_T = E_{\text{esp}} / (4,44 \cdot f \cdot \beta_{\text{max}})$$

$$(A_{\text{fe}})_T = 1,338 / (4,44 \cdot 60 \cdot 1,2) \text{ m}^2$$

$$(A_{\text{fe}})_T = 0,004185 \text{ m}^2$$

3.3.2 Área del núcleo neto ($(A_{\text{fe}})_N$).

$$(A_{\text{fe}})_N = (A_{\text{fe}})_T / 0,95$$

$$(A_{\text{fe}})_N = 0,004185 / 0,95$$

$$(A_{\text{fe}})_N = 0,0044 \text{ m}^2$$

3.3.3 Espesor del núcleo (a).

$$a = \sqrt{(A_{\text{fe}})_N} = \sqrt{0,0044} \text{ m.}$$

$$a = 66,4 \text{ mm}$$

3.3.4 Número de planchas (n_p).

$$n_p = (a \cdot (f \cdot a)) / \delta$$

$$f \cdot a = 0,95$$

$$n_p = (66,4 \cdot 0,95) / 0,35 = 179,95$$

$$n_p = 180 \text{ láminas}$$

3.3.5 Área del núcleo real ($(A_{\text{fe}})_{\text{real}}$).

$$(A_{\text{fe}})_{\text{real}} = a \cdot \delta \cdot n_p$$

$$(A_{\text{fe}})_{\text{real}} = 66,4 \cdot 0,35 \cdot 180 = 0,004183$$

$$(A_{\text{fe}})_{\text{real}} = 0,004183 \text{ m}^2$$

3.4 Dimensionado de la ventana.

3.4.1 Area de la ventana (A_V).

$$A_V = P_q / (2,22 * f * \beta_{\max} * J * (A_{fe})_{\text{real}} * K_{\text{esp}} * 10^6)$$

$$A_V = 7000 / (2,22 * 60 * 1,2 * 2 * 0,004183 * 0,30 * 10^6) \text{m}^2$$

$$A_V = 0,0175 \text{ m}^2$$

3.4.2 Ancho de la ventana (b).

$$b = \sqrt{(A_V / 3)} = 0,078 \text{ m}$$

$$b = 0,080 \text{ m} \quad \text{valor asumido}$$

3.4.3 Altura de la ventana (c).

$$c = 3 * b = 3 * 0,080 = 0,24 \text{ m}$$

$$c = 0,24 \text{ m.} \quad \text{valor asumido}$$

3.5 Diseño de los devanados.

3.5.1 Número de espiras del primario (N_p).

$$N_p = V_p / E_{\text{esp}} = 220 / 1,338 = 164,42 \text{ vueltas}$$

Para mantener relación de transformación se toma

$$N_p = 165 \text{ vueltas}$$

3.5.2 Número de espiras del secundario (N_s).

$$N_s = V_s / E_{\text{esp}}$$

$$\text{Seleccionando } V_s = 4 \text{ V.; } N_s = 4 / 1,338 = 2,9895 \text{ vueltas}$$

Para mantener relación de transformación:

$$N_s = 3 \text{ vueltas}$$

3.5.3 Calculo de sección del conductor Primario (A_{cup}).

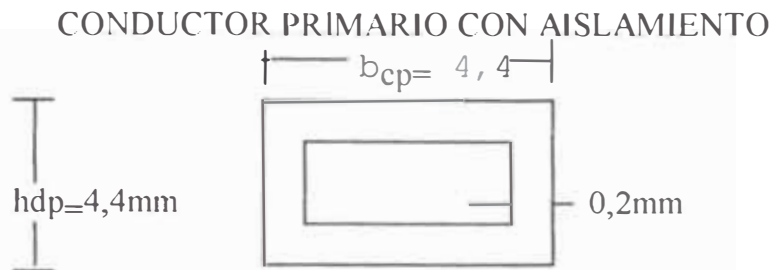
De las especificaciones se tiene:

$$I_p = 32,49 \text{ A., } J = 2 \text{ A/mm}^2$$

$A_{\text{cup}} = I_p / J = 32,49 / 2 = 16 \text{ mm}^2$, Escogemos una de barra de cobre con bordes redondos del ANEXO 1:

$$A_{\text{cup}} = 4 \times 4 \text{ mm}^2 = 16 \text{ mm}^2$$

Lo cual se puede apreciar en la figura 3.1, los conductores de cobre, tanto del primario y secundario seran aislados con fibra de vidrio con aglutinantes sintéticos(Aislamiento Clase F), que en hélice origina un aumento de 0,4 mm.de lado para devanado primario.



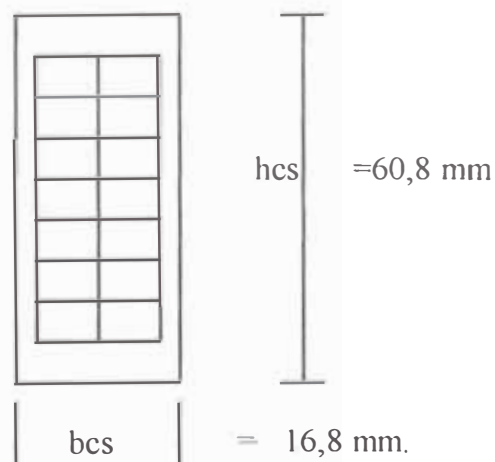
3.5.4 Cálculo de sección del conductor secundario (A_{cus}).

$$A_{cus} = I_s / J = 1750/2$$

$A_{cus} = 875 \text{ mm}^2$, escogemos 12 conductores de $10 \times 8 \text{ mm}^2$; de bordes redondos con doble aislamiento en helice origina un aumento de 0,8 mm.de lado ANEXO 1:

$$A_{cus} = 12 \times (10 \times 8 \text{ mm}^2) = 960 \text{ mm}^2, \text{ ver fig 3.2}$$

CONDUCTOR SECUNDARIO CON AISLAMIENTO



3.6 Aislamiento entre devanado, yugo y núcleo.

En la figura 3.3, se puede apreciar la disposición del aislamiento.

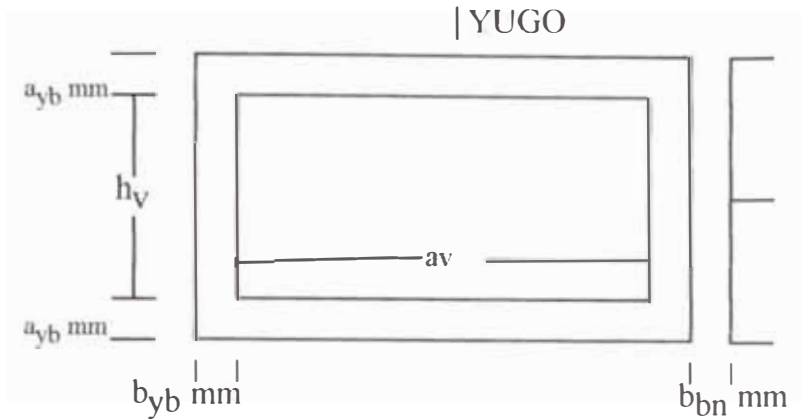


Figura 3.3

Recomendaciones de aislamiento [7]

* Aislamiento entre devanado y el Yugo (a_{yb}):

3 mm/ Kv de Tensión de prueba

La Tensión de prueba para transf. de 600v es de 2,5Kv

3 mm/Kv)*2,5 Kv = 7,5 mm de aislamiento

* Aislamiento entre devanado y el núcleo (b_{bn}):

Mínimo 3 mm , Utilizando papel prespan y forro de fibra de vidrio se cumple.

Por consiguiente se tiene:

altura útil de la ventana para devanados h_v

abertura útil para los devanados a_v

$$h_v = c - 2 * a_{yb} \quad \text{y} \quad a_v = b - (b_{yb} + b_{bn})$$

3.7 Calculo del número de capas de los devanados.

3.7.1 Devanado primario.

a. Número de espiras por capa del primario (n_{ep}).

$$n_{ep} = (h_v * F.b) / h_{cp} \quad (3.1)$$

F.b factor de bobinado considerando igual a 0,9.

[7] Según Corrales pag.452

Considerando $a_{yb} = 20$ mm.

h_{cp} altura del conductor primario

$$n_{ep} = (200 \times 0,9) / 4,4 = 40,90 \text{ esp/capa.}$$

Considerando una espira menos , para mejorar la distribución.

$$n_{ep} = 39 \text{ esp./capa}$$

b. Número de capas del primario (n_{cp}).

$$n_{cp} = N_p / n_{ep}$$

$$n_{cp} = 165 / 39 = 4,23 \text{ capas}$$

De tal manera que distribuimos de la siguiente manera:

4 capas de 39 espiras

1 capa de 9 espiras

$$n_{cp} = 5 \text{ capas}$$

c. Altura del devanado primario (h_{dp}).

$$h_{dp} = [(n_{ep} + 1) * h_{cp}] / F.b \quad (3.2)$$

$$h_{dp} = (40 * 4,4) / 0,9$$

$$h_{dp} = 195,55 \text{ mm.}$$

Aislamiento entre capas debe soportar una Tensión de prueba igual a:

$$T_{prueba} = 2 n_{ep} * E_{esp} \quad V.$$

$$T_{prueba} = 2 * 39 * 1,338 = 104,364 \text{ V.}$$

Rigidez dieléctrica de la fibra de vidrio = 6,4 KV/mm.

El espesor necesario será: $104,364 / 6400 = 0,0163$ mm.

aplicando un factor de seguridad = 8

el espesor necesario = $8 \times 0,0163 = 0,13$ mm.

Como el aislamiento entre conductores es de 0,4 mm. no es necesario añadir aislamiento.

d. Ancho del devanado primario (d_p).

$$d_p = (n_{cp} * b_{cp}) / F.b$$

b_{cp} la base del conductor primario

$$d_p = (5 * 4,4) / 0,9$$

$$d_p = 24,44 \text{ mm.}$$

3.7.2 Devanado secundario.

a. Número de espiras por capa del secundario (n_{es}).

$$n_{es} = (h_v * F.b) / h_{cs} \quad (h_v = 200 \text{ mm.})$$

h_{cs} altura del conductor secundario (60,8mm.)

$$n_{es} = (200 * 0,9) / 60,8 = 2,96 \text{ esp./capa}$$

se adopta para mejor distribución:

$$n_{es} = 2 \text{ esp./capa}$$

b. Número de capas del secundario (n_{cs}).

$$n_{cs} = N_s / n_{es}$$

$$n_{cs} = 3/2 = 1,5 \text{ capas}$$

$$n_{cs} = 2 \text{ capas}$$

Distribuidos de la siguiente manera:

1 capa de 2 espiras

1 capa de 1 espira

c. Altura del devanado secundario (h_{ds}).

$$h_{ds} = [(n_{es} + 1) * h_{cs}] / F.b$$

h_{cs} altura del conductor secundario (60,8 mm)

$$h_{ds} = (3 * 60,8) / 0,9$$

$$h_{ds} = 204 \text{ mm.}$$

Como el aislamiento entre conductores es de 0,8 mm para el devanado secundario es suficiente entre capas.

d. Ancho del devanado secundario (d_s).

$$d_s = (n_{cs} * b_{cs}) / F.b$$

b_{cs} (base del conductor secundario (16,8 mm.))

$$d_s = (2 * 16,8) / 0,9$$

$$d_s = 37,33 \text{ mm.}$$

3.8 Dimensiones específicas del núcleo y los devanados.

Las dimensiones se pueden apreciar en la Figura 3.4

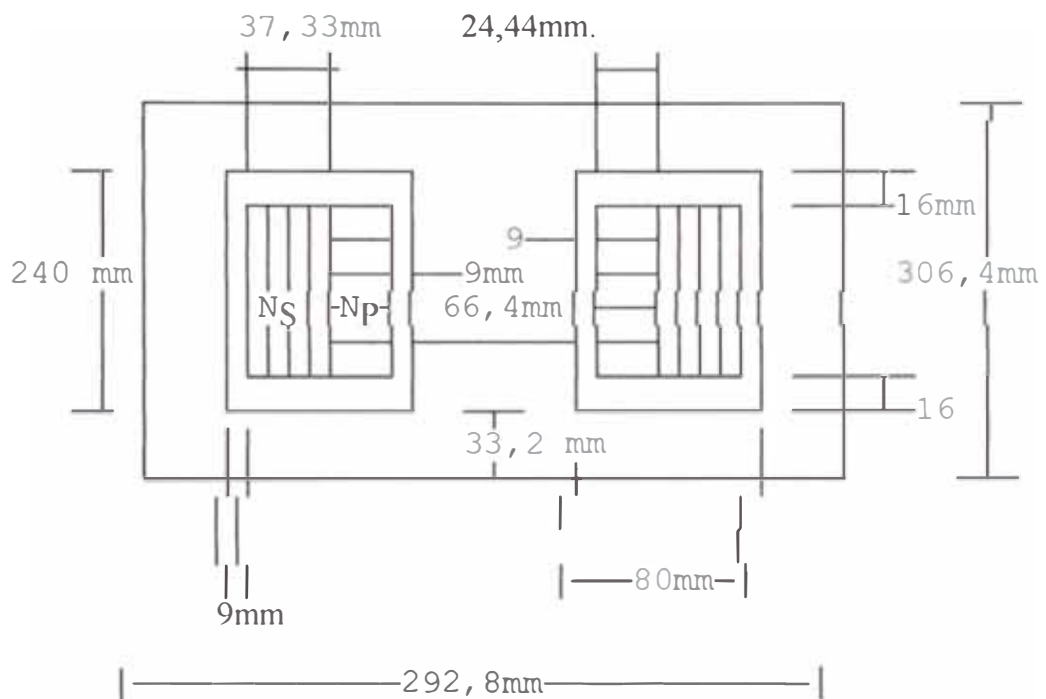


Figura 3.4

3.9 Calculo de la reactancia de dispersión.

3.9.1 Reactancia de dispersión del primario (X_{dp}).

De acuerdo a la formula (2.71) se tiene que:

$$X_{dp} = [(2 * \Pi * u_o * f * N_p^2 * d_p) / (3 * c)] * [l_{mdp} + \Pi * d_p / 2]$$

$$l_{mdp} = 2 * \Pi * r_{mp}$$

$$r_{md} = a * \sqrt{2} / 2 + e_p + d_p / 2$$

$$r_{mp} = 0,0664 * \sqrt{2} / 2 + 0,009 + 0,0244 / 2$$

$$r_{mp} = 0,069 \text{ m}$$

$$l_{mdp} = 0,43 \text{ m}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$X_{dp} = 0,20 \text{ ohmios}$$

La inductancia del devanado ; $L_{dp} = 0,20 / (2 * \pi * 60)$

$$L_{dp} = 0,53 \text{ mH.}$$

3.9.2 Reactancia de dispersión del secundario (X_{ds}).

$$X_{ds} = [(2 * \pi * u_o * f * N_s * ds) / (3 * c)] * [l_{mds} + \pi * ds / 2]$$

$$l_{mds} = 2 * \pi * r_{ms}$$

$$r_{ms} = a * \sqrt{2} + e_p + d_p + d_s / 2$$

$$r_{ms} = 0,0664 \sqrt{2} + 0,009 + 0,0244 + 0,03733 / 2$$

$$r_{ms} = 0,1 \text{ m.}$$

$$l_{mds} = 0,63 \text{ m.}$$

$$X_{ds} = [(8 * \pi^2 * 32 * 60 * 0,03733) / (3 * 0,24 * 10^7)] * 0,69$$

$$X_{ds} = 0,000155 \text{ ohmios}$$

La inductancia del devanado; $L_{ds} = 0,000155 / (2 * \pi * 60)$

$$L_{ds} = 0,411 \text{ uH.}$$

3.10. Cálculo de la Resistencia de los devanados.

a. La resistencia a 20°C.

$$R_{dcp} = \gamma_{cu} * N_p * l_{mdp} / A_{cup} \text{ Ohmios}$$

$$R_{dcp} = (165 * 0,39063) / (16 * 56)$$

$$R_{dcp} = 0,07193 \text{ ohmios}$$

b. La resistencia a 75°C.

Encontramos la resistividad del cobre:

$$\gamma_{cu75} = (1 / 56) * (310 / 255)$$

$$\gamma_{cu75} = 0,0217 \text{ (Ohmio-mm}^2\text{/m)}$$

$$R_{dcp75} = 0,0217 * 165 * 0,39063 / 16$$

$$R_{dcp75} = 0,08742 \text{ Ohmios}$$

3.10.2 Resistencia D.C. del secundario.

a. La resistencia a 20 °C.

De uno de los 12 conductores:

$$R_{dcs1} = \gamma_{cu} * N_s * l_{mds} / A_{cus} \text{ Ohmios}$$

$$R_{dcs1} = (3 * 0,584693) / (80 * 56)$$

$$R_{dcs1} = 0,000392 \quad \text{ohmios}$$

Como los 12 conductores están en paralelo la resistencia total del devanado secundario es:

$$R_{dcs} = 0,000392 / 12$$

$$R_{dcs} = 0,000033 \text{ Ohmios}$$

b. La resistencia a 75 °C.

De uno de los 12 conductores:

$$R_{dc1-75} = 0,0217 * 3 * 0,584 / 80$$

$$R_{dc1-75} = 0,0004752 \text{ Ohmios}$$

la resistencia total del devanado secundario

$$R_{dc75} = 0,0004752 / 12$$

$$R_{dcs75} = 0,0000396 \text{ Ohmios}$$

3.10.3 Resistencia A.C. del primario.

a. A 20 °C.

De la ecuación 2.77 se tiene que:

$$\theta_p = \{0,2 * \Pi\} * \sqrt{\left[\frac{l_{cp} * d_{cp} * f}{c * d_p * \gamma * 10^3} \right]} \text{ 1/cm}$$

$$l_{cp} = n_{ep} * b_{cp} = 39 * 0,4 \text{ cm.}$$

$$l_{cp} = 15,6 \text{ cm.}$$

$$d_{cp} = n_{cp} * h_{cp} = 5 * 0,4 \text{ cm.}$$

$$d_{cp} = 2 \text{ cm.}$$

$$\gamma = 0,01785 \text{ Ohmio-mm}^2/\text{m}$$

reemplazando valores en la ec. 2.77

$$\theta_p = 0,8775 \text{ 1/cm.}$$

$$e_p = \theta_p * h_{cp}$$

$$e_p = 0,8775 * 0,4$$

$$e_p = 0,3510$$

$$K_p = [(5^2 - 0,2) * (0,351^4)] / 9$$

$$K_p = 0,04182$$

La resistencia A.C. del devanado primario (R_p)

$$R_p = R_{dcp} * (1 + K_p) = 0,07193 * (1 + 0,04182)$$

$$R_{p20} = 0,07494 \text{ ohmios}$$

b. A 75 °C.

reemplazando valores en la ecuación 2.77

$\gamma = 0,0217 \text{ Ohmio-mm}^2/\text{m}$, los demás valores permanecen iguales

$$\theta_p = 0,7958 \text{ (1/cm.)}$$

$$e_p = 0,7958 * 0,4 = 0,3183$$

$$K_p = [(5^2 - 0,2)/9] * [(0,3183)^4]$$

$$K_p = 0,02817$$

$$R_{p75} = 0,08742 * (1 + 0,02817)$$

$$R_{p75} = 0,09 \text{ Ohmios}$$

3.10.4 Resistencia A.C. del secundario.

a. A 20 °C.

De uno de los 12 conductores:

$$\theta_s = \{0,2 * \pi\} * \sqrt{[(l_{cs} * d_{cs} * f) / (c * d_s * \gamma * 1000)]} \text{ 1/cm}$$

$$l_{cs} = n_{es} * b_{cs} = 2 * 0,8 = 1,6$$

$$l_{cs} = 1,6 \text{ cm}$$

$$d_{cs} = n_{cs} * h_{cs} = 2 * 1$$

$$d_{CS} = 2 \text{ cm.}$$

reemplazando valores

$$\theta_s = 0,2274 \text{ 1/cm}$$

$$e_s = \theta_s * h_{CS} = 0,2274 * 1$$

$$e_s = 0,2274$$

$$K_s = [(2^2 - 0,2) * (0,2274)^4] / 9$$

$$K_s = 0,00113$$

La resistencia A.C. de un conductor

$$R_{s1} = R_{dc1} (1 + K_s) = 0,000392 * (1 + 0,00113)$$

$$R_{s1} = 0,0003924$$

$$R_{s20} = 0,0003924 / 12$$

$$R_{s20} = 0,000033 \text{ ohmios}$$

b. A 75 °C.

De uno de los 12 conductores

$$\theta_s = \{0,2 * \pi\} * \sqrt{[(l_{CS} * d_{CS} * f) / (c * d_s * \gamma * 10^3)]} \text{ 1/cm}$$

Reemplazando valores

$$\theta_s = 0,2062 \text{ (1/cm)}$$

$$e_s = 0,2062 * 1$$

$$K_s = (4 - 0,2) * (0,2062)^4 / 9$$

$$K_s = 0,0007638$$

$$R_{s1-75} = R_{dc75} * (1 + K_s)$$

$$R_{s1-75} = 0,0004752 * (1 + 0,0007638)$$

$$R_{s75} = 0,000476 / 12$$

$$R_{s75} = 0,00003963 \text{ Ohmios}$$

3.11 Calculo del peso del núcleo (W_{fe}).

$$W_{fe} = \{[(a * H * l) - 2(a * b * c)] / K_{fe}\} * \sigma_{fe} \text{ (Kg)}$$

$$W_{fe} = \{(0,0664 * 0,306 * 0,293) - 2 * (0,0664 * 0,080 * 0,24) / 1,1\} * 7600$$

$$W_{fe} = 23,52 \text{ Kg}$$

3.12 Longitud media del circuito magnético (l_m).

$$l_m = 2*c + 2*b + 5/4*a$$

$$l_m = 2*0,24 + 2*0,080 + 5/4* 0,0664$$

$$l_m = 0,883 \text{ m.}$$

3.13 Calculo de la corriente magnetizante (I_m).

Según la fórmula (2.60) de ecuaciones fundamentales

$$I_m = [0,60*(H_{max}*l_m) / N_p] \text{ A.}$$

De la tabla para TRAN COR 5: (ANEXO 2)

Con $\beta_{max} = 1,2$ Tesla

$$H_{max} = 350 \text{ A /m}$$

$$I_m = [0,60(350 *0,883)] / 165 \text{ A.}$$

$$I_m = 1,124 \text{ A.}$$

3.14 Calculo del peso de cobre (W_{cu}).

$$Vol_{cu} = (N_p * A_{cup} * l_{mdp} + N_s * A_{cus} * l_{m ds}) / 1000 \text{ cm}^3$$

$$Vol_{cu} = (165 * 16 * 430 + 3 * 960 * 630) / 1000 \text{ cm}^3$$

$$Vol_{cu} = 2949,60 \text{ cm}^3$$

$$W_{cu} = Vol_{cu} * \sigma_{cu} = 2949,6 * 8,9 \text{ gr}$$

$$W_{cu} = 26,25 \text{ Kg.}$$

3.15 Cálculo de las pérdidas del transformador.

3.15.1 Pérdidas en el hierro (P_{fe}).

Las pérdidas por unidad de peso según la ec. 2.52

$$p_{fe} = [1,38(f/100)^2 + 2,4(f/100)] * \beta_{max}^2 \text{ W/Kg}$$

$$p_{fe} = [1,38(60/100)^2 + 2,4(60/100)] * 1,2^2 \text{ W/Kg}$$

$$p_{fe} = 2,789 \text{ W/Kg}$$

Las pérdidas en el hierro:

$$P_{fe} = W_{fe} * p_{fe} = 23,52 * 2,789 \text{ W}$$

Considerando un factor de pérdidas igual a 2 tenemos que:

$$P_{fe} = 131,2 \text{ W}$$

3.15.2 Pérdidas en el cobre (P_{cu}).

Según la ec. 2.56, $p_{cu} = 2,25 * J^2$

$$\text{con } J = 2 \text{ A/mm}^2 ; \quad p_{cu} = 2,25 * J^2 = 9 \text{ W/Kg}$$

$$P_{cu} = p_{cu} * W_{cu}$$

$$P_{cu} = 9 \text{ [W/Kg]} * 26,25 \text{ Kg}$$

$$P_{cu} = 236,25 \text{ W}$$

3.16 Corriente de pérdidas del transformador (I_w).

Para encontrar esta corriente (I_w):

$$I_w = P_{fe} / V_p$$

$$I_w = 131,2 / 220$$

$$I_w = 0,596 \text{ A.}$$

3.17 Corriente en vacío del transformador (I_0).

$$I_0 = \sqrt{(I_m^2 + I_w^2)} = \sqrt{(1,124^2 + 0,596^2)}$$

$$I_0 = 1,27 \text{ A.}$$

3.18 La corriente de soldadura (I_{sold}).

Para lo cual consideramos las resistencias halladas a 75°C, además se tiene en cuenta la resistencia de la consola, portaelectrodo, electrodo(sus secciones y longitudes de acuerdo a datos empíricos) y las pérdidas de contacto.

Como dichos elementos son de cobre, la resistividad a considerar es a 75°C.

La resistencia de la Consola (Superior o inferior)

Las dimensiones se muestran en la Figura 3.5

D —

————— L_{cons} —————

Fig. 3.5

$$L_{\text{cons}} = 0,5 \text{ m.}$$

$$A_{\text{cons}} = \pi * D^2 / 4, \text{ donde } D=5 \text{ cm.}$$

$$A_{\text{cons}} = 1963,495 \text{ mm}^2$$

$$R_{\text{cons1}} = (0,0217 * 0,5) / 1963,495$$

$$R_{\text{cons}} = 2 * R_{\text{cons1}} \text{ (por las dos consolas)}$$

$$R_{\text{cons}} = 0,000011051 \text{ Ohmios}$$

La resistencia de portaelectrodos

$$L_{\text{porta}} = 0,20 \text{ m.}$$

$$A_{\text{porta}} = \pi * D^2 / 4, \text{ donde } D=25 \text{ cm}$$

$$A_{\text{porta}} = 490,87 \text{ mm}^2$$

$$R_{\text{porta1}} = 0,000008841$$

$$R_{\text{porta}} = 2 * R_{\text{porta1}} \text{ (por los dos portaelectrodos)}$$

$$R_{\text{porta}} = 0,00001768 \text{ Ohmios}$$

La resistencia de electrodos

$$L_{\text{elect}} = 0,1$$

$$A_{\text{elect}} = \pi * D^2 / 4, \text{ donde } D=12 \text{ mm.}$$

$$A_{\text{elect}} = 113,097 \text{ mm}^2$$

$$R_{\text{elect1}} = 0,00001918 \text{ Ohmios}$$

$$R_{\text{elect}} = 2 * R_{\text{elect1}} \text{ (por ser dos los electrodos)}$$

$$R_{\text{elect}} = 0,00003837 \text{ Ohmios}$$

3.18.1 La Corriente de cortocircuito.

$$R_{\text{sec1}} = R_{\text{cons}} + R_{\text{porta}} + R_{\text{elect}}$$

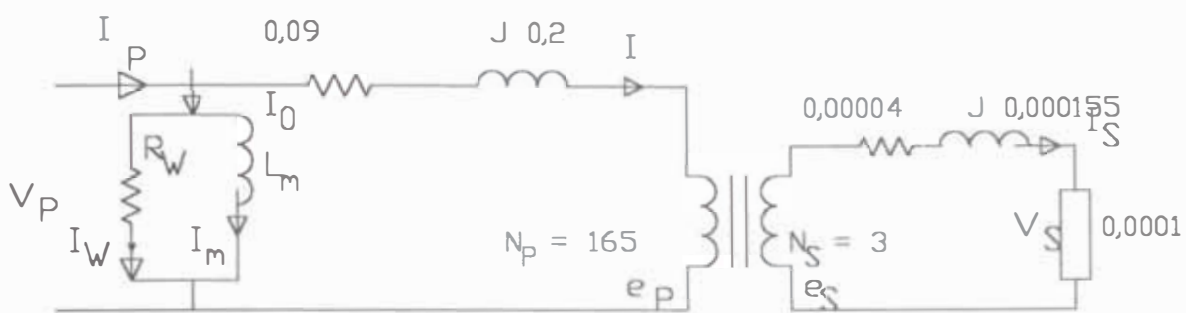
$$R_{\text{sec1}} = 0,000067 \text{ ohmios}$$

Considerando un 50% mas de R_{sec1} por los contactos

$$R_{\text{sec}} = 0,0001 \text{ Ohmios}$$

Reduciendo todos los parámetros al primario ,se tiene en la siguiente Figura 3.6

$$(I_s / n) \sim 220 / (R_{\text{eq}} + j X_{\text{eq}})$$



CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO

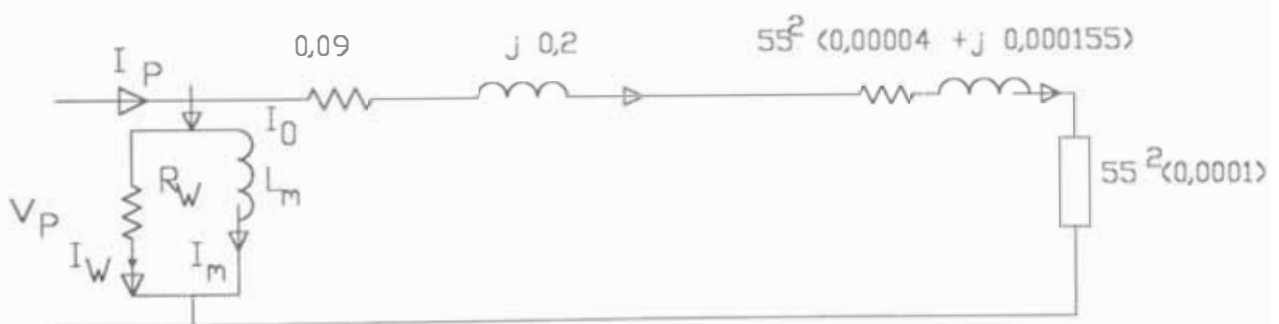


FIGURA 3.6

Circuito equivalente referido al primario

$$R_{eq} = 0,515 \text{ Ohmios}$$

$$X_{eq} = 0,6688 \text{ Ohmios}$$

$$I_{cc} = 14334,65 \text{ A.}$$

La corriente de soldadura es aproximadamente es el 70% de I_{cc} , por lo tanto

$$I_{sold} = 10034.26 \text{ A.}$$

$$I_{sold} \sim 10 \text{ kA}$$

3.19 Característica en cortocircuito.

3.19.1 Velocidad de crecimiento de la temperatura

$I_{scc} = 14334,65 \text{ A}$ corriente de cortocircuito en el devanado secundario;

$I_{pcc} = 260,63 \text{ A}$ Corriente de cortocircuito en el devanado primario

$$J_s = 14334,65 / 960 = 14,93 \text{ A/mm}^2;$$

$$J_p = 260,3 / 16 = 16,28 \text{ A/mm}^2$$

La temperatura crecerá a la velocidad de:

$$J_s^2 / 170 = 1,311 \text{ }^\circ\text{C/sg}$$

$$J_p^2 / 170 = 1,6 \text{ }^\circ\text{C/sg}$$

3.19.2 Tiempo de cortocircuito límite.

$$I_{snom} = 1750 \text{ A.}$$

$$I_{pnom} = 38,31 \text{ A}$$

$$I_{pcc} = 260,63 \text{ A}$$

$$I_{scc} = 14334,65 \text{ A.}$$

$$J_{nom} = 2 \text{ A/mm}^2$$

$$t_{cc} \cong 2,5 * [100 * (I_{nom} / I_{cc}) / (J_{nom})]^2 \text{ sg}$$

Reemplazando valores:

$$t_{pcc} = 135 \text{ sg.}$$

$$t_{scc} = 93,14 \text{ sg ;}$$

El tiempo de cortocircuito límite a la cual no se deteriora el aislamiento. Por lo tanto en la explotación de la máquina no se debe temporizar a valores cercanos a lo calculado, en este caso de 93,14 sg.

3.19.3 Tiempo de vida útil del devanado($t_{\text{años}}$).

Del cuadro 2.2 y de la figura 2.14, considerando las condiciones de trabajo las mas severas , para la clase F de Aislamiento; la vida útil es de 20000 hrs, suponiendo un trabajo promedio de 2000 horas por año,tendremos:

$$t_{\text{años}} = 20000\text{hrs} / 2000\text{hrs/año} = 10 \text{ años}$$

CAPITULO IV DISEÑO DEL APARATO DE MANDO, REGULACION Y DEL TEMPORIZADOR

4.1 Principios teóricos del aparato de mando, regulación y temporización.

Debido a sus características de <<control>>, los tiristores pueden asegurar el control y la regulación de la corriente suministrada por una fuente a una carga exterior, permitiendo lograr la unión permanente entre ambos elementos o interrumpirla. Se dice en este caso que funciona como INTERRUPTOR. También es posible con ellos hacer que esta unión sea intermitente, consiguiendo regular la intensidad de corriente que la fuente suministra a la carga, en este caso el tiristor funciona como REGULADOR.

4.1.1 Principios teóricos del aparato de mando.

Un interruptor mecánico de C.A., puede sustituirse ventajosamente por una combinación de dos tiristores en antiparalelo, interponiendo un transformador de mando. Como ventajas hay que contar el número prácticamente ilimitado de maniobras, la ausencia de desgaste, la posibilidad de ajustar exactamente el instante de conexión mediante los impulsos de encendido, y la desconexión sin arco al paso natural de la corriente por cero. Como desventajas se tiene la caída de tensión directa en estado cerrado, que a menudo hace necesaria una refrigeración, el insuficiente poder de aislamiento en estado de bloqueo, con corrientes inversas de algunos miliamperios y su mayor precio comparativamente. A pesar de estas desventajas, los interruptores semiconductores se emplean en el campo de bajas tensiones, allí donde se exija un alto número de maniobras sin necesidad de trabajos de entretenimiento. Los interruptores se conectan a la red en serie con el

arrollamiento primario del transformador como se muestra en la figura 4.1. En un interruptor semiconductor de este tipo comienza a circular la corriente tan pronto como los tiristores se encienden. Las semiondas de corriente de distinta polaridad son conducidas alternativamente por ambos tiristores. Existen los interruptores asíncronos y síncronos.

a. Interruptor asíncrono.

Conecta al transformador para soldadura en cualquier instante de tiempo, lo cual trae un riesgo de generación de parásitos en el instante de cierre si se hace en forma aleatoria (Puede ponerse en conducción en momento en que la tensión presenta un valor importante).

Se entenderán también como tales los circuitos que permitan a un tiristor funcionar como interruptor de forma que el elemento permanezca cerrado en tanto dure una orden de cierre aplicado al mismo, y se abra al desaparecer dicha orden.

b. Interruptor síncrono.

Conecta el transformador siempre en el momento de tiempo estrictamente determinado, o sea en el instante relacionado con el cambio de tensión. La conexión por turno de los tiristores SCR1 y SCR2, está asegurado por el suministro a sus electrodos de puerta con impulsos de puerta de corta duración de la corriente de mando a partir de un transformador de impulsos.

La tensión de la red U_r , se determina por el ángulo α , se puede regular haciendo que $\alpha = \varphi$, donde φ es el ángulo de desfase entre la tensión y la corriente, tal como se puede apreciar en la figura 4.2.

El esquema de uso muy frecuente que permite realizar esta función es la que se muestra en la figura 4.3, lo cual consta de:

b.1 Red de desfase.

Como nuestra carga es inductiva, resulta indispensable prolongar el impulso de puerta durante una importante fracción de cada semionda. Para lograr esto se toma la

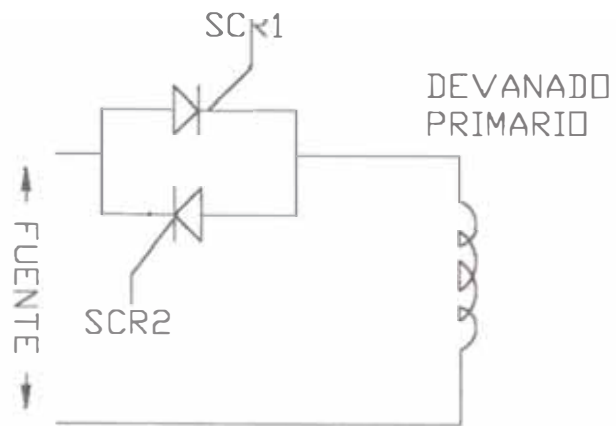


FIGURA 4.1
INTERRUPTOR SEMICONDUCTOR

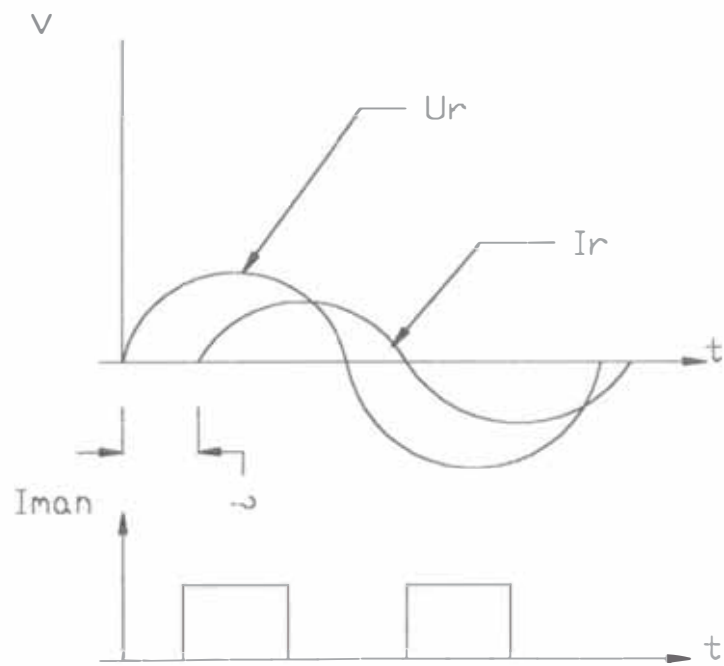


FIGURA 4.2
DESFASE ENTRE U_r E I_r

Carga(Transformador de Soldadura)

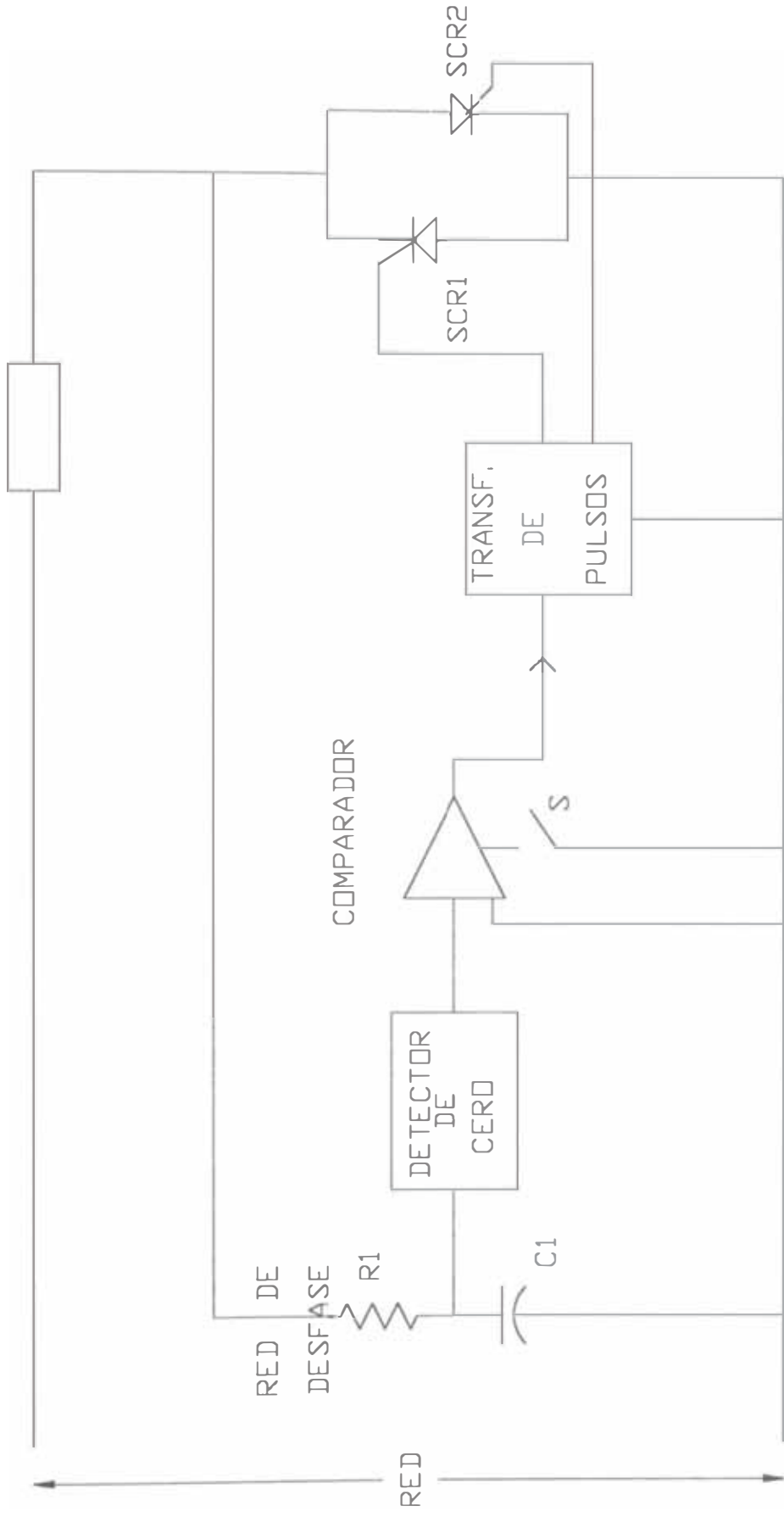


FIGURA 4.3

Diagrama de bloques del Interruptor Sincrono

señal V_i entre la carga y los terminales de los tiristores, además de ello se conecta un resistor en serie con un capacitor que introduce un ligero desfase con la finalidad de asegurar un disparo efectivo del interruptor, haciendo llegar el impulso de mando después de un ángulo de desfase.

b.2 Detector de cero y comparador.

Se conecta en los terminales de capacitor C_1 que detecta el cruce por cero de la tensión y el comparador cuya salida sólo se activa cuando el detector indica un paso por cero de la tensión (En la práctica es por debajo de una cierta tensión de umbral, que es de algunos Voltios).

b.3 Interruptor de mando.

Con el que se puede inhibir la salida del comparador, es decir mientras S está cerrado el comparador está inhibido y la corriente de puerta es nula. Al abrir S se pone en servicio el comparador.

b.4 Transformador de pulsos.

Son transformadores que operan normalmente excitados por una fuente discontinua de excitación. La potencia promedio de estos es muy baja. Al emplear estos hay que tener en cuenta los VA pico y promedio de potencia y el producto voltaje-tiempo, que se define como la integral máxima de un pulso rectangular que puede aplicarse a un devanado, antes de que los efectos de saturación de núcleo hagan que la forma de onda del pulso varíe, esta variación está dada en porcentaje de una rampa lineal. Son de pequeñas dimensiones y tienen relativamente pocas espiras con objeto de reducir al mínimo las inductancias de dispersión: sus núcleos son de ferrita o de cintas enrolladas de aleaciones de alta permeabilidad tales como Hipersil o Permalloy.

El acoplamiento magnético de los circuitos de mando y de potencia se realizan mediante estos transformadores cuyo primario es excitado por el circuito de mando y cuyo secundario ataca al terminal de control del semiconductor de potencia a través de un circuito amplificador.

Los transformadores de pulsos suelen trabajar en una gama muy amplia de frecuencias de 50 Hz hasta centenares de Kilohercios. La caracterización de estos componentes (para no sobrepasar su inducción magnética máxima para la que han sido diseñados), se apoya, más que en una frecuencia y una tensión de trabajo, en la Integral tensión-tiempo que admiten partiendo de un estado de reposo magnético (flujo nulo). La Integral tensión-tiempo de los transformadores de pulsos comerciales suelen estar comprendidos entre 100 y 10000 Vusg.

4.1.2 Principios teóricos de regulación.

El método de variación de la potencia ha utilizar es con control a tensión nula.

Para realizar esto se utiliza el mismo interruptor síncrono, sustituyendo el interruptor mecánico S por un control electrónico, en nuestro caso un multivibrador realizado en base al Timer 555.

En la figura 4.4:

El tiempo t_1 determina el número de semiondas que recibe la carga y el tiempo t_2 fija el número de ondas suprimidas dentro de cada periodo de recorte (Lo cual fija el temporizador).

Gracias al funcionamiento síncrono del interruptor se hace siempre pasar un número entero de semiondas, cualesquiera que sea la fase, período o factor de simetría del multivibrador.

t_1 ...determina el número de semiondas que recibe la carga

t_2 ... determina en número de semiondas suprimidas

Por consiguiente el multivibrador sera el que maneje dichos tiempos de acuerdo a las relaciones:

$$t_1 = 0,693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C \quad (4.1)$$

$$t_2 = 0,693 \cdot R_2 \cdot C \quad (4.2)$$

La potencia de salida (P_{sal}) sera regulada entre 0,75% al 95% de la potencia de la

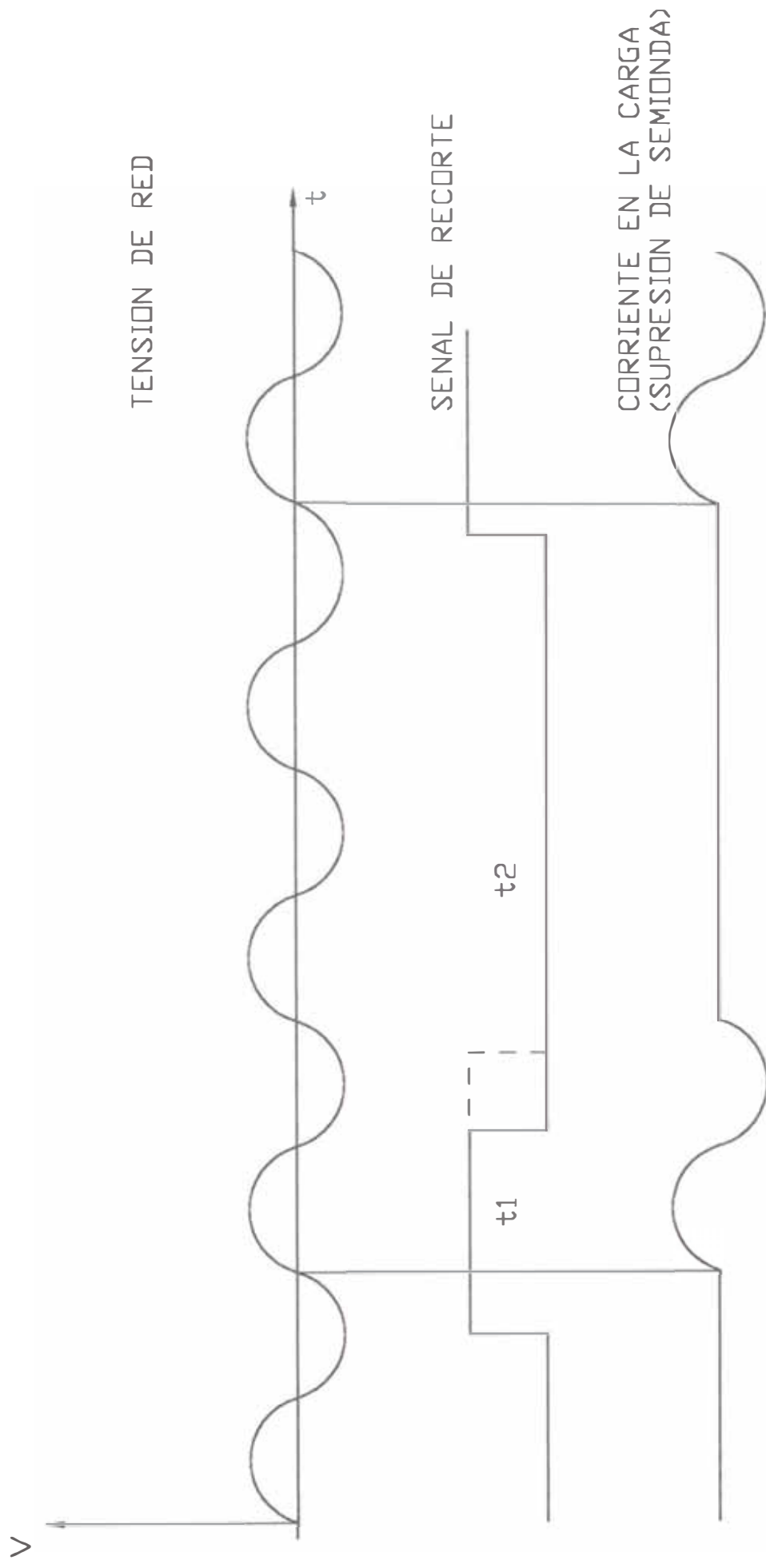


FIGURA 4.4

$$POTENCIA_{ent} = [t_1 / (t_1 + t_2)] * P_{maq}$$

máquina (P_{maq}).

La potencia de salida estará regulada de acuerdo a

$$P_{sal} = t_1 / (t_1 + t_2) * P_{maq} \quad (4.3)$$

$$P_{sal} = [0,693 * (R_1 + R_2) * C] / [0,693 * ((R_1 + R_2) * C + R_2 * C)] * P_{maq} \quad (4.4)$$

Simplificando:

$$P_{sal} = (R_1 + R_2) / (R_1 + 2 * R_2) * P_{maq} \quad (4.5)$$

4.1.3 Ecuaciones fundamentales de mando y regulación.

a. Detector de cero-comparador.

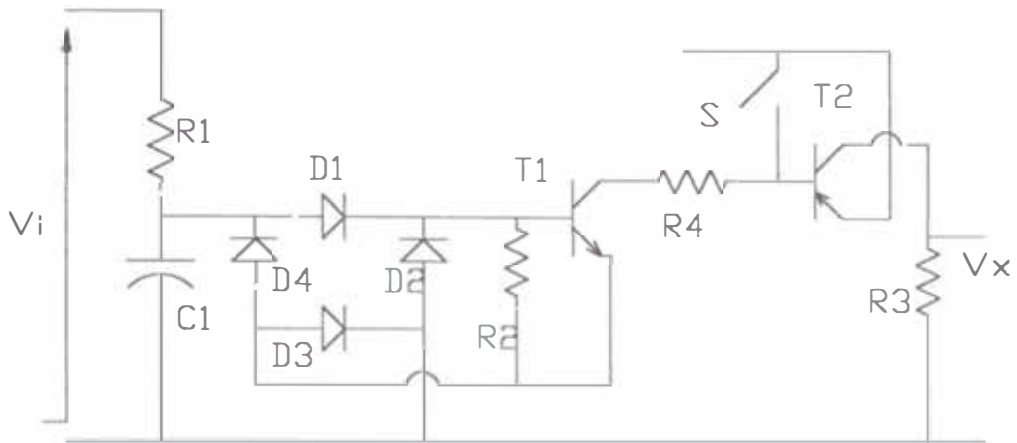
Como detector se utiliza un puente rectificador de onda completa, el cual esta alimentado directamente por la red a través del resistor R_1 ; como comparador el transistor T_1 , mientras la tensión alterna V_i sea superior a la tensión umbral V_{umb} . (proporcional a la tensión directa base-emisor de T_1), el transistor conduce y mantiene baja la salida V_x . El Transistor T_1 funciona en emisor común durante la semionda positiva y su tensión de emisor permanece fija aproximadamente en 0,7 Voltios, debido a uno de los diodos del puente. En cambio durante la semionda negativa funciona en base común y el emisor queda alimentado a través de R_1 . Para evitar la disimetría entre las semiondas se utiliza T_1 como etapa de ataque para un transistor suplementario T_2 montado en emisor común (Figura 4.5 y los valores en Lámina MRT-02)

$$V_{umb} \sim V_{BE} * (R_1 / R_2) \quad (4.6)$$

b. Parámetros del SCR

b.1 Impedancia térmica.

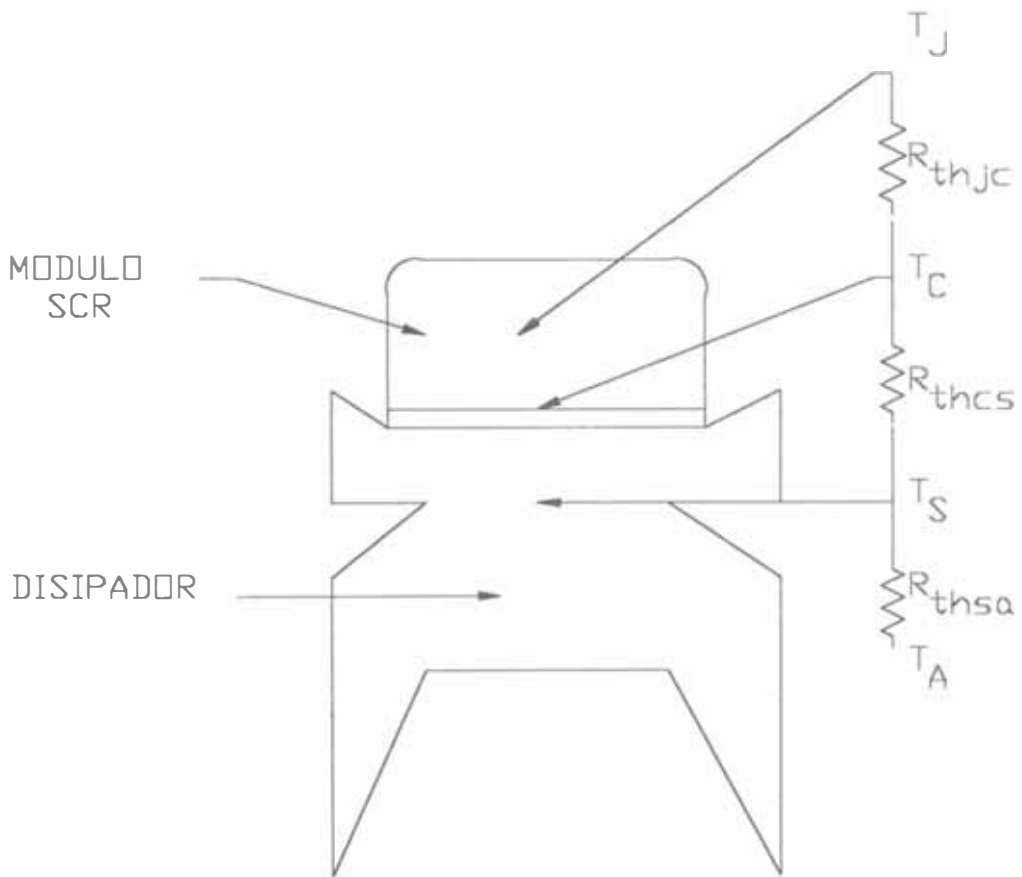
Cuando la corriente circula a través de un dispositivo de estado sólido (Figura 4.6) , se disipa potencia en la pastilla del semiconductor, la que es igual al producto de la tensión que hay través de la juntura y la corriente que la cruza. Como resultado de ello se produce un aumento de temperatura en la pastilla. La magnitud de este aumento



$$V_{\text{umbral}} = V_{BE} * R1/R2$$

FIGURA 4.5

Detector de cero-Comparador



$$T_J = T_A + P_t * R_{tjJA}$$

FIGURA 4.6

Circuito termico equivalente del disipador

depende del nivel de potencia y de la rapidez con el que el calor escapa de la junta al medio ambiente que lo rodea. La potencia P disipada dentro del cristal de un dispositivo de estado sólido produce una circulación de calor del cristal al exterior. Esta circulación de calor (potencia P en Watt) en un estado sólido es análogo a la circulación de carga (corriente eléctrica) en tal circuito. Las resistencias térmicas y las capacitancias térmicas del dispositivo son análogos a las resistencias y capacitancias eléctricas. La diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera del circuito es similar a la diferencia de temperaturas entre los dos puntos correspondientes del dispositivo. La impedancia térmica Z_{th} , al igual que la impedancia eléctrica Z , es una variable compleja debido a la dependencia con el tiempo asociada a la capacitancia térmica C_{th} . Esta capacitancia varía directamente con la masa y el calor específico. Por lo tanto, la pequeña masa del elemento semiconductor de un dispositivo hace que la capacitancia térmica sea más pequeña en la fuente de calor.

A través de todo el rango de funcionamiento de la mayor parte de dispositivos es suficientemente pequeña para ser despreciada generalmente en los cálculos térmicos.

$$R_{th} = (T_j - T_c) / P_t \quad (4.7)$$

R_{th} Resistencia térmica en °C/W

T_j Temperatura en la unión °C

T_c Temperatura en el Case

P_t Potencia total disipada en el dispositivo W

b.2 Regímenes y características límites de SCR.

Los tiristores deben funcionar dentro de los regímenes máximos especificados por el fabricante para asegurar los mejores resultados en lo que respecta a comportamiento, duración y confiabilidad. El fabricante especifica varias características, que son propiedades directamente mensurables que definen las características inherentes al tiristor, las cuales son:

a) Corriente media y RMS.

Para aplicaciones desde la red industrial con 60 Hz de frecuencia están diseñados para ambas corrientes, la corriente media (basados en 180 ° de ángulo de conducción, medido sobre todo el ciclo). La corriente RMS es independiente del ángulo de conducción.

Las relaciones para determinar:

$$I_T(AV) = \left(I_p / \pi \right) \int_0^{\pi} \sin(\theta) d\theta$$

$$I_T(AV) = I_p / \pi \quad (4.8)$$

$$I_T(RMS) = \sqrt{\left[(I_p^2 / 2 * \pi) \int_0^{\pi} (\sin(\theta))^2 d\theta \right]}$$

$$I_t(RMS) = I_p / 2 \quad (4.9)$$

De estas dos relaciones se tiene que:

$$I_T(AV) = (2/\pi) * I_T(RMS) \quad (4.10)$$

Además la relación entre la corriente eficaz de carga y la corriente eficaz por SCR esta dado por la siguiente relación:

$$I_T(rms) = (\sqrt{2} / 2) * I_{RMS}(carga) \quad (4.11)$$

b) Corriente accidental de pico (I_{TSM}).

Es el valor que puede alcanzar una punta de corriente entre ánodo-cátodo en forma accidental y están provistos para un ciclo de duración.

c) Corriente de falla (I^2t).

Sirve para determinar el fusible de protección cuando ocurre un cortocircuito. En los datos técnicos del fabricante se da generalmente para el funcionamiento a 60 Hz y se calcula en base a la sobrecorriente de pico máximo que el tiristor puede soportar durante el lapso de un ciclo (16,67 msg).

$$I^2t = (I_{TSM} / \sqrt{2})^2 * t \quad (4.12)$$

donde $t = 8,33$ msg para 60 sg

I_{TSM} sobrecorriente de pico máximo

d) Corriente de mantenimiento (I_{hold}).

Para conservar su estado de conducción el tiristor debe suministrar una corriente entre ánodo y cátodo , mínima .

e) Corriente de enganche (I_l).

La corriente de enganche es la corriente mínima que hace bascular al tiristor del estado de bloqueo al de conducción su valor es por lo general de dos a tres veces la corriente de mantenimiento.

f) Velocidad de crecimiento de la corriente (di/dt) A/ μ s

Si el circuito exterior impone durante esta fase de conmutación un crecimiento rápido de la corriente , la densidad de corriente en la zona de cebado puede alcanzar un valor importante Durante la conmutación del estado de bloqueo al de conducción la caída de tensión en el SCR , no se efectúa en forma instantánea , hay momentos en que se presentan valores elevados de corriente y tensión , los cuales hacen que la potencia instantánea pueda alcanzar valores elevados que pueden destruir al dispositivo. Por estas razones los fabricantes especifican un valor límite para definir la rapidez crítica de aumento de la corriente. La rapidez crítica de aumento de la corriente depende del tamaño del área del cátodo que comienza a conducir inicialmente , y el tamaño de esta área aumenta para valores grandes de corriente de disparo de compuerta , algunos recomiendan hacer que la corriente de disparo sea algunas veces mayor que la corriente mínima de disparo.

La carga en la conexión y desconexión es una inductancia, por lo tanto para su análisis se hace uso de un circuito R-L(Figura 4.7),cuya ecuación diferencial es:

$$u(t) = i * R + L * di/dt \quad (4.13)$$

cuya solución es

$$i = (U/R)(1 - e^{-(t-t_0)/T}) \quad (4.14)$$

donde $T = L/R$

La tensión en la inductancia L es igual a:

$$u_L = L \cdot di/dt \quad (4.15)$$

derivando ec.4.14 se tiene:

$$di/dt = (U/L) \cdot e^{-(t-t_0)/T} \quad (4.16)$$

La máxima velocidad de variación de corriente se produce en el instante de conexión t_0 , de la ecuación 4.16 se tiene:

$$di/dt_{\max} = U/L \quad (4.17)$$

g) Pendiente de tensión dV/dt ($V/\mu\text{s}$).

Este parámetro es muy importante, una velocidad excesiva de crecimiento de la tensión aplicada entre ánodo y cátodo puede provocar el cebado del tiristor bloqueado en ausencia de señales de puerta. Este fenómeno se debe a la capacidad interna del SCR que se carga con una corriente: $i = C \cdot dV/dt$, si dV/dt es grande, puede ser suficiente para lograr el cebado. La especificación dV/dt es limitado utilizando una red con constante de tiempo RC , en combinación con las inductancias preconnectadas, por debajo del valor crítico del tiristor en la Fig.(4.8)

$$v_{ak} = V_m \sin \mu t \dots \quad (4.18)$$

v_{ak} tensión aplicada entre anodo-cátodo del SCR

μ frecuencia oscilante del circuito

V_m La tensión aplicada a la carga

se puede escribir la siguiente ecuación:

derivando ecuación (4.18)

$$dv_{ak}/dt = \mu \cdot V_m \cdot \cos \mu t \quad (4.19)$$

$$\mu = 1/\sqrt{L \cdot C} \quad (4.20)$$

$$R \sim \sqrt{L/C} \quad (4.21)$$

La máxima relación de cambio ocurre en el instante $t=0$

de la ecuación 4.19 se tiene que:

$$dv_{ak}/dt_{\max} = V_m / \sqrt{L \cdot C} \quad (4.22)$$

h) Característica de Compuerta.

Los Tiristores están proyectados para ser disparados por una señal aplicada al terminal compuerta. Las especificaciones del fabricante indican los valores absolutos de la corriente y tensión de compuerta requeridos para encender para esto proporcionan una gama de valores en forma de diagramas de curvas, en el cual definen los límites de dichos parámetros

El circuito de disparo básico de compuerta de un tiristor puede representarse por una fuente de tensión y una resistencia en serie (considerando la resistencia interna de la fuente y del circuito). Con el disparo por pulsos se supone inicialmente que se conoce el tiempo de encendido requerido para disparar , y que se van determinar los ancho máximos admisibles de los pulsos de disparo de compuerta para determinadas potencias de entrada de compuerta . En realidad , el requerimiento mínimo es que el ancho de pulso sea lo suficientemente grande como para que la corriente alcance el valor de enganche. Sin embargo se requiere que el ancho de pulso sea por lo menos igual al tiempo de encendido. Para carga inductivas , el tiempo de encendido es mayor debido al aumento lento de la corriente a través de la inductancia.

La corriente de compuerta especificada en los datos técnicos para los tiristores, es la corriente de disparo de compuerta de CC requerida para pasar a un SCR a su estado de baja impedancia. A los fines prácticos este valor de CC puede considerarse equivalente a una corriente de pulsos que tiene un ancho de 50 microsegundos . Para anchos de pulso menores que 50 usg, se deben usar las curvas de corrientes asociadas a un dispositivo particular para asegurar el encendido.

Para el disparo con pulsos , siempre es conveniente proporcionar una corriente que tenga un valor superior al de CC.

i) Extinción.

La extinción de los tiristores se produce cuando se reduce la corriente por debajo de la corriente de mantenimiento , o, simplemente cuando se anula la corriente. Tras la

extinción no se puede volver a aplicar la tensión antes de un cierto tiempo para que vuelva a conducir, así podemos considerar el tiempo de extinción:

$$t_q = t_{rr} + t_{gr}, \text{ donde:}$$

t_{rr} es el tiempo de recuperación inversa (sg)

t_{gr} es el tiempo de recuperación de puerta (sg)

El tiempo de extinción varia entre 5usg hasta 50 usg.

j) Temperatura de la unión.

Las especificaciones técnicas de cada tipo de tiristor dan los valores límites de la temperatura de trabajo . Así pues la temperatura de unión no debe sobrepasar la temperatura máxima , para que no ocurra tal hay que asegurar una eficaz refrigeración fijando el tiristor sobre un radiador, refrigerando a su vez ya sea por las corrientes de aire del ambiente, o por una corriente forzada de aire. Esta temperatura no es medible directamente, por lo que es preciso determinarla en función de la temperatura ambiente y de las imposiciones eléctricas.

k) Potencia disipada (P_t).

La potencia disipada en la unión depende de cinco causas siguientes:

- Las pérdidas por conducción directa;
- Las pérdidas por conmutación durante el cebado;
- Las pérdidas por conmutación durante la extinción ;
- Las pérdidas durante el bloqueo;
- Las pérdidas en el circuito de puerta.

Los fabricantes suelen dar unas familias de curvas que indican la potencia media disipada para un cierto tiristor.

b.3 Protección contra sobreintensidades

La limitada capacidad de sobrecarga térmica de los semiconductores obliga a disponer en sus circuitos unos elementos adicionales limitadores de intensidad, los cuales pueden ser tan sólo de limitación (generalmente inductancias en serie) o de corte (fusibles). Los semiconductores pueden soportar de forma transitoria sobrecargas bajas y medias, cuyo valor es dado por los fabricantes como una función del tiempo a partir de 8,33 msg, que es la duración de un semiciclo de 60 Hz. La protección puede llevarse a cabo con algún elemento de interrupción lento o por medio del circuito de mando. Para las sobrecargas altas, cuya duración es inferior a 10 msg, la única alternativa es usar fusibles ultrarrápidos.

El $I-t$ es un parámetro útil para el caso de fuertes sobrecargas y tiene distinto significado según el elemento de que se trate. En los semiconductores es un índice del calor generado con onda senoidal, mientras que en los fusibles lo es de la energía que dejan pasar con una onda triangular, y además, no están ambos referidos a la misma duración.

b.4 Datos suministrados por los fabricantes

Los fabricantes de fusibles dan, entre otros, los siguientes datos

- $(I^2t)_{fus}$ para diferentes valores eficaces de la onda de intensidad esperada.
- I_M para diferentes valores eficaces de la onda de intensidad esperada.

Los fabricantes de Semiconductores dan:

- (I^2t) máximo soportable con semiciclo senoidal de 8,33 msg de duración para la unión fría y caliente.
- Máximo pico no repetitivo de intensidad o de intensidad de pico único, I_{pu} , definido para un semiciclo senoidal de 8,33 msg. Se relaciona con el dato anterior así:

$$(I^2t) = (I^2_{TSM} \cdot 10^{-2}) / 2 \quad (4.23)$$

b.5 Protección en corriente alterna.

Se trata de encontrar el mayor calibre de fusible que proteja con seguridad al semiconductor en cuestión para las condiciones reales del circuito. Como se quiere proteger un semiconductor, lo que se pretende es que, tras una sobrecarga, no se sobrepase ni siquiera transitoriamente su temperatura máxima soportable, por encima de la cual se produciría un daño irreversible.

La protección contra sobreintensidades de un semiconductor consiste, en resumidas cuentas, en limitar la máxima temperatura que pueda alcanzar, para lo cual ha de verificarse la siguiente relación

$$I_M (I^2t)_{fus} < (6/1000) * (I_{TSM})^3 \quad (4.24)$$

c. Multivibrador

Para realizar el control de potencia por paquetes de semiondas, utilizamos el 555 conectado como multivibrador de la siguiente manera en la (Figura 4.9)

Cuando la salida Q del FF S-R esta en nivel lógico bajo el transistor de descarga esta en corte y el capacitor se va cargando a través de $R_1 + R_2$. La constante de carga es:

$$C * (R_1 + R_2).$$

A medida que se carga el capacitor aumenta el voltaje de umbral, y finalmente supera el voltaje $2 V_{CC}/3$. en ese momento la salida del comparador superior pasa a nivel alto poniendo el FF a uno lógico, con lo cual satura el transistor y pone a tierra el terminal 7 del C.I. El capacitor entonces se descarga a través de R_B . La constante de descarga es $R_2 * C$. Cuando el voltaje del capacitor baja ligeramente inferior que $V_{CC}/3$ el comparador bajo conmuta la salida a nivel alto restableciendo el FF.

La salida es una onda rectangular.

Ecuaciones Fundamentales:

En el gráfico anterior en el capacitor C el voltaje varía según la siguiente ecuación:

$$V_C = V_f + (V_i - V_f)e^{-t/RC} \quad (4.25)$$

El capacitor se carga hasta un voltaje $2 \cdot V/3$

El Voltaje final $V_f = V$

El Voltaje inicial $V_i = V/3$

$$2 \cdot V/3 = V + (V/3 - V) \cdot e^{-t_1/(R_1 + R_2) \cdot C}$$

simplificando ecuacion anterior

$$0,5 = e^{-t_1/(R_1 + R_2) \cdot C}$$

$$\ln 0,5 = -t_1 / (R_1 + R_2) \cdot C$$

$$t_1 = 0,693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C \quad (4.26)$$

Durante la descarga del capacitor C

$$V_C = 2 \cdot V/3$$

$$V_f = V$$

$$V_i = V/3$$

Reemplazando estos valores en (4.25)

$$2 \cdot V/3 = V + (V/3 - V) \cdot e^{-t_2 / R_2 \cdot C}$$

Simplificando

$$0,5 = e^{-t_2 / R_2 \cdot C}$$

$$\ln 0,5 = -t_2 / R_2 \cdot C$$

$$t_2 = 0,693 R_2 \cdot C \quad (4.27)$$

$$T = t_1 + t_2$$

$$T = 0,693 \cdot C \cdot (R_1 + 2 \cdot R_2)$$

$$f = 1/T$$

$$f = 1,442 / [C \cdot (R_1 + 2 \cdot R_2)] \quad (4.28)$$

4.1.4 Principios teóricos del temporizador.

El temporizador o cronizador 555 combina un oscilador de relajación, dos comparadores, un biestable y un transistor de descarga en un mismo C I. En realidad

el 555 se utiliza como un multivibrador monoestable (One Shot). Diagrama de bloques del 555 (figura 4.10)

Cuando se suministra tensión al circuito, inicialmente el capacitor C , tiene carga inicial igual a cero, por consiguiente el comparador bajo en primera instancia tiene en su salida el nivel lógico alto y el comparador superior un nivel bajo, los cuales activan el Flip-Flop S-R, por tanto en la salida (terminal 3) se tiene una salida en alto, este valor permanece hasta que el capacitor se cargue a un voltaje ligeramente superior que los dos tercios de la Tensión de alimentación, instante en que el comparador superior en su salida pasa a nivel lógico alto y el comparador bajo su salida en nivel lógico bajo, con estas dos señales el FF S-R en su salida pasa a nivel lógico bajo. Cuanto mayor sea la constante de tiempo RC , más tiempo tardará el capacitor en alcanzar el voltaje de $2/3 * V_{CC}$ de manera que esta constante de tiempo controla la duración del pulso de salida.

a. Ecuaciones fundamentales.

Del graf.(4.10) se puede plantear la siguiente ecuación

$$V = i * R + V_C \quad (4.29)$$

Donde $V_C = (1/C) * \int i * dt$

De esta última relación $(i/C) = dV_C/dt$ reemplazando en (4.29) se tiene:

$V = R * C * dV_C / dt + V_C$, derivando esta ecuación

$$dV/dt = RC * d^2V_C / dt^2 + dV_C/dt \quad (4.30)$$

La ecuación diferencial (4.30) tiene una solución de la forma:

$$V_C = C_1 + C_2 e^{-t/RC} \quad (4.31)$$

para hallar las constantes

$$\text{en } t=0 \quad V_i = C_1 + C_2$$

$$\text{en } t \rightarrow \infty \quad V = C_1 \quad (4.32)$$

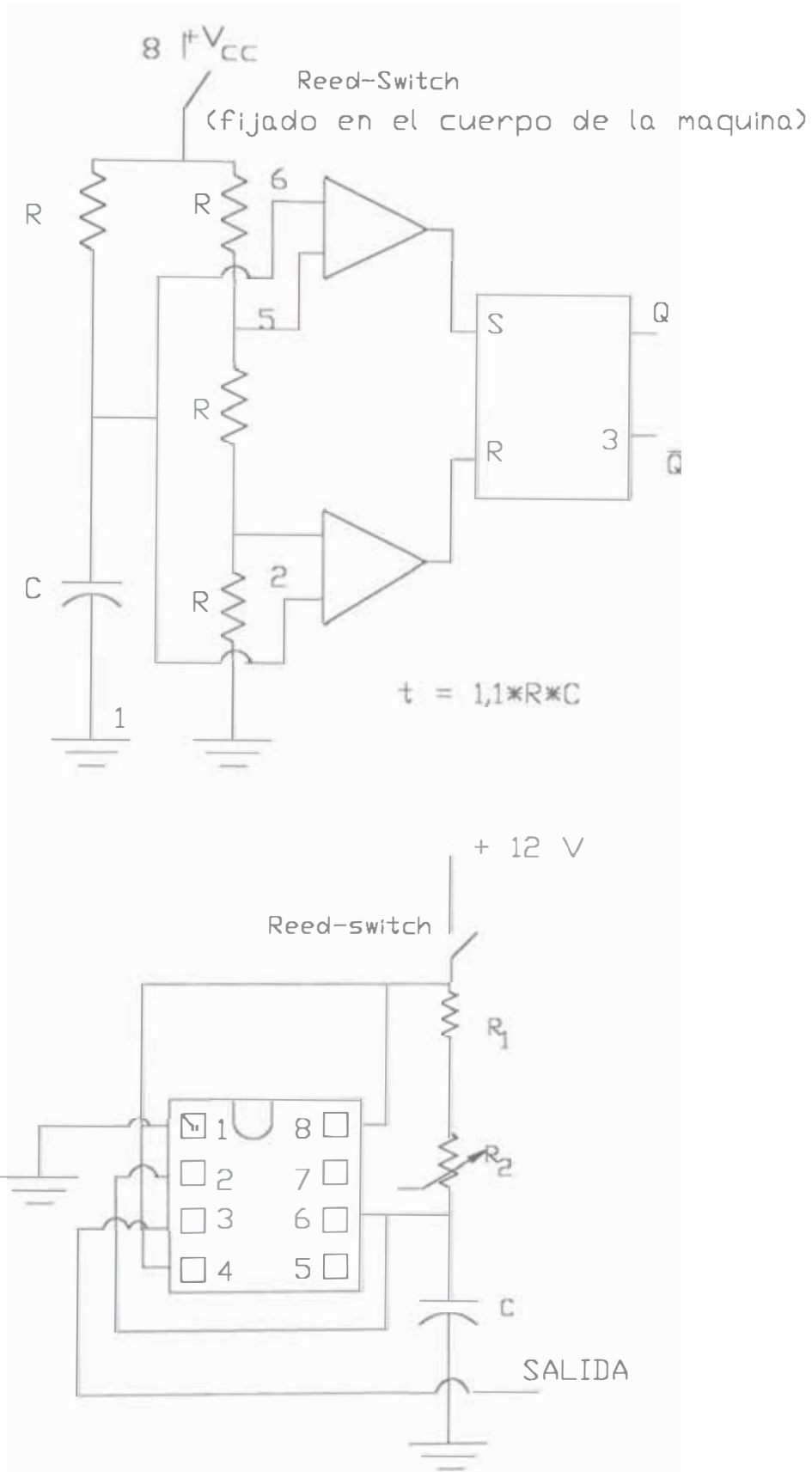


FIGURA 4.10

$$C_2 = V_i - V \quad (4.33)$$

reemplazando 4.32 y 4.33 en 4.31

$$V_C = V + (V_i - V) * e^{-t/RC} \quad (4.34)$$

Cómo el capacitor se carga a $2/3 * V$ y $V_i = 0 V$

$2/3 * V = V - V * e^{-t/RC}$ simplificando

$$e^{-t/RC} = 1/3$$

$$t = R * C * \ln 3$$

$$t = 1,0986 * R * C \quad (4.35)$$

4.2 Diseño del aparato de mando.

4.2.1 Elección del SCR

a. Tensión de pico inverso V_{RRM} .

$$V_{pico} = V_N * \sqrt{2}$$

donde $V_N = 220$ Voltios

$$V_{pico} = 311,12 \text{ Voltios.}$$

Según la norma VDE parte 2/10.75 recomienda un factor de seguridad de 2 a 2,5; escogemos 2.00

$$V_{pico} = 2 * 311,12 = 622,24 \text{ Voltios}$$

b. Corriente en el SCR.

La corriente eficaz en la carga es de 181,81 A.

La corriente en uno de los SCR esta dado por:

$$I_{T(RMS)} = (\sqrt{2} / 2) * 181 = 128,56 \text{ A.}$$

Utilizando el factor de seguridad iguala 2

$$I_{T(RMS)} = 255,96 \text{ A.}$$

con los valores de a y b seleccionamos del Manual Power Modules INTERNATIONAL RECTIFIER el SCR IRK170(ANEXOS 3 y 4) que tiene:

$$I_{T(AV)} = 170 \text{ A}$$

$$I_{T(RMS)} = 377 \text{ A.}$$

$$V_{\text{DRM-RRM}} = 800 \text{ V.}$$

c. Cálculo de la refrigeración requerida por el SCR.

El tiristor IRK170 del Manual

* Características mecánicas(ANEXO 5):

Resistencia térmica:

$$\text{juntura-case } R_{\text{th(jc)}} = 0,17 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$\text{case-disip. } R_{\text{th(cs)}} = 0,02 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

* Característica eléctricas:

Rango de operación de -40°C a 130°C

Circuito térmico (Figura 4.11)

La resistencia térmica del disipador al ambiente:

$$R_{\text{th(SA)}} = (T_S - T_A) / P_t$$

$R_{\text{th(SA)}}$ resistencia térmica del disipador

T_S temperatura en el disipador.

T_A temperatura del medio ambiente.

P_t potencia disipada.

Se requiere conocer previamente la temperatura en el disipador, de tal manera que no sobrepase : $T_{j\text{MAX}} = 130^\circ\text{C}$

El valor de $P_t = 225\text{W}$, en el diagrama del Manual(ANEXO 6.)

$$R_{\text{thJS}} = R_{\text{thJC}} + R_{\text{thCS}} = 0,17 + 0,02 = 0,19 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$T_S = (T_{j\text{MAX}} - R_{\text{thJS}}) * P_t$$

$$T_S = 87,25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Asumiendo una $T_A = 20^\circ\text{C}$ (Huancayo)temperatura del medio ambiente

Encontramos la resistencia térmica del disipador

$$R_{\text{th(SA)}} = (87,25 - 20,00) / 225$$

$$\mathbf{R_{th(SA)} = 0,298 \text{ } ^\circ\text{C/W}}$$

Con este valor seleccionamos el disipador del manual ECG, ECG446C (detalles en lámina MRT-01) que es un disipador para este tipo de módulos con: $R_{th}(SA) = 0,24$ °C/W.

Hacemos un recálculo de la T_{jMAX} ,

$$T_{jMAX} = T_A + (R_{th}(JC) + R_{th}(CS) + R_{th}(SA)) * P_t$$

$$T_{jMAX} = 116,75 \text{ °C}$$

Como esta temperatura es menor que 130 °C no requiere ventilación forzada.

d. Cálculo de sobretensión del SCR.

Hallaremos el RC de protección del IRKT170

Del manual $dV/dt = 500$ V/usg (Anexo 4)

Según datos del catálogo, la tensión A-K subirá de acuerdo a la curva (Figura 4.12)

$$V = V_o * (1 - e^{-t/RC})$$

V_o Voltaje al cual tendrá que

cargarse el condensador C en el

tiempo $t = RC$

$$V_o = V_{RRM} = 800 \text{ Voltios}$$

$$V = 800 * (1 - e^{-1})$$

$$V = 505,60 \text{ Voltios}$$

de la curva Fig. 4.12:

$$t = (0,8 * V) / dV/dt$$

$$t = (0,8 * 505,60) / 500$$

$$t = 0,809 \text{ usg}$$

Para encontrar los valores de R y C se utilizan las ecuaciones 4.19, 4.20, 4.21 y 4.22

$$L = 0,6688 / (2 * \pi * 60) = 1774 \text{ uH}$$

$$V_m = 800 \text{ V.}$$

$$V_m / (\sqrt{L * C}) < 500$$

$$C \geq (800/500)^2 / L$$

$C \geq 2,56/1774 > 1,44 \text{ nF}$, seleccionamos

$C = 33 \text{ nF}$, 800 V

$R \sim \sqrt{L/C} = (1774/0,033) = 231,85 \text{ Ohmio}$

Seleccionamos $R = 240 \text{ Ohmios}$

Potencia de la Resistencia R

$$P_R = R * I_{\text{max}}^2 = 240 * I_{\text{max}}^2$$

Donde $I = I_0 e^{-t/RC}$

$$P_R = R * I_0^2 (e^{-t/RC})^2$$

$$I_0 = C * dV/dt = 0,033 * 500 = 16,5$$

$$P_R = 240 * 16,5^2 * e^{-2*t/RC}$$

para $t/RC = 4$

$$P_R = 21,9 \text{ W}$$

Emplearemos

$R = 240 \text{ Ohmios}$, 25 W

e. Protección de di/dt.

Dato del fabricante $di/dt = 500 \text{ A/us}$ (Anexo 5)

$$di/dt_{\text{max}} = U/L$$

$$U/L < di/dt$$

$$U/L \leq \mu 500$$

$$L \geq 800/500$$

$$L \geq 1,6 \text{ uH}$$

Como la inductancia referido al primario ($1,773 \text{ mH}$) del transformador es mayor que $1,6 \text{ uH}$, no es necesario añadir ningún elemento, porque no excederemos di/dt especificado por el fabricante.

f. Protección contra falla.

La elección del fusible

En este caso se considera $I^2t_{FUS} < I^2t_{SCR}$, y como el tiempo base en una red de 60 Hz es de 8,33 msg.

Del manual $I_{TSM} = 5350 \text{ A}$ (Anexo 3)

$I_{t \text{ max.soportable}} = 119000 \text{ A s}$

$(6/1000) * (I_{TSM})^3 = 918782250$

Asumiendo una Intensidad esperada de 10000 A

Se tiene que

*Para fusible de 200 A

- $I_M = 5000 \text{ A}$

- $I^2t_{fus} = 50000 \text{ A}^2 \text{ s}$

$I_M * I^2t_{fus} = 5000 * 50000 = 250000000$

*Para fusible de 250 A

- $I_M = 7200 \text{ A}$

- $I^2t_{fus} = 150000 \text{ A}^2 \text{ s}$

El producto de ambos = 1080000000

Por lo tanto el mayor calibre que protege el SCR es el de 200 A.

200 A / 1000 VAC

4.2.2 Cálculo de la red de desfase.

El desfase entre Voltaje y corriente en el transformador de soldadura es igual 37,34 °S, siendo este ángulo la mejor para estos casos para asegurar el disparo efectivo de los SCR.

El ángulo lo convertimos a tiempo mediante:

$360^\circ \text{ ----- } 1/60 \text{ sg}$

$37,74 \text{ ----- } t_x$

$t_x = 1,747 \text{ msg}$

haciendo $t_x = R_1 * C_1$

Seleccionado $C_1 = 22 \text{ nF}, 600 \text{ Voltios}$

Se tiene $R_1 = 82 \text{ K}$, 1 W

4.2.3 Elección del detector de cero-comparador

El detector- comparador seleccionado es el mostrado en el circuito de la Lámina MRT-02, sección planos . La salida tiene una señal de polaridad negativa, para solucionar esto, se utiliza un transistor PNP como interruptor, de tal manera que la corriente de puerta sea siempre positivo.

4.2.4 Circuito de disparo

Como la duración de los pulsos de disparo es al menos de un período de la frecuencia industrial de 60 Hz, en tiempo se traduce $t = 16,66 \text{ ms}$; el cual es mayor a 50 Usg , por lo tanto se pueden hacer los cálculos como si fuese CC.

Datos obtenidos del manual Power Modules INTERNATIONAL RECTIFIER el SCR(Anexo 5).

IRKT170 tiene:

$$P_g(AV) = 2 \text{ W.}$$

$$I_{GTMIN} = 100 \text{ mA}$$

$$V_{GTMIN} = 2 \text{ V.}$$

El valor mínimo de tensión que debe tener los pulsos es:

$$V_{SMIN} = R_{S1} * I_{GTMIN} + V_{GTMIN}$$

Escogiendo un valor de $R_S = 10 \text{ Ohmios}$, con 5% de tolerancia, el valor de:

$$R_{S1} = 10 + 5/100 * 10 = 10,05 \text{ Ohmios}$$

$$V_{SMIN} = 10,05 * 0,1 + 2$$

$$V_{SMIN} = 3,005 \text{ V.}$$

Haciendo los cálculos como si fuese D.C. El Valor máximo corresponde a $P_{GAV} = 2\text{W}$.

$$V_{SMAX} = \sqrt{(4 * P_{GAV} * R_{S2})} , \text{ donde}$$

$$R_{S2} = R_S - 5/100 * R_S = 10 - 5/100 * 10 = 9,95 \text{ Ohmios}$$

$$V_{SMAX} = \sqrt{(4 * 2 * 9,95)} = 8,92 \text{ V}$$

Por tanto un valor promedio que asegura el disparo, es $V_S = 6 \text{ V}$.

El detalle del circuito de control con sus componentes se puede apreciar en la Lámina MRT-03.

Haciendo los cálculos cuando los pulsos son rectangulares (figura 4.13).

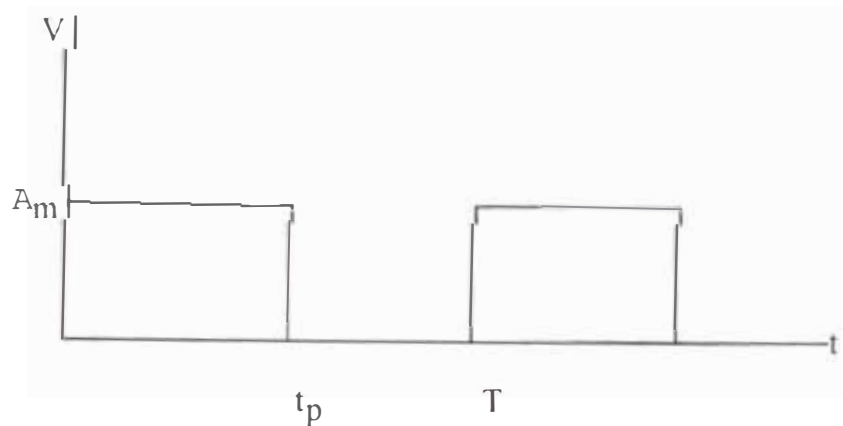


Figura 4.13

El valor promedio de la señal rectangular es:

$$V_{\text{prom}} = (A_m * t_p) / T$$

La potencia media disipada en puerta:

$$P_{\text{GAV}} = [V_{\text{prom}} / (R_S + R_G)]^2 * R_G,$$

combinando con la ecuación anterior se tiene:

$$A_m = (T/t_p) * \sqrt{4 * R_S * P_{\text{GAV}}}$$

La relación entre T/t_p , dependen de los valores de R_1 y R_2 , los cuales se definen en el multivibrador, estos fluctúan entre $4/3$ y $20/19$, reemplazando estos valores

$$A_m = (4/3) * \sqrt{4 * 9,95 * 2}$$

$$A_m = 11,89 \text{ V}; \text{ con } T/t_p = 4/3$$

$$A_m = 9,39 \text{ V}; \text{ con } T/t_p = 20/19$$

Por lo tanto un valor promedio de $A_m = 7 \text{ V}$, es suficiente

4.2.5 Elección de la fuente de alimentación D.C

para los circuitos auxiliares.

Los circuitos auxiliares que nos referimos son:

- Temporizador 225 mA
- Multivibrador Astable 225 mA
- Detector - Comparador 225 mA

La suma nos da 775 mA 0,75 A, multiplicando por 2 por seguridad nos da 1,5 A.

Utilizando un voltaje de 12 V, nos da una potencia de 15W

Utilizaremos un regulador de voltaje fijo MC78T12CK que tiene las siguientes características

Voltaje de salida $\pm 5\%$ = 12 V

Corriente de salida = 3 A

Máximo Voltaje de entrada $V_{IN} = 35$ V

Mínimo Voltaje de entrada $V_{IN} = 14,5$ V

Con estos valores empezamos a seleccionar de acuerdo a la figura(4 14)

* Transformador: 220 / 18 V, 15 W.

* los diodos

Como se utiliza un transformador con toma central el $V_{I.P} = 36 \sqrt{2} = 50,91$ V como mínimo

La corriente de carga $I_{DC} = 1,5$ A. La corriente en el diodo es la mitad, pero asumiendo un $f.s = 2$

$I_{DIODO} = 1,5$ A

Del Manual seleccionamos el ECG 113A, que es un doble diodo con Cátodo común

$V_{I.P} = 100$ V. $I_{DIODO} = 1,5$ A

* Capacitor C

Asumiendo C 1000 uF, 25 V

$V_p = 18 * \sqrt{2} = 25,45$ V

$V_{r(rms)} = (I_{DC} * V_{DC}) / (4 * \sqrt{3} * f * C * V_p)$

$V_{r(rms)} = (18) / (4 * \sqrt{3} * 60 * 1000 * 10^{-6} * 25,45)$

$V_{r(rms)} = 1,70$ V

$$V_{r(\text{pico})} = \sqrt{3} * 1,70 = 2,946 \text{ V.}$$

$$V_{IN-\text{min}} = V_P - 2 * V_{r(\text{pico})} =$$

$$V_{IN-\text{min}} = 25,45 - 5,892 = 19,55 \text{ V}$$

Por tanto se cumple con los requerimientos mínimos del C.I. regulador de Voltaje

4.3 Diseño del circuito de regulación.

Los valores se tienen en la figura 4.15

De acuerdo a la teoría se tiene que:

$$t_1 = 0,693 * (R_1 + R_2) * C$$

$$t_2 = 0,693 * R_2 * C$$

Haciendo que la relación entre $t_1/t_2 = 3$, es decir que por cada período del multivibrador se entrega 3 semiondas y se suprime, Con lo cual: $(R_1 + R_2)/R_2 = 3$

$$R_1 = 2 * R_2$$

Para suprimir una onda como mínimo $t_2 < 8,33 \text{ msg}$, ya que una onda sinusoidal de 60 c/s tiene una duración de 16,66 msg.

$$0,693 * R_2 * C < 8,33 \text{ msg}$$

Haciendo que $C = 1 \text{ uF}$

se obtiene $R_2 \leq 12,05\text{K}$, valor normalizado se escoge:

$$R_2 = 11\text{K}, 1/2\text{W}$$

$$R_1 = 22\text{K}$$

Los valores de R_1 y R_2 , además están sujetos a la potencia que entregará la máquina

$$P_{sal} / P_{maq} = 0,75$$

$$0,75 = (R_1 + R_2) / (R_1 + 2 * R_2)$$

se obtiene que $R_1 = 2 * R_2$

$$0,95 = (R_1 + R_2) / (R_1 + 2 * R_2)$$

Se obtiene que $R_1 = 18 * R_2$, del paso anterior; $R_2 = 11 \text{ K}$ El valor de R_1 sera una resistencia variable igual a:

$$R_1 = 18 * 11 = 198 \text{ K}; \text{ un valor normalizado}$$

$R_1 = 200 \text{ K}, 1/2\text{W}$.

4.4 Diseño del temporizador.

Los valores de R y C nos permiten temporizar, de acuerdo a nuestras necesidades de tiempo que fluctúan entre 0,02 Sg hasta 10 Sg utilizando la relación:

$t = 1,0986 * R * C$, primeramente seleccionamos:

El valor del capacitor $C = 4,7 \text{ uF}$, 16 V, por utilizar fuente de 12 Voltios.

Para $t = 0,02 \text{ Sg}$

$R = 0,02 / (1,0986 * 4,7) = 3,87 \text{ K}$

Para $t = 10 \text{ Sg}$

$R = 10 / (1,0986 * 4,7) = 2 \text{ M}$

Se pone una resistencia fija de 3,9 K, 1/2 W.

y un potenciómetro de 2 M, 1 W.

Por tanto el circuito final del timer es como se aprecia en la figura(4.16)

4.5 Circuito variador de potencia.

El circuito Variador de Potencia empezará a funcionar una vez que se ha presionado con el pedal , el cual desplaza el vástago, sobre la cual se ha colocado un imán el cual cierra un reed-switch normalmente abierto, dichos contactos suministran energía eléctrica de 12V.al Temporizador, la salida del Temporizador esta conectado; al circuito formado por R y C que sirve para impedir la aplicación brusca de tensión al multivibrador. dicha salida va al nivel alto por el tiempo determinado para la soldadura. Durante este intervalo habilita al multivibrador astable , la salida del Multivibrador es conectado al circuito detector de cero-comparador, en vez del interruptor mecánico S(Figura 4.3). Lo cual nos sirve para regular la potencia, la frecuencia es determinada con los resistores y capacitor conectado a sus terminales.

La característica del temporizador es que si se suelta o sigue presionado el pedal , la señal de salida permanece estrictamente para el tiempo que ha sido seleccionado.

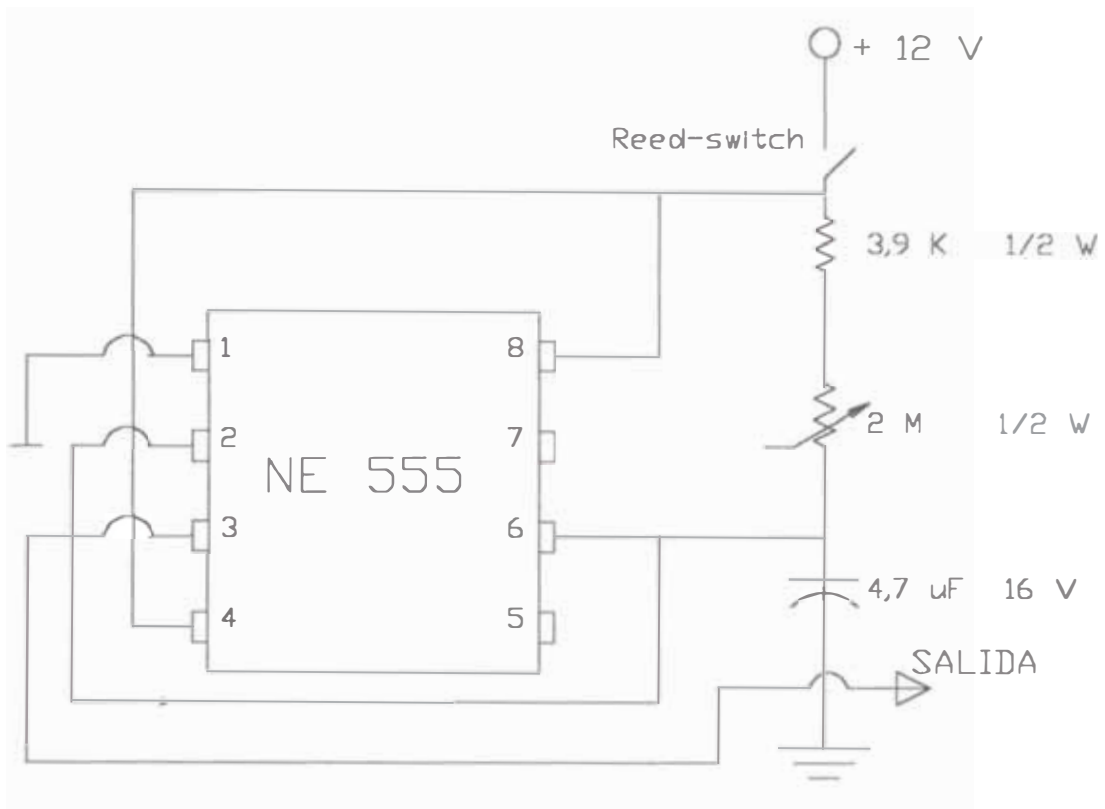


FIGURA 4.16

TEMPORIZADOR ELECTRONICO CON EL TIMER 555

Lo que se puede apreciar el diagrama de bloques en la figura 4.17 y los detalles en la Lámina MRT-03 y MRT-04.

4.6 Selección del transformador de pulsos.

Para seleccionar adecuadamente el transformador de pulsos hay que tener presente su integral tensión-tiempo, que indica su aptitud para transferir impulsos de tensión de una cierta amplitud y duración, como en el caso nuestro la duración esta en el orden de los milisegundos, se escoge el de 10000 V.us, es decir 10 V. de amplitud y 1 milisegundo de duración(IT 244 Schaffner).

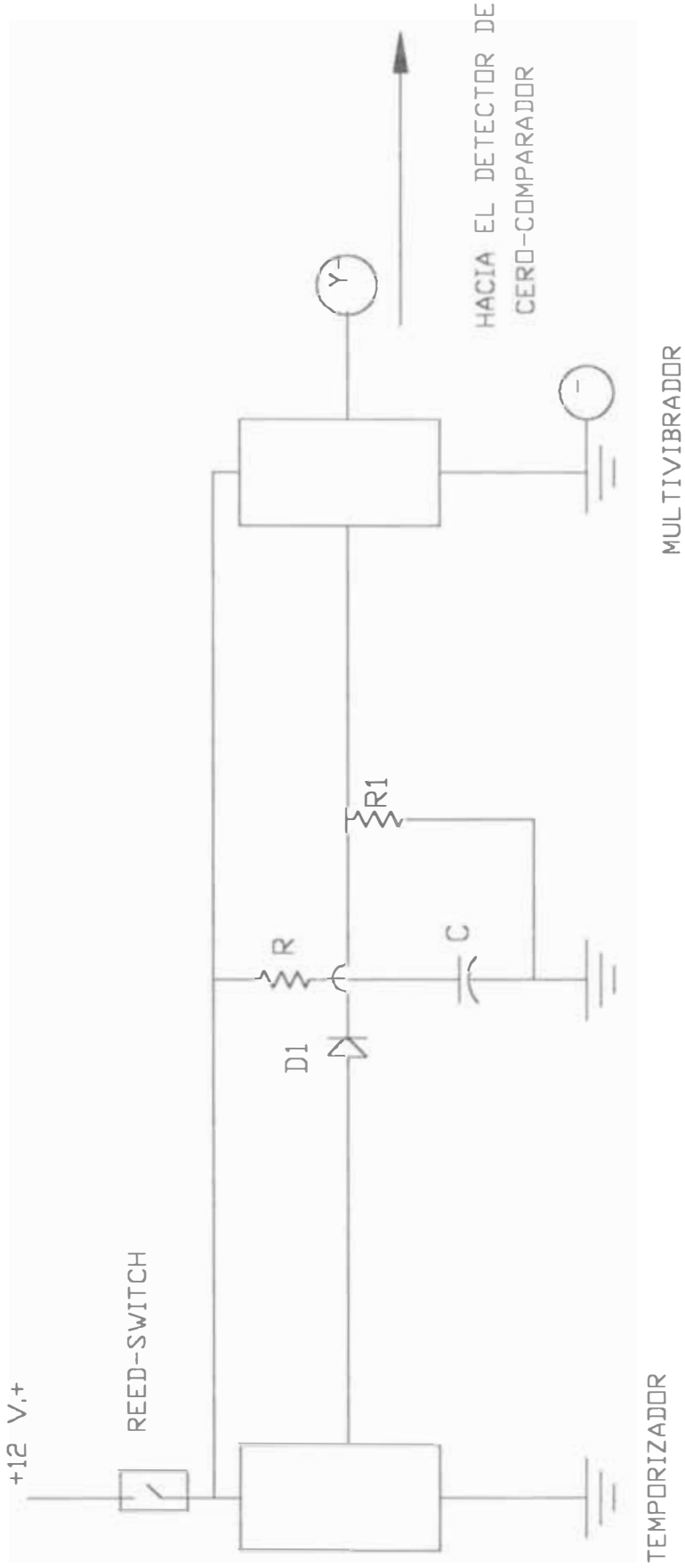


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL VARIADOR DE POTENCIA

FIGURA 4.17

CAPITULO V ESTRUCTURA DE LA MAQUINA

5.1 Estructura de la máquina.

La parte principal del dispositivo mecánico de una máquina para soldar por puntos (Figura 5.1), es el cuerpo (1), en el que están fijados el soporte inferior (2), que tiene la consola inferior (3) y el portaelectrodo (4) con electrodo.

Por lo común la consola (3) y (5) se fabrican desplazables (de movimiento suave)

En el soporte superior (6), se coloca el accionamiento mecánico del esfuerzo de compresión en el que están unidas la consola superior (5) con el portaelectrodo (4) y su electrodo respectivo.

La máquina es accionada por la palanca de pedal (i), la cual al ser oprimida, levanta el vástago (g) y oprime el brazo del electrodo superior (móvil) contra el electrodo inferior fijo, con lo cual se obtiene la firme sujeción de las planchas superpuestas entre los dos electrodos

Si se continúa ejerciendo una presión de la palanca (y), una leva arrastra una palanca de mando (h) situada en el primario del transformador. Y cierra el circuito. Además dicha leva (Figura 5.2) activa un Reed-switch encargado de suministrar energía eléctrica al temporizador electrónico.

La presión del electrodo necesaria para terminar la soldadura por puntos, se obtiene por medio del resorte en espiral (e), de tensión regulable.

Los detalles constructivos de la máquina se pueden apreciar en las Láminas EM-01, EM-02, EM-03, EM-04 y EM-05.

5.1.1 Soporte inferior y superior.

Estos elementos (6 y 2 del figura 5.1) sirven como soporte a la consola; el material a

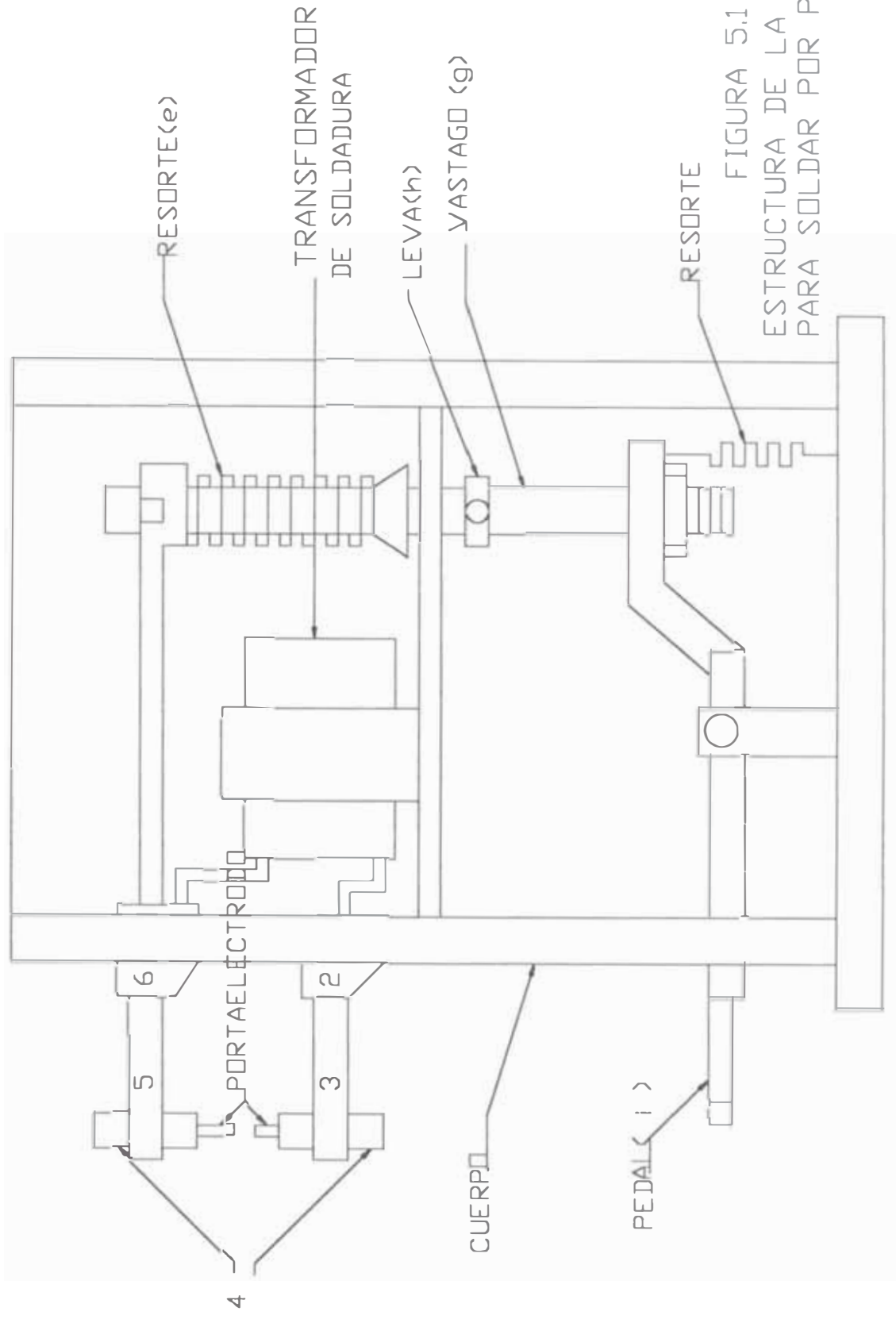
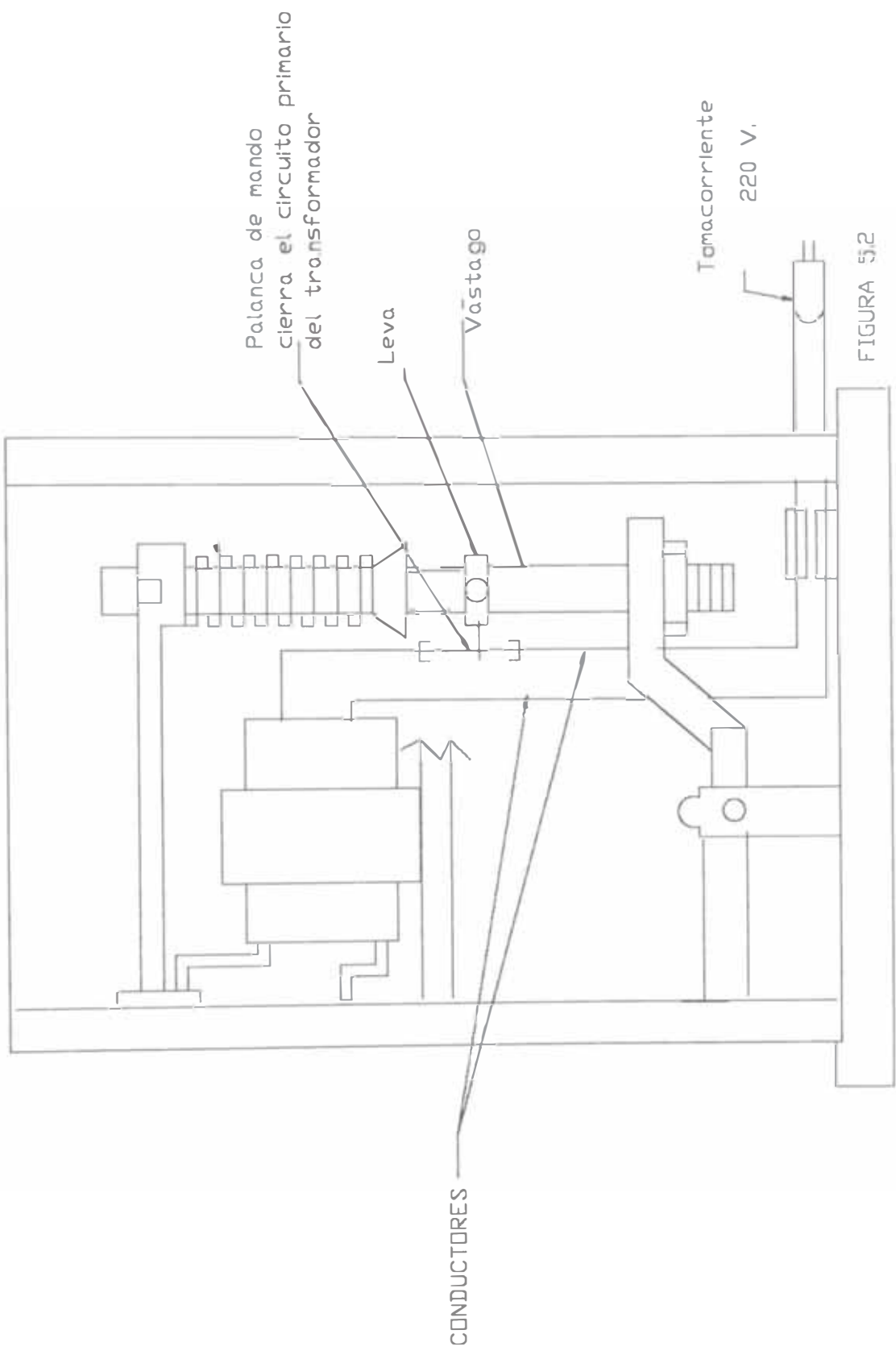


FIGURA 5.1
 ESTRUCTURA DE LA MAQUINA
 PARA SOLDAR POR PUNTOS



utilizar es el bronce.

Sus dimensiones se adjuntan en el juego de planos. El soporte superior es móvil de tal forma que nos permita desplazar verticalmente.

5.1.2 La abertura de las consolas.

Es la distancia mínima entre las consolas(3 y 5 de la figura 5.1), o sus partes salientes para una de las posiciones posibles de la consola inferior.

Por datos para soldadura de puntos de la potencia de nuestra máquina dicha distancia varia entre 150-270 mm.

5.1.3 El voladizo de los electrodos.

Es la distancia existente entre el eje de electrodos y la pared delantera del cuerpo de la máquina

Datos de soldaduras fluctúan entre 250-500 mm.

La abertura y el voladizo son las características del espacio activo de la máquina los que determinan en grado considerable las posibilidades tecnológicas al soldar las piezas de diferentes dimensiones y formas.

5.2 Electrodo.

Los electrodos realizan el contacto directo de la máquina con las piezas a soldar. La forma y las dimensiones de la superficie de trabajo influyen considerablemente en la calidad de la uniones y en el rendimiento de la soldadura . Esto se fabrican de metales que tengan altas conductibilidades eléctrica y térmica se usan aleaciones de cobre especial (Cuadro 5.1).

ALEACIONES DE COBRE EMPLEADOS PARA FABRICAR ELECTRODOS

Aleación	Elementos de aleación %	aplicación principal
Bronce de Cadmio	0,9-1,2 Cd	soldar aleaciones ligeras y de cobre
Bronce de cromo-Zirconio	0,4-1 Cr 0.03-0,08Zr	soldar aceros al carbono ,los pobres de carbono
Bronce cromado	0,4-1 Cr	Idem anterior

Cuadro 5.1

Los electrodos que se usan para soldar por puntos tienen refrigeración interna .

Se usan fundamentalmente electrodos que tengan superficies de trabajo plano (de diámetro d_e) o esférica de radio R. Lo que se puede apreciar en la figura 5.3

Las dimensiones usuales de los electrodos se muestra en el cuadro 5.2

DIMENSIONES DE LOS ELECTRODOS EN (mm)

Espesor de las piezas(mm)	Aceros y aleaciones al carbono		
	D	d_e	R
0,3	12	3	15-25
0,5	12	4	25-50
0,8	12	5	50-75
1	12	5	75-100
1,2	16	6	75-100
1,5	16	6	100-150
2,0	20	8	100-150
2,5	20	9	150-200
3,0	25	10	150-200
3,5	25	11	200-250

Cuadro 5.2

5.3 Selección de los rodamientos.

Las parte móviles, tales como soporte superior(6) y el pedal(1), pivotan sobre un eje ,los cuales necesitan los rodamientos respectivos para su adecuado funcionamiento.

Los factores que influyen en la selección de rodamientos son numerosos, pero para nuestro caso que son pequeños montajes se utilizan generalmente rodamientos de bolas.

Además la carga aplicada en el rodamiento efectúa pequeños movimientos , no es la fatiga del material lo que determina la capacidad de carga, sino que esto queda reducida por la aparición de deformaciones permanentes en los puntos de contacto entre los cuerpos rodantes y los caminos de rodadura. No existe ningún límite claramente determinado a partir del cual empiezan a producirse tales deformaciones. Esta aumentan progresivamente , y una vez alcanzada la carga dada en las tablas(Capacidad de base estática), la profundidad total de deformación del cuerpo rodante y del camino de rodadura, puede alcanzar alrededor de 0,0001 del diámetro del cuerpo rodante. El rodamiento no gira sino que desarrolla solamente movimientos oscilantes , se pueden admitir una carga bastante superior a su capacidad de base estática.

Al dimensionar un rodamiento hay que distinguir si está solicitado estáticamente o dinámicamente . Una sollicitación estática tiene lugar si el rodamiento está en reposo, oscila o gira muy lentamente .Al actuar una carga estática se calcula el factor de esfuerzos estáticos f_s , para demostrar que un rodamiento tiene la suficiente capacidad estática

$$f_s = C_0 / P_0 \quad (5.1)$$

f_s factor de esfuerzos estáticos.

Se toma como valor de seguridad contra deformaciones plásticas demasiado elevados en los puntos de contacto de los cuerpos rodantes

$f_s = 1,5$ hasta $2,5$ para exigencias elevadas.

$f_s = 1$ hasta $1,5$ para exigencias normales

$f_s = 0,7$ hasta 1 para exigencias reducidas.

C_O Capacidad de carga estática (kN).

Su valor para cada rodamiento se indica en las tablas.

P_O Carga estática equivalente (kN).

Según datos, el esfuerzo axial mediante el mando por palancas es de 150 kgf.

Utilizando un factor $f_s = 1,5$.

Se tiene una carga estática equivalente de $1,5 * 150 * 9,8 = 2,2$ kN.

De la tabla Rodamientos FAG (Anexo 7) rígidos de bolas se selecciona el 6200.2ZR, cuya capacidad de carga estática es de 2,24 kN, de eje de 10 mm., rodamiento con placa de protección en los dos lados, con aro de fijación.

5.4 Selección del aparato de mando de esfuerzo.

5.4.1 Principios teóricos

Un parámetro muy importante es el esfuerzo de presión de los electrodos F_{sold} .

a. Regímenes de soldadura.

Bajo el régimen de soldadura es necesario comprender el conjunto de parámetros del proceso de soldadura. Estos parámetros se obtienen manipulando los órganos de mando correspondientes de soldadura, así como aplicando los electrodos de la forma y las dimensiones respectivas que aseguran la obtención de las juntas soldadas de las dimensiones respectivas y calidad requeridas. El régimen de soldadura depende de las propiedades físicas del metal a soldar y del tipo de equipo empleado.

Los principales parámetros de los regímenes de las soldaduras por puntos son: intensidad de la corriente (kA), duración de la circulación de corriente (Sgds) y el esfuerzo de los electrodos (kgF). Los regímenes de soldadura se dividen en duros y blandos.

a.1 Régimen duro.

Se caracterizan por la breve circulación de corriente de soldadura , y, por consiguiente , por el calentamiento no prolongado del metal a soldar .

a.2 Régimen blando.

La duración de la circulación de corriente es relativamente grande. Los regímenes de los diferentes procedimientos de soldadura tienen particularidades específicas. Los ciclogramas(diagramas) de los métodos de soldadura representa las gráficas de variación de los parámetros principales del régimen de soldadura que coinciden en tiempo.

En el caso de soldadura por puntos, el régimen se caracteriza por los parámetros siguientes(Fig.5.4): intensidad de la corriente de soldadura I_{sold} , duración de su circulación t_{sold} y esfuerzo de los electrodos F_{sold}

CICLOGRAMA DE LA SOLDURA POR PUNTOS

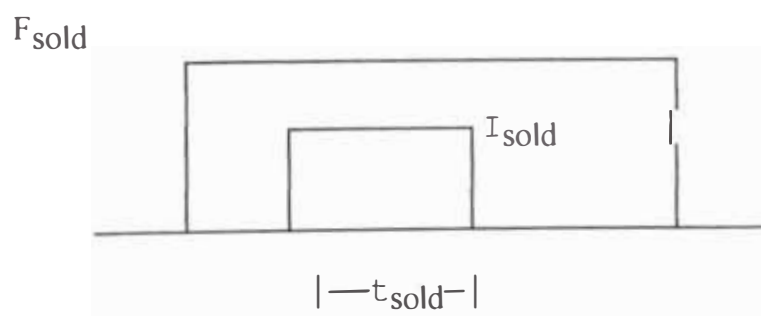


Figura 5.4

b. Soldabilidad.

El concepto de soldabilidad por lo general sirve para hacer la evaluación cualitativa del metal. La soldabilidad no es una propiedad constante del metal, porque ha medida que se perfecciona el equipo y la tecnología , la soldabilidad puede mejorar .

Sobre la soldabilidad ejercen influencia muchas propiedades del metal: La conductibilidad eléctrica y térmica, la resistencia mecánica a altas temperaturas, la temperatura de fusión, el coeficiente de dilatación lineal, la dureza y la sensibilidad al ciclo térmico de soldadura. Con la disminución de la conductibilidad eléctrica y térmica, requiere menor intensidad de corriente, y por consiguiente se gasta menor potencia eléctrica para formar la junta. La alta resistencia mecánica a temperaturas elevadas exige mayores esfuerzos para lograr efectuar la deformación necesaria del metal a soldar. Los metales que poseen alta dureza también requieren utilizar esfuerzos elevados o calentamiento previo. Al aumentar el coeficiente de dilatación lineal aumenta la contracción del metal en el proceso de cristalización y pueden producir grandes tensiones internas, lo cual conduce a la formación de cavidades y grietas en el metal. Soldabilidad de los grupos principales de metales:

b.1 Aceros pobres en carbono.

Tienen relativamente alta resistencia eléctrica y baja resistencia mecánica, por lo que se les puede soldar en una amplia gama de regímenes.

b.2 Aceros al carbono.

Estos metales están propensos al templeado a causa de las velocidades relativamente altas de calentamiento y enfriamiento. Por esto se utilizan los regímenes blandos.

Se usan corrientes más bajas (25 al 30%) y presiones más altas (1,5 a 2 veces) que en la soldadura de los aceros pobres en carbono.

b.3 Aceros corrosioresistentes (inoxidables).

Poseen alta resistencia eléctrica (5 a 6 veces que la del acero pobre en carbono). La soldadura por puntos se hace utilizando el régimen duro a causa de su alto coeficiente de dilatación térmica. Su alta resistencia mecánica condiciona la aplicación de presiones elevadas durante la soldadura.

c. Valores medios de una maquina de soldar por puntos

Estos valores han sido tomados del libro "Soldadura eléctrica", de P. Schimpke Tomo II tal, los cuales para el Diseño de la maquina se ha tenido en cuenta, ya que en ella se fijan las corrientes de Soldadura en función del espesor de las planchas que van unidas, el tiempo de duración, el esfuerzo de compresión, como se muestra en cuadro 5.3

ESPESOR mm	CORRIENTE I_{sold} kA	DURACION t_{sold} sg	PRESION F_{sold} kgF(mín)	PRESION NOMINAL kgF
2x0,5	3,5	1,8	20	120
2x0,8	4,0	2,0	25	40
2x1,0	5,0	2,2	35	160
2x1,2	5,5	2,8	40	180
2x1,5	6,5	3,0	45	200
2x1,8	7,0	3,2	50	230
2x2,0	7,5	3,4	55	250
2x2,5	9,5	3,6	60	280
2x3,0	10,5	4,8	70	300

Cuadro 5.3

Los mandos por palanca, por lo común se utilizan en las máquinas de potencia pequeña que desarrollan esfuerzos hasta de 150 kgF. La relación entre los esfuerzos Nominal y mínimo ~5 a 1. El conjunto de elementos para la aplicación de esfuerzo en el momento de la soldadura (palanca o pedal, transmisor de esfuerzo; sus características se muestran en la lámina EM-03 y EM-04.)

Se selecciona el mando por palanca.

5.4.2 Selección del resorte para el mando de esfuerzo.

a. Fundamento teórico.

Para los resortes de tracción y compresión de paso normal, fabricados con alambre redondo, o son aplicables las siguientes fórmulas básicas:

$$f = (\pi \cdot d^3 \cdot \gamma) / (8 \cdot D_m \cdot K) \quad (5.2)$$

f = Fuerza del resorte, Kg

d = diámetro del alambre en mm.

γ = tensión de cizallamiento admisible, Kg / mm²

D_m = diámetro medio del resorte, mm.

$$D_m = (D_e + D_i) / 2 = D_i + d = D_e - d \quad (5.3)$$

D_e = diámetro exterior del resorte, mm.

D_i = diámetro interior del resorte, mm

K – factor de corrección

En un resorte enrollado se presenta en la parte interior del resorte un aumento de la tensión, cuyo valor depende del llamado "índice del resorte", nombre con que designa la relación (D_m / d). Para tener en cuenta este aumento de la tensión se ha introducido el factor de corrección K (Diagrama para hallar K , ver Anexo 8).

a.1 Longitud del resorte de tracción

$$L = (N_c + 0,5) \cdot d + h_1 + h_2 \quad (5.4)$$

N_c = número de espiras en contacto entre sí (sin espacios intermedios entre ellos),

Figura 5.5

h_1 y h_2 = altura del gancho o anillo, mm

La flexión (f)

$$f = (8 \cdot D_m^3 \cdot F) / (G \cdot d^4) \quad (5.5)$$

$$f_t = n_v \cdot f \quad \text{Flexión total} \quad (5.6)$$

De las ecuaciones (5.2), (5.5) y (5.6), se tiene:

$$\gamma = (G \cdot d \cdot f_t \cdot k) / (\pi \cdot D_m^2 \cdot n_v) \quad (5.7)$$

n_v número de espiras útiles

a.2 Longitud de resorte de compresión.

Lo cual se aprecia en la figura 5.6

$$L = (N_t - 2) * s + 1,5 * d \quad (5.8)$$

L = longitud del resorte , mm.

t = número total de espiras, incluidas las espiras planas de los extremos.

s = paso del resorte descargado, mm.

b. Características para su selección.

b.1 Dimensiones y característica del resorte de compresión.

$$L = 150 \text{ mm.}$$

$$d = 3 \text{ mm}$$

De la ecuación (5.8) se tiene:

$$N_t = 50,5$$

$$n_v = 50,5 - 1.75$$

$$n_v = 49 \text{ espiras}$$

Asumiendo una flexión total $f_t = 50 \text{ mm}$

Utilizando la ecuación (5.7)

$$k = 1,2 (\text{Anexo 8})$$

$$\gamma = (7000 * 3 * 50 * 1,2) / (\pi * 23 * 23 * 49)$$

$$\gamma = 15,47 \text{ kg/mm}^2$$

b.2 Dimensiones y característica del resorte de tracción

$$L = 120 \text{ mm}$$

$$d = 2 \text{ mm}$$

$$h_1 = h_2 = 5 \text{ mm}$$

De la ecuación (5.4) se tiene:

$$n_c = 54,5 \text{ número de espiras en contacto entre sí}$$

$$n_v = n_c + n_k$$

$n_k = 0,5$ por cada gancho normal

$n_v = 56$

$k = 1,15$ (Anexo 8)

Utilizando ecuación (5.7)

$\gamma = (7000 \cdot 2 \cdot 40 \cdot 1,15) / (\pi \cdot 22 \cdot 22 \cdot 56)$

$\gamma = 7,56 \text{ kg/mm}^2$

5.5 Refrigeración de los porta electrodos.

Al conectar la corriente de soldadura, a costa de la concentración de las líneas de corriente, en primer lugar, se calientan los resaltos del contacto y luego el metal que se encuentra en la proximidad inmediatamente al contacto. Los electrodos que se usan durante la soldadura se fabrican de las aleaciones de cobre que tienen alta conductibilidad térmica. Para que la superficie de las piezas, que entran en contacto con los electrodos se calienten lentamente que las capas internas del metal en la zona de soldadura, los electrodos se enfrían con agua, vía el portaelectrodo, se puede apreciar en la figura del circuito de refrigeración. (Figura 5.7).

CAPITULO VI ANALISIS ECONOMICO

6.1 Costo de la máquina.

En el análisis económico , aparte de determinar el costo total , se ha tenido tambien presente el tiempo en el cual pueden recuperar su inversión al adquirir la máquina.

6.1.1 El costo de fabricación.

Viene a ser la suma de los costos directos y los costos indirectos:

$$CF= CD + CI \qquad (6.1)$$

CF Costo de fabricación

CD Costos directos

CI Costos indirectos

El costo total (CT) , se determina sumando al costo de fabricación un 5% del costo de fabricación

Para determinar el precio de venta (PV), se añade un 50% por concepto de utilidades.

6.1.2 Costo directo.

El costo directo esta compuesto por el costo de materiales directos (MD) y la mano de obra directa (MOD)

a. Materiales directos (MD).

Dentro de los materiales directos se considera los materiales que se compra en bruto para fabricar los elementos de la máquina (materiales para maquinar) , los materiales con la forma y dimensiones que se realizaran el montaje (elementos Complementarios) , Dispositivos eléctricos y electrónicos.

a.1 Materiales para el transformador.

En ella se incluyen los materiales necesarios para la construcción del transformador de soldadura ,lo cual se puede observar en el cuadro 6.1.

CANT.	UNID.	DESCRIPCION DE LOS MATERIALES.	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO TOTAL S/.
25	Kg	Lamina de Si	4,00	100,00
27	Kg	Conductores Cu	10,00	270,00
1	Kg	Fibra aislante	10,00	10,00
1	Galón	Barniz	20,00	20,00
4		Pernos pasantes con su tuerca 10mmx400mm	2,00	8,00
300	m	Cinta de Fibra de vidrio	0,40	120,00
			SUBTOTAL	S/.528,00

Cuadro 6.1

a.2 Dispositivos eléctricos y electrónicos.

Lo cual se muestra en el cuadro 6.2

CANT.	UNID.	DESCRIPCION DE LOS DISP.	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO TOTAL S/.
1	Módulo	SCR 170A,800V	220,00	220,00
1	Und.	Disipador	60,00	60,00
1	Und.	Res. 24 Ω , 3 W	0,25	0,25
1	Und.	Res. 82 K,1 W	0,25	0,25
1	Und.	Cap. 33nF,600V	0,75	0,75
1	Und.	Cap. 22nF,600V	0,75	0,75
4	Und.	Diodos 1N4933	2,00	8,00
1	Und.	Res.8,2 K,1/2W	0,25	0,25
1	Und.	Trans.2N4014	1,50	1,50
1	Und.	Trans.2N5086	2,00	2,00
1	Und.	Trans.2N2904	2,00	2,00
2	Und.	Res. 10K,1/2W	0,25	0,50
1	Und.	Res.3,3K,1/2W	0,25	0,25
1	Und.	Res. 10 Ω ,1/2W	0,25	0,25
2	Und.	Transf. pulso	24,00	24,00
2	Und.	C.I NE555	2,00	4,00
1	Und.	Transf. para Fuente D.C. 220/18 V,15W	3,50	3,50
1	Und.	Doble Diodo de 1,5 A,100 V	2,00	2,00
2	Und.	Capacitor de 1000uF, 25 V	2,50	5,00
1	Und.	Regulador de Voltaje de 12 V 3 A.	4,00	4,00
1	Und.	Fusible 200 A/1000 V	18,00	18,00
1	Und.	Res. 11 K,1/2 W Variable lineal	1,50	1,50
1	Und.	Res. 200 K,1/2W	0,25	0,25
1	Und.	Res.3,9 K,1/2W	0,25	0,25
1	Und.	Res. 2 M,1/2W Variable lineal	2,00	2,00
1	Und.	Cap. 1 uF, 25 V	2,00	2,00
1	Und.	Cap. 4,7uF,25 V	2,00	2,00
1	Und.	Res, 39 Ohmios 1/2 W.	0,25	0,25
1	Und.	1N4148	1,50	1,50
1	Und.	Reed-switch	5,00	5,00
SUBTOTAL			- S/.372,00	

Cuadro 6.2

a.3 Materiales para el cuerpo de la Máquina y elementos complementarios.

Se puede ver en el cuadro 6.3

CANT.	UNID.	DESCRIPCION DE LOS MAT.	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO TOTAL S/.
1	Und.	Varilla de cobre 25X400mm.	20,00	20,00
1	Und.	Varilla de cobre 50X1000mm.	45,00	45,00
4	Kg	de bronce para fundir accesorios de la máquina.	4,00	16,00
2	Und.	Pernos de bronce de 10X30mm.	1,00	2,00
1	Und.	Varilla de fierro de 1"X40"	5,00	5,00
4	Und.	Pernos de bronce de 3X30 mm.	0,75	3,00
8	Und.	Pernos de bronce de 6X40 mm.	0,90	7,20
8	Und.	Tuercas de bronce de 6 mm.	0,30	2,40
4	Und.	Rodamientos 6000.2ZR	12,00	48,00
4	Und.	Chumaceras para Rod.6000.2ZR	7,00	28,00
2	Und.	Ejes de $\Phi 10 \times 280$ mm	12,50	25,00
1	Und.	Plancha 1/16"	23,80	23,80
1	Und.	Plancha 1/24"	18,90	18,90
3	Und.	Angulos de 2"	12,30	36,90
2	Kg	Soldadura 1/16	2,00	4,00
1	Und.	Resorte de traccion 2X120mm. $\tau=7,56 \text{Kg/mm}^2$	6,00	6,00
1	Und.	Resorte de compresion 3X150mm $\tau=15,47 \text{Kg/mm}^2$	6,00	6,00
			SUBTOTAL	S/.297,20
			TOTAL	S/.1197,20

Cuadro 6.3

b. Mano de obra directa (MOD).

El costo promedio se observa en el cuadro 6.4

POR PROCESO DE	HRS/HOMBRE	P.UN. S/.	P.TOTAL S/.
CONSTRUCCION DEL TRANSFORMADOR Y LOS CONTROLES ELECTRONICOS	16	5,00	80,00
HABILITADO	08	3,00	24,00
MAQUINADO	08	5,00	40,00
SOLDADO	04	5,00	20,00
FUNDICION	06	5,00	30,00
ENSAMBLE	04	5,00	20,00
ACABADO	04	4,00	16,00
TOTAL MANO DE OBRA DIRECTA			S/ 230,00

Cuadro 6.4

6.1.3 Costo indirecto(CI)

En ella se incluyen los costos que indirectamente repercuten en el costo total, cuadro 6.5.

Materiales Indirectos (10% DE M.D.)	S/. 119,72
Mano de obra Indirecta (10% DE M.O.D)	S/. 23,00
Trabajos de Inspección y Control de Calidad	S/. 25,00
Alquiler de m quinas y equipos	S/. 50,00
Costo de servicios	S/. 50,00
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS	S/. 267,72

Cuadro 6.5

6.1.4 Costo total de la máquina .

Luego el costo de fabricación, viene a ser la suma de los costos directos y los costos indirectos:

$$CF = CD + CI = MD + MOD + CI \quad (6.2)$$

$$CF = S/. 1694,92.$$

El costo total, determinamos sumandole al costo de fabricación un 5 % del costo de fabricación por gastos de venta.

$$CT = 1,05 * CF = S/. 1779,66.$$

Para determinar el precio de venta, podemos considerar un 50% de utilidades:

$$PV = S/ 2670,00$$

6.2 Costo horario de manufactura en la máquina.

El costo horario de manufactura (C/H), es la suma del costo de horas maquinas y el costo de horas hombre, se determina mediante la siguiente fórmula:

$$C/H = Ci/h \times (1/N + Ip + m) + L(1+g)^{("8)} \quad (6.3)$$

Donde:

C/H Costo Horario de manufactura (S/h)

Ci Costo inicial de la máquina (S/)

h Número de horas de trabajo de la máquina (2000 hrs/año)

N Tiempo de depreciación (años)

i Tasa de interés anual al capital(%)

Ip $i/2 \times (N+1)/N$ (Tasa de interés prom.)

("8) (Fórmula extraída de Huaman Hureta, 1988, pag.103)

- m Promedio anual de gastos de mantenimiento por hora
- L Gasto horario de mano de obra directa por hora.
- g Factor de gastos generales del taller por hora.

NOTA : $i=29\%$, $N=10$ años, $h=2000$,

El tiempo de vida útil es de 10 años, podemos considerar lo siguiente:

- El comprador utilice $N=10$ años
- El promedio anual de gastos de mantenimiento es $m= S/. 1,00$ por hora de trabajo
- $i = 29\%$
- Gasto de mano de obra horario $L= S/. 4,00$
- Factor de gastos generales del taller por hora se refiere al costo de energía eléctrica , agua para refrigeración y otros previstos $g= S/.0,55/hr.$

$$C/H = (2670/2000) * [1/10 + 0,145 * 11/10 + 1] + 4 (1 + 0,55)$$

$$C/H = S/ 7,88/hora$$

6.3 Tiempo de recuperación de la inversión

6.3.1 Fórmulas Matemáticas utilizadas.

En esta sección se enuncian fórmulas que nos permiten determinar el tiempo de recuperación de una inversión:

a. Pago único

$$F = P(1 + i)^n \quad (6.4)$$

Donde:

$P=$ Valor o suma de dinero en un tiempo señalado como el presente(S/.)

F = Valor o suma de dinero en algún tiempo futuro(S/.)

n = número de períodos de interés(generalmente en años)

i = Tasa de interés por período de interés(% anual)

$(1+i)^n$, se denomina factor cantidad-compuesta pago-
único(FCCPU)

$1/(1+i)^n$, se denomina Factor valor- presente pago-
único(FVPPU)

Las cantidades de P y F se consideran siempre como ocurridas al final del período de interés,

b. Factor valor serie uniforme y recuperación de capital.

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (6.5)$$

P = Valor o suma de dinero en un tiempo señalado como el presente(S/.)

A = Una serie de cantidades de fin de período, consecutivas e iguales (S/.)

n = número de períodos de interés(generalmente en años)

i = Tasa de interés por período de interés(% anual)

$\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$, se denomina factor valor
-presente serie-uniforme(FVPSU)

$i(1+i)^n / (i(1+i)^n - 1)$, se denomina Factor recuperación
de capital(FRC)

c. Flujo de caja.

El resultado de ingresos y costos es llamado flujo de caja y puede definirse como entradas netas y desembolsos netos ocurridos en un mismo período de interés.

$$\text{Flujo de } \underline{\text{caja}} \text{ } = \text{entradas} - \text{desembolsos} \quad (6.6)$$

d. Depreciación.

La depreciación es una desminución en el valor de la propiedad debida al uso, al deterioro y a la caída en desuso. De esta manera aunque una máquina puede estar en perfecto estado mecánico, puede valer considerablemente menos que cuando era nueva debido a los adelantos técnicos en el campo de la maquinaria.

El método de depreciación más comúnmente utilizado es línea recta. Su nombre deriva del hecho que el valor del activo disminuye linealmente con el tiempo, porque cada año se tiene el mismo costo de depreciación. La depreciación anual se determina dividiendo el primer costo del activo menos su valor de salvamento por la vida útil del activo. En forma de Ecuación:

$$D = (P - V_s)/n \quad (6.7)$$

D = Depreciación anual

P = Primer costo del activo

V_s = Valor de salvamento del activo

n = Vida depreciable esperada del activo.

El valor de salvamento(V_s) es un valor neto que tiene el activo después de un determinado tiempo de uso, generalmente este tiempo es al final de la vida útil.

e. Análisis de vida de servicio.

Basicamente el analisis de vida de servicio se utiliza para determinar el número de años que debe retenerse un activo y usarse para recuperar su costo inicial con un retorno establecido, dados el flujo de caja anual y el valor de salvamento. Para encontrar la vida económica de servicio de un activo, se utiliza el siguiente modelo:

$$0 = -P + \ddot{a}_{j=1}^n (FC)_j \cdot (P/F, i\%, j) + V_s (P/F, i\%, n) \quad (6.8)$$

En donde:

FC_j = flujo de caja neto al final del año j

(j=1,2,3.....n)

P = El costo inicial

$i\%$ = tasa de retorno

V_s = Valor de salvamento

$(P/F, i\%, n)$ notación estandar de (FVPPU)

$$(P/F, i\%, n) = 1/(1+i)^n$$

Considerando un flujo de caja anual (FC) igual para todos los años la ecuación (6.8), se transforma en:

$$0 = -P + (FC) \cdot \ddot{a}_{n|i} + V_s(P/F, i\%, n)$$

$$0 = -P + (FC) \cdot (P/A, i\%, n) + V_s(P/F, i\%, n)$$

Donde:

$(P/A, i\%, n)$ = notación estandar de (FVPSU)

$$(P/A, i\%, n) = [(1+i)^n - 1] / i(1+i)^n$$

$$0 = -P + (FC) \cdot [(1+i)^n - 1] / i(1+i)^n + V_s \cdot 1/(1+i)^n \quad (6.9)$$

6.3.2 Cálculo del tiempo de recuperación ($T_{rec.}$).

Para lo cual se tomó el flujo de caja de una empresa metal-mecánica que utiliza este tipo de máquina.

a. Flujo de caja

$$\text{Flujo de caja/h} = \text{Ingresos/h} - \text{Costo/h}$$

$$\text{Ingresos/h} = S/. 9,37/h$$

$$\text{Flujo de caja/h} = 9,37/h - 7,88/h$$

$$\text{Flujo de caja/h} = S/. 1,49/h$$

Si la máquina trabaja un promedio de 2000 h. al año entonces tendremos el flujo de caja anual

$$\text{Flujo de caja anual} = \text{Flujo de caja/h} \cdot 2000 \text{ h}$$

$$\text{Flujo de caja anual} = S/. 2980,00$$

b. Valor de salvamento

El valor de salvamento lo consideramos el 15% del costo inicial al final de su vida útil.

$$V_s = S/.400,00$$

Utilizando la ecuación (6.9) y reemplazando los valores de flujo de caja ,i% =29 y Valor de salvamento se tiene:

$$2670=2980*\left[\frac{(1,29)^n - 1}{0,29(1,29)^n}\right] + 400*1/(1,29)^n$$

Resolviendo esta ecuación se tiene el valor de n= 1,02 años, que es el tiempo de recuperación de la inversión.

$$\mathbf{T_{rec.}} = 1,02 \text{ años.}$$

Por lo tanto el comprador de la máquina recupera su inversión en algo mas de un ano.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- El transformador de soldadura es de servicio intermitente, algunos de sus parámetros se han definidos empíricamente y otros se han tomado de los ya existentes
- 2.- La pérdida en el cobre son mayores que las pérdidas en el hierro en este tipo de máquinas.
- 3.- La relación entre la Potencia constructiva (P_Q) de la máquina y Potencia de servicio (P), se ha determinado considerando un ciclo de carga de 50% porque es lo que recomiendan los fabricantes
- 4.- La Máquina se ha diseñado tomando en cuenta las dimensiones antropométricas del hombre Peruano, esta podrá ser operado por cualquier persona con un adiestramiento de horas sin necesidad de especialización.
- 5.- En el interruptor estático no hay arco eléctrico y, por tanto no hay ruido eléctrico generado por este concepto ni mayor desgaste.
- 6.- La actuación del interruptor es prácticamente instantánea. La conexión puede efectuarse en cualquier punto de la onda y empezar a funcionar al paso por cero de la tensión tras el cierre del reed-switch y la desconexión se puede realizar en cualquier fase de la onda.

- 7.- La regulacion de potencia de la maquina es utilizando el control de paquetes de semiondas mediante el multivibrador.
- 8.- El temporizador electronico actua sobre las duraciones del multivibrador, entre el rango de de 20 us hasta 10 sg.
- 9.- Durante la fabricacion de maquina se debe tener en cuenta estrictamente, los ajustes, tolerancia y las calidades superficiales.
- 10.- Todo diseño de máquina debe basarse en la aplicación correcta de la teoría y leyes que gobiernan el funcionamiento de dicha máquina, con el fin de obtener una mejor eficiencia, teniendo como finalidad principal la producción.
- 11.- Los interruptores son sensibles a las sobrecargas y por lo tanto respetar los elementos limitadores y amortiguadores de diseño.
- 12.- El mantenimiento del interruptor es casi nulo, se requiere personal semiespecializado para las limpiezas ocasionales.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

- 1.- Boylestad Robert, Electrónica Teoría de Circuitos, Prentice-Hall, Madrid -España 1983
- 2.- Chuloshnikov P., Soldadura de Contacto, MIR, Moscú -1978
- 3.- Corrales Martín, Diseño de Maquinas Eléctricas
- 4.- Dobrovolki , Elementos de Maquinas, MIR, Moscú-1978
- 5.- Gualda J.A., Electrónica Industrial Técnicas de Potencia, Alfaomega-Marcombo , Barcelona-1983
- 6.- Heumann K. , Fundamentos de Electrónica de Potencia, Paraninfo, Madrid-España, 1985
- 7.- Ivanov-Smolenski, Maquinas Eléctricas Tomo 1, MIR, Moscú-1988
- 8.- Kuhn, Vdi Robert, Transformadores, Marcombo, Barcelona-1976
- 9.- Lilen H. , Tiristores y Triacs, Marcombo, Barcelona -1984
- 10.- Maloney J. Thimoty , Electrónica Industrial Dispositivos y Sistemas, Prentice-Hall , Mexico-1983
- 11.- Nassar S.A, Unnewher L.E, Electromecánica y Máquinas Eléctrica, Limusa, Mexico-1982

- 12.- Schimpke Paul, Tratado General de Soldadura
TomoII, Gustavo Gilli, Barcelona-1985
- 13.- Singer Francisco, Transformadores, Editorial NBO
-Tecnica, Argentina-1976
- 14.- Tarquin Antohony, Ingeniería Económica, Editorial
Universidad de Texas, 1978
- 15.- Tocci J. Ronald, Sistema Digitales Principios y
aplicación, Prentice-Hall, Mexico-1993

MANUALES

- 1.- ECG Semiconductors Master Replacement Guide, Philips
ECG , 1986
- 2.- Kauffman y Seidman, Manual para Ingenieros y Técnicos
en Electrónica, McGraw-Hill, 1983
- 3.- International Rectifier, Power Modules Designer's
Manual, International rectifier , 1992

REVISTAS, FOLLETOS Y CATALOGOS

- 1.-SANDVIK , Alambre Inoxidable para resortes, 1984
- 2.-LORS MACHINARY INC, Resistance Welding Equipment, 1994
- 3.-Catalogo de Rodamientos FAG-1984