

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

**“Diseño y Construcción de un Medidor
Digital de Factor de Potencia”**

TESIS DE GRADO

**Previa a la Obtención del Título de:
INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

Especialización: ELECTRONICA

Presentada por:

Leoncio Aristóteles Ferrer Triviño

Guayaquil - Ecuador

1987

A G R A D E C I M I E N T O

Al ING. CESAR YEPPEZ, Director de tesis y
a la Srta. ROSA FERRER T., por su valio-
sa y desinteresada ayuda que me permitió
culminar con éxito este trabajo.

D E D I C A T O R I A

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MI ESPOSA

A MI HIJO

Exp. No. _____



.....
ING. GUSTAVO BERNUDEZ F.
Sub-Decano de la Facultad
Ingeniería Eléctrica



.....
ING. CESAR YEPEZ F.
Director de Tesis



.....
ING. JUAN CARLOS AVILES
Miembro Principal



.....
ING. JUAN DEL POZO
Miembro Principal

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA - SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).



.....
LEONCIO ARISTOTELES FERRER TRIVIÑO

R E S U M E N

El objetivo de este trabajo es el de diseñar y construir un medidor de factor de potencia, para el laboratorio de maquinaria de la Espol.

El método a seguir es el de coger muestras secuenciales de la diferencia de fase de la señal de voltaje y corriente respectivamente.

A esta diferencia de fase se la multiplica por la señal de reloj, cuya frecuencia de pulsación corresponde a medio grado eléctrico. La cantidad de pulsos resultantes son contados por un arreglo de tres contadores de décadas que son suficientes para contar hasta 180 pulsos; en términos ideales corresponden a 90 grados eléctricos. Los pulsos contados son enviados a la memoria cuya dirección corresponde al número de pulsos contados; en cada dirección existe almacenado el valor del coseno del grado correspondiente al número de pulsos.

Como el equipo es diseñado para medir factor de potencia trifásico tanto en equilibrio como desequilibrio; se toma lectura por fase en forma secuencial; debido a que se toma sólo la diferencia de fase entre voltaje y

corriente o viceversa, se incorpora un detector de carga que será el encargado de encender un diodo emisor de luz para indicar que la carga es capacitiva, la ausencia de luz corresponde a carga inductiva.

A partir de la medición de este equipo, se puede diseñar un corrector automático de factor de potencia, que puede ser motivo de otra tesis.

INDICE GENERAL

| | PAG. |
|--|------|
| RESUMEN | VI |
| INDICE GENERAL | VIII |
| INDICE DE FIGURAS | X |
| INDICE DE TABLAS | XIII |
| ABREVIATURAS | XIV |
| INTRODUCCION | 15 |
| CAPITULO I | 18 |
| DEFINICIONES GENERALES | 18 |
| 1.1. POTENCIA, FACTOR DE POTENCIA. | 18 |
| 1.2. SISTEMA TRIFASICO: CARGA EQUILIBRADA .. | 25 |
| Y, Δ | |
| 1.2.1. SISTEMA TRIFASICO ESTRELLA | 26 |
| 1.2.2. SISTEMA TRIFASICO DELTA | 28 |
| 1.3. POTENCIA TRIFASICA: Y, Δ | 31 |
| 1.4. TIPOS DE POTENCIA: ACTIVA, REACTIVA, | |
| APARENTE. | 32 |
| CAPITULO II | |
| PROCEDIMIENTOS. | 39 |
| 2.1. ANALOGICO. | 39 |
| 2.2. DIGITAL. | 40 |
| CAPITULO III | |
| DISEÑO | 45 |

IX

| | PAG. |
|---|------|
| 3.1. ANALISIS DE LA SEÑAL | 45 |
| 3.2. DISEÑO DEL DETECTOR DE VOLTAJE | 48 |
| 3.3. DISEÑO DEL DETECTOR DE CORRIENTE | 50 |
| 3.4. DISEÑO DEL SECUENCIADOR | 52 |
| 3.5. DISEÑO DEL RELOJ..... | 55 |
| 3.6. DISEÑO DEL CIRCUITO CONTADOR RETENEDOR... | 56 |
| 3.7. DISEÑO DEL CIRCUITO DE MEMORIA | 61 |
| 3.8. DISEÑO DEL CIRCUITO RECONOCEDOR DE CAR GA. | 70 |
| CAPITULO IV | |
| CONSTRUCCION. | 75 |
| 4.1. LISTA DE MATERIALES Y PRESUPUESTO. | 75 |
| 4.2. UBICACION DE COMPONENTES | 77 |
| 4.3. FORMA DE MONTAJE EN EL LABORATORIO | 79 |
| 4.4. RESULTADOS | 82 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 85 |
| APENDICES | |
| APENDICE A: HOJA DE DATO DEL 7490..... | 90 |

INDICE DE FIGURAS

| N° | | PAG. |
|------|--|------|
| 1.1. | EL VALOR DE LA POTENCIA MEDIA P DE UNA FUNCION PERIODICA DE $P(t)$ ES IGUAL SO- BRE CUALQUIER PERIODO T..... | 21 |
| 1.2. | VOLTAJE Y CORRIENTES DE UN SISTEMA ES- TRELLA..... | 27 |
| 1.3. | DIAGRAMA FASORIAL DE UN SISTEMA TRIFA- SICO EQUILIBRADO ESTRELLA | 28 |
| 1.4. | VOLTAJES Y CORRIENTES DE UN SISTEMA DELTA | 29 |
| 1.5. | DIAGRAMA FASORIAL DE UN SISTEMA TRIFA- SICO EQUILIBRADO DELTA. | 30 |
| 1.6. | VOLTAJE, CORRIENTE Y POTENCIA EN UNA - CARGA RESISTIVA PURA. | 33 |
| 1.7. | VOLTAJE, CORRIENTE Y POTENCIA EN UNA CAR- GA INDUCTIVA..... | 33 |
| 1.8. | DIAGRAMA FASORIAL DE CORRIENTE ACTIVA Y REACTIVA..... | 36 |
| 1.9. | DIAGRAMA FASORIAL DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA | 37 |
| 2.1. | DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN PROCESO ANA- LOGICO..... | 39 |
| 2.2. | DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DIGITAL | 41 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1. | DIAGRAMA DE TIEMPO DE LAS SEÑALES V e I. | 46 |
| 3.2. | CIRCUITO DETECTOR DE VOITAJE | 49 |
| 3.3. | CIRCUITO DETECTOR DE CORRIENTE | 50 |
| 3.4. | SISTEMA 3 Ø EQUILIBRADO EN Y. | 51 |
| 3.5. | SISTEMA 3 Ø Δ EQUILIBRADO. | 51 |
| 3.6. | CIRCUITO SECUENCIAL. | 5 |
| 3.7. | CURVAS DEL 555 COMO BIESTABLE | 56 |
| 3.8. | CIRCUITO DEL RELOJ. | 56 |
| 3.9. | OBTENCION DEL PAQUETE DE PULSOS | 57 |
| 3.10. | DIAGRAMA DE TIEMPO PARA ACCESO Y . BORRADO DE DATOS | 59 |
| 3.11. | DIAGRAMA CIRCUNITAL CONTADOR-RETE NEDOR. | 60 |
| 3.12. | DIAGRAMA DE TIEMPO PARA ANALISIS DE CARGA CAPACITIVA-INDUCTIVA. | 71 |
| 3.13. | CIRCUITO DETECTOR DE CARGA CAPA- CITIVA..... | 72 |
| 3.14. | DIAGRAMA DEL CIRCUITO COMPLETO..... | 74 |
| 4.1. | UBICACION DE COMPONENTES. | 77 |
| | 4.1.A. FOTOGRAFIA FRONTAL | 78 |
| | 4.1.B. FOTOGRAFIA POSTERIOR..... | 78 |
| 4.2. | FORMA DE CONECTAR LOS TRANSFORMA DORES EN UNA CARGA 3 Ø Y δ Δ E- QUILIBRADA. | 80 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.3. | FORMA DE CONEXION DE LOS TRANSFORMADORES EN UN SISTEMA Y DESEQUILIBRADO..... | 81 |
| 4.4. | FORMA DE CONEXION DE LOS TRANSFORMADORES EN UN SISTEMA DELTA DESEQUILIBRADO..... | 81 |
| 4.5. | RED ADICIONAL DE ENTRADA | 82 |
| 4.6. | DETECCION DE DOS PULSOS | 84 |

INDICE DE TABLAS

| N ° | | PAG. |
|-----|--|------|
| 1 | CODIFICACION DE DATOS DE MEMORIA | 62 |
| 2 | DATOS DE LOS EPROMS | 63 |
| 3 | RESULTADOS | 83 |

A B R E V I A T U R A S

| | | |
|----------------|-------|---|
| CA | ..... | CORRIENTE ALTERNA |
| P | ..... | POTENCIA INSTANTANEA |
| V | ..... | VOLTAJE |
| i | ..... | CORRIENTE |
| P | ..... | POTENCIA MEDIA |
| V _m | ..... | VOLTAJE MAXIMO |
| I _m | ..... | CORRIENTE MAXIMA |
| ϕ | ..... | ANGULO DE DEFASAJE ENTRE VOLTAJE Y CORRIENTE |
| τ | ..... | CONSTANTE DE TIEMPO |
| fp | ..... | FACTOR DE POTENCIA |
| Kva | ..... | KILOVATIO-AMPERIO |
| Kw | ..... | KILOVATIO |
| Kvar | ..... | KILOVATIO AMPERIO REACTIVO |
| μ | ..... | MICRO |

I N T R O D U C C I O N

En nuestro país a nivel industrial es sumamente importante el conocimiento de las normas y límites del factor de potencia.

En los últimos años ha existido negligencia y descontrol en mantener un factor de potencia aceptable, para poder servir mejor a todos los consumidores de servicio eléctrico. En las industrias modernas se ha incrementado el uso de sistemas de reactancias, algunas de las fuentes de estas cargas son motores de inducción (especialmente cuando opera con carga menor a la nominal), transformadores, fluorescentes, rectificadores, soldaduras, arcos.

Una planta industrial con bajo factor de potencia puede:

- Reducir el nivel de voltaje, adversamente afectando la eficiencia de los motores.
- Incrementa las pérdidas de cobre (I^2R).
- Reduce la incandescencia de las lámparas de alumbrado.
- Incrementa el costo de energía.
- Reduce la capacidad del sistema y características por cables sobrecargados y trans

formadores.

La corriente reactiva también introduce altas pérdidas en el generador, transformadores y las líneas a través de las cuales fluye.

Existen formas para mejorar el factor de potencia, pero las más usadas son por capacitores (es más económico) y los motores sincrónicos, de esto se hablará en más detalle en el capítulo 1, además de los conceptos básicos de potencia.

Mi propósito de esta tesis es el diseño de un aparato de medición del factor de potencia, a ser utilizado en el laboratorio de Máquinas, con una medición por fase y su lectura es mostrada en despliegues visuales con tres dígitos.

La lectura es en forma secuencial y por fase, es decir tomando muestras alternadas de cada fase.

A través del capítulo dos se muestran dos métodos de sensar el factor de potencia, el uno analógico y el otro digital, estos métodos son descritos en forma ligera aunque se recalca el digital porque es el método a seguir

para el diseño y construcción del aparato de medición. La parte más importante en él es el capítulo tres, donde se describe paso a paso el diseño de cada etapa del equipo de medición. Desde la etapa de sensor la señal hasta verla mostrada en los despliegues visuales.

En el capítulo cuarto se compara el sistema de construcción, de lo mismo se escribirá en el capítulo sobre cuál fue el escogido y por qué. Además se hace una pequeña cotización del aparato.

La última parte es las recomendaciones y conclusiones, que se dan para obtener mayores ventajas en el uso del equipo de medición.

C A P I T U L O I

DEFINICIONES GENERALES.

1.1. POTENCIA, FACTOR DE POTENCIA.

El concepto de potencia y factor de potencia va íntimamente relacionado con la energía eléctrica de las industrias.

La eficiencia con que sea transportada la energía se ve reflejada en la acción directa del costo, el mismo que es pagado por los usuarios.

El usuario que utiliza los servicios dando origen a una eficiencia pobre de transmisión, debe pagar un precio mayor por cada kilovatio-hora (Kwh) de energía que realmente recibe y utiliza.

Comenzaremos considerando la potencia instantánea que es el producto del voltaje o tensión en el dominio del tiempo y la corriente en el dominio del tiempo. Esta potencia es útil, pues es necesario para limitar los valores máximos para no exceder

los límites de seguridad de un equipo, por ejemplo los amplificadores de potencia de transistores producen distorsión cuando se sobrepasa la potencia instantánea límite.

La potencia entregada a cualquier dispositivo en función del tiempo, viene dada por el producto del voltaje y la corriente que existen a través y pasan por él, entonces:

$$p = v i \quad (1.1)$$

si el dispositivo fuera una resistencia tendría mos:

$$p = v i = i^2 r = v^2 / r \quad (1.2)$$

si fuera un dispositivo inductivo:

$$p = v i = L i di/dt = \frac{1}{L} v \int_0^t v dt \quad (1.3)$$

en donde se ha considerado que $v = 0$ cuando $t = 0$

Cuando el dispositivo es un condensador:

$$p = v i = C v dv/dt = \frac{1}{C} i \int_0^t i dt \quad (1.4)$$

en donde se supone también que $i = 0$ para $t = 0$.

Bajo estas consideraciones podemos definir ahora la potencia media que la que tiene uso en la práctica y viene dada por:

$$P = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt \quad (1.5)$$

como tratamos de ondas periódicas, esta fórmula es más generalizada:

$$P = \frac{1}{nT} \int_{-nT/2}^{nT/2} p(t) dt \quad (1.6)$$

Observando la fig. 1.1. podemos sustituir nT por la variable τ entonces obtenemos:

$$P = \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{1}{\tau} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} p dt \quad (1.7)$$

Obtengamos ahora en forma general para régimen permanente sinusoidal.

$$v(t) = V_m \cdot \cos(\omega t + \alpha)$$

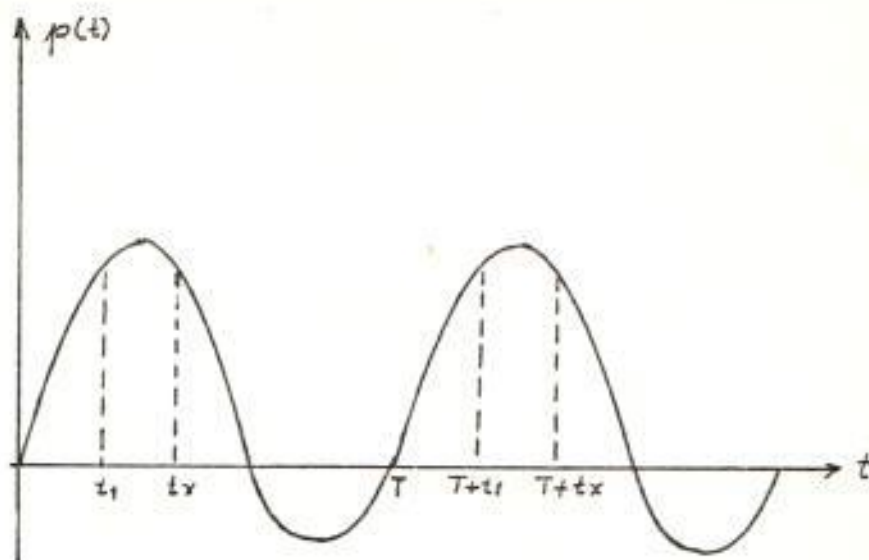


Fig. 1.1 EL VALOR DE LA POTENCIA MEDIA P DE UNA FUNCIÓN PERIÓDICA DE $p(t)$ ES IGUAL SOBRE CUALQUIER PERÍODO T .

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \alpha - \theta)$$

$$\begin{aligned} p &= v i = V_m I_m \cos(\omega t + \alpha - \theta) \cos(\omega t + \alpha) \\ &= \frac{V_m I_m}{2} \cos(2\omega t + \theta) + \cos\theta \\ &= \frac{V_m I_m}{2} \cos\theta + \frac{V_m I_m}{2} \cos(2\omega t + \theta) \end{aligned}$$

Por simple observación, vemos que el primer término es una constante independiente de t , el segundo término es una onda coseno, y por conocimiento de estas ondas se conoce que el valor medio en perio-

do T es cero, por tanto:

$$P = \frac{1}{2} V_m \cdot I_m \cdot \cos \theta$$

Como ilustración supongamos que tenemos:

$$v(t) = 10 \cos \omega t (V)$$

$$i(t) = 5 \cos (\omega t - 60) (A)$$

$$p(t) = 50 \cos \omega t \cos (\omega t - 60)$$

$$= 12.5 + 25 \cos (\omega t - 60)$$

$$P = 12.5 \text{ watts}$$

Cabe resaltar que la potencia media entregada a una carga resistiva pura es dada por:

$$P_r = \frac{1}{2} V_m I_m = \frac{1}{2} \frac{V_m^2}{R} = \frac{1}{2} I_m^2 R$$

ya que la onda de corriente y voltaje están en fase. La potencia media entregada a cualquier dispositivo puramente reactivo ha de ser cero, ya que hay una diferencia de 90° entre la corriente y el voltaje, entonces:

$$P_x = 0$$

La potencia media entregada a cualquier red compuesta por reactancias inductivas y capacitivas i deales es cero, mientras que la instantánea es ce ro solo en ciertos instantes específicos.

Es entonces, la diferencia de fase del voltaje a la corriente, con respecto a la carga, lo que nos dá una información de la potencia suministrada a la carga; no entrando en definición aún de potencia aparente; a la razón de la potencia real o me dia a la potencia aparente se denomina factor de potencia.

$$fp = \frac{Kw}{Kva} = \frac{\text{Pot. med.}}{\text{Pot. aparente}} = \frac{Vm Im \cos \theta}{Vm Im} = \cos \theta (1.3)$$

En el caso que nos interesa, sinusoidal, el factor de potencia es coseno θ , que como se dijo anteriormente, es el ángulo en que la corriente a trasa ó adelanta al voltaje (tomando como referenci a al voltaje).

Cuando tenemos carga resistiva pura el voltaje y corriente están en fase, el fp es igual a uno, ya que la potencia aparente y real o media son igua les.

En el caso extremo cuando la carga es reactiva pura el fp es igual a cero, la potencia media será cero.

Supongamos que tenemos un caso intermedio con un $\text{fp} = .5$, es decir, la carga posee una impedancia con un ángulo de fase de $+60^\circ$ ó -60° , el signo positivo nos indica que es inductiva y la segunda carga capacitiva.

Por la ambigüedad de la naturaleza exacta, se dice que la fase corresponde al ángulo de la corriente con respecto al voltaje, por tanto, una carga inductiva tendrá un factor de potencia retrasado y una carga capacitiva tendrá un factor de potencia adelantado.

Ahora hagamos un pequeño análisis de cómo influye el factor de potencia en la industria.

Asumamos que la carga de una planta es 1.500 Kw a un factor de potencia de 0.5 y el costo por Kva es el consumo total de Kva, para este caso es:

$$\frac{1500 \text{ Kw}}{.75} = 2000 \text{ Kva.}$$

con una demanda de esta magnitud, el costo será:

$$2000 \times 5.75 = S/. 11.500,00$$

Si mejoramos el fp a 0.9, tendremos (considerando que el valor de los Kva se mantienen).

$$\frac{1500 \text{ Kw}}{0.9} = 1.667 \text{ Kva.}$$

Con un costo de :

$$1667 \times 5.75 = S/. 9.583,00$$

Esto significa que mejorando el factor de potencia de 0.75 a 0.90, la demanda de carga será reducida en :

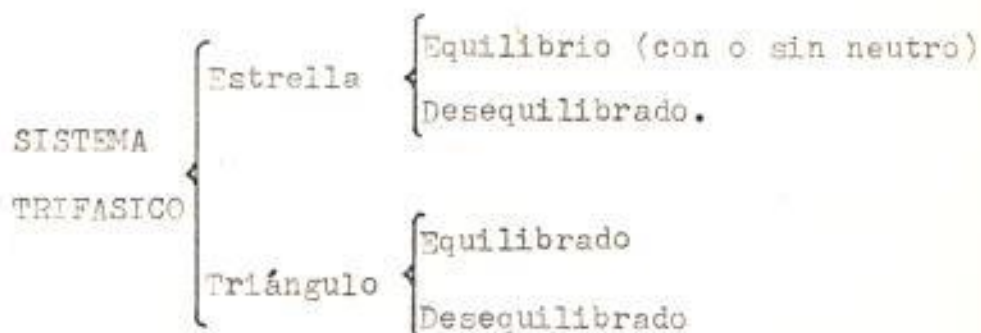
$$11500 - 9583 = S/. 1.917,00$$

Esto nos demuestra en forma ligera, el beneficio - en el aumento del fp.

1.2. SISTEMA TRIFÁSICO: CARGA EQUILIBRADA Y, Δ

El sistema trifásico existente en la industria, es

equilibrado y desequilibrado dependiendo de la carga utilizada, en el cuadro sinóptico de abajo se resume la clasificación.



Vamos a describir los sistemas equilibrados porque para el tratamiento de cargas desequilibradas se usan componentes simétricos.

1.2.1. SISTEMA TRIFASICO ESTRELLA

Cuando el sistema es estrella, la corriente de línea es igual a la de la fase.

$$I_{FA} = I_A$$

$$V_{AB} = V_A - V_B$$

$$I_{FB} = I_B$$

$$V_{BC} = V_B - V_C$$

$$I_{FC} = I_C$$

$$V_{CA} = V_C - V_A$$

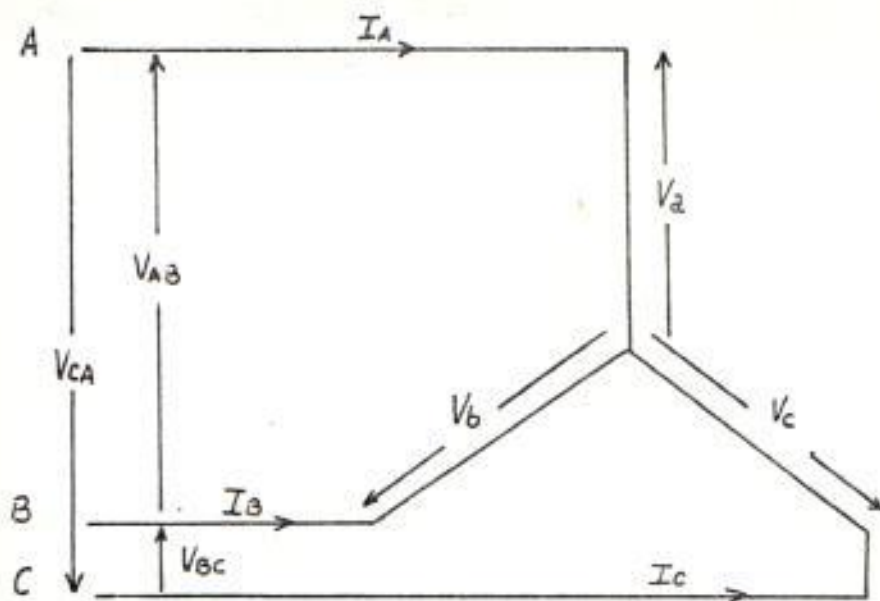


FIG. 1.2. VOLTAJE Y CORRIENTES DE UN SISTEMA ESTRELLA.

Ahora en sistema equilibrado se cumple que:

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

y en los voltajes se obtiene que $V_A = \sqrt{3} V_{FA}$ todo ésto con sus respectivos ángulos de defasaje se muestra en la figura 1.3.

El ángulo de defasaje del voltaje de línea respecto al de fase es 30° en adelante.

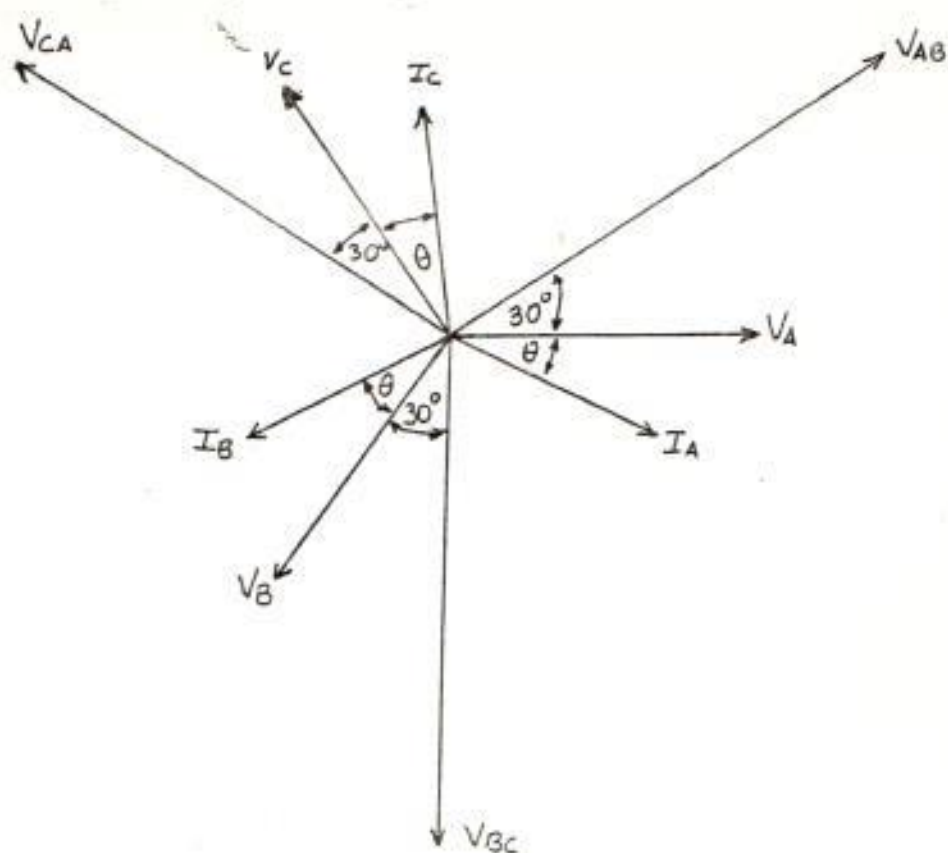


FIG. 1.3. DIAGRAMA FASORIAL DE UN SISTEMA TRIFASICO EQUILIBRADO ESTRELLA.

1.2.2. SISTEMA TRIFASICO DELTA.

$$\begin{aligned}
 \text{En este sistema } V_{FA} &= V_{AB} & I_A &= I_{AB} - I_{AC} \\
 V_{FB} &= V_{BC} & I_B &= I_{BC} - I_{AB} \\
 V_{FC} &= V_{CA} & I_C &= I_{CA} - I_{BC}
 \end{aligned}$$

como se demuestra en la fig. 1.4

$$I_A = \sqrt{3} I_{FA}$$

Como se ve claramente, en ambos casos el ángulo que existe entre el voltaje de línea y la corriente de línea, ya sea cuando el sistema es estrella o delta es: $30^\circ + \theta$. Todo esto es cierto siempre y cuando el sistema sea equilibrado, bajo condiciones de equilibrio se pierde toda referencia de la carga en cuanto a mediciones en la línea.

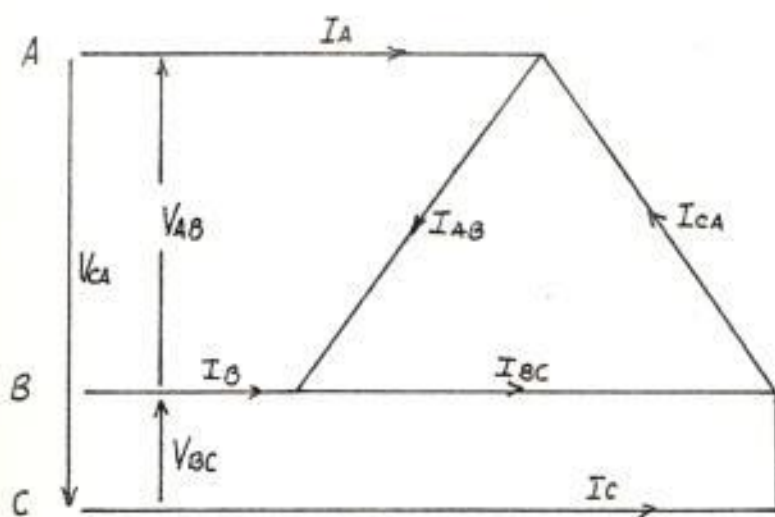


FIG. 1.4. VOLTAJES Y CORRIENTES DE UN SISTEMA DELTA.

Inv. No. _____

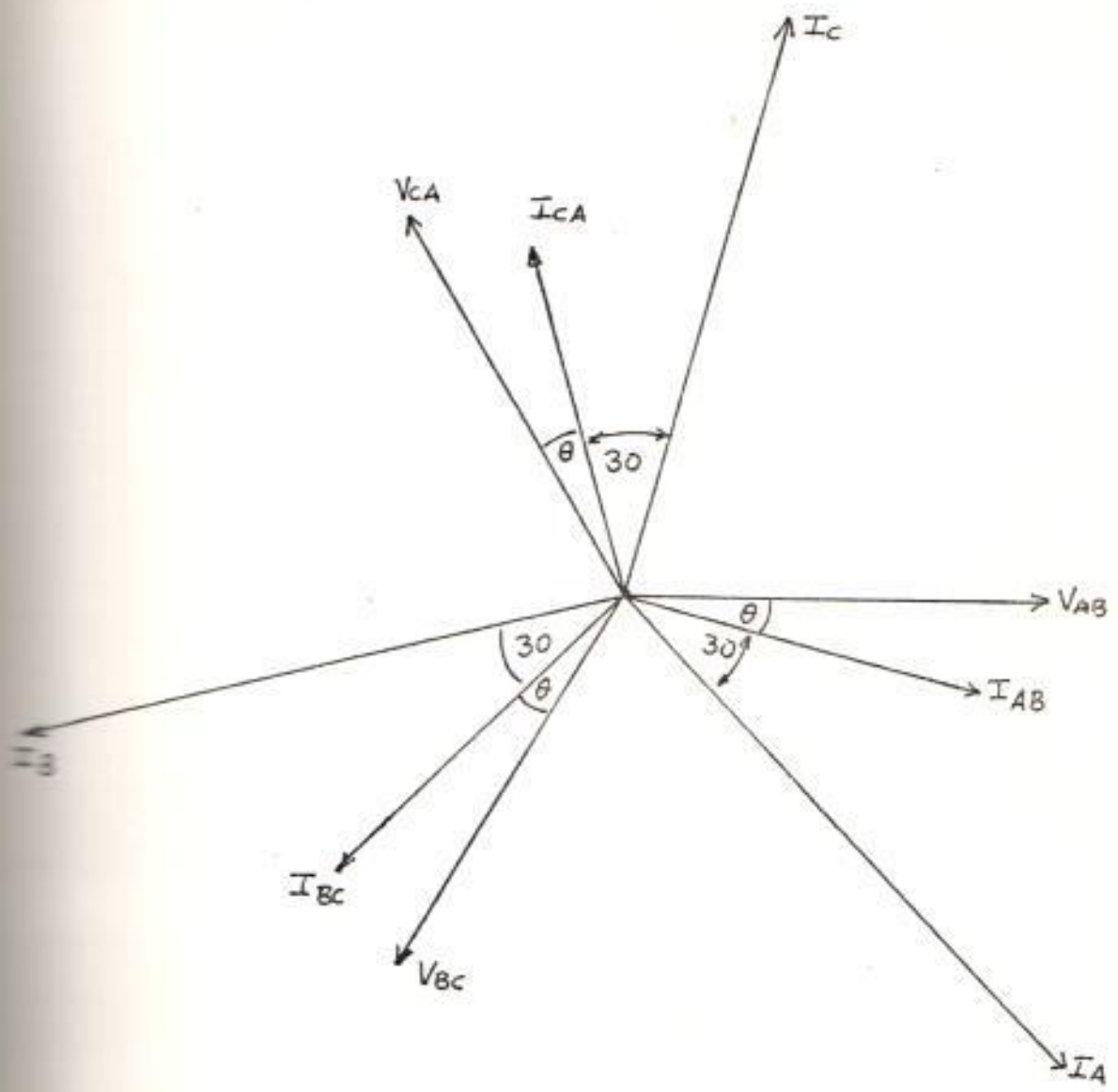


FIG. 1.5. DIAGRAMA FASORIAL DE UN SISTEMA 3 ϕ EQUILIBRADO Δ

1.3. POTENCIA TRIFASICA: Y, Δ

Sin entrar en muchas definiciones, en un sistema trifásico la potencia de la carga es igual a la suma de potencia por fase.

Tratemos primero un sistema estrella.

$$P_y = V_a I_a \cos \theta + V_b I_b \cos \theta + V_c I_c \cos \theta \quad (1.9)$$

$$= (V_a I_a + V_b I_b + V_c I_c) \cos \theta \quad (1.10)$$

Donde $V_a = V_b = V_c$ es el voltaje por fase.

$I_a = I_b = I_c$ es la corriente por fase y línea en estrella.

$\cos \theta$ es el factor de potencia; en este caso especial asumimos una carga equilibrada.

$$\text{Por definición } V_y = \frac{1}{\sqrt{3}} V_L \quad (1.11)$$

$$P_y = \frac{3}{\sqrt{3}} V_L I_L \cos \theta \quad (1.12)$$

V_L = voltaje de línea

I_L = I fase

En forma análoga, la potencia reactiva trifásica es dada por la ecuación 1.13.

$$Q_y = \sqrt{3} \text{ VL IL sen } \theta \quad (1.13)$$

En el caso de un sistema delta, el factor $\sqrt{3}$ afecta a la corriente, $IL = \frac{IP}{\sqrt{3}}$ entonces:

$$P = \sqrt{3} \text{ VL IL cos } \theta \quad (1.14)$$

$$Q = \sqrt{3} \text{ VL IL sen } \theta \quad (1.15)$$

1.4. TIPOS DE POTENCIA: ACTIVA, REACTIVA, APARENTE.

En términos de voltaje y corriente sinusoidal, en un circuito A.C a 60 cps, el voltaje y corriente siguen la forma de la fig. 1.6. En una carga resistiva pura, tal como un calefactor o una lámpara incandescente, la corriente está en fase con el voltaje. Esto significa que la corriente pasa por los valores máximos, mínimos y cruces de cero en el mismo instante que el voltaje, entonces en cualquier instante los vatios son iguales a los voltios por los amperios.

Cuando el voltaje y corriente son positivos, el vatiaje es positivo, cuando ambos son negativos, el vatiaje también es positivo.

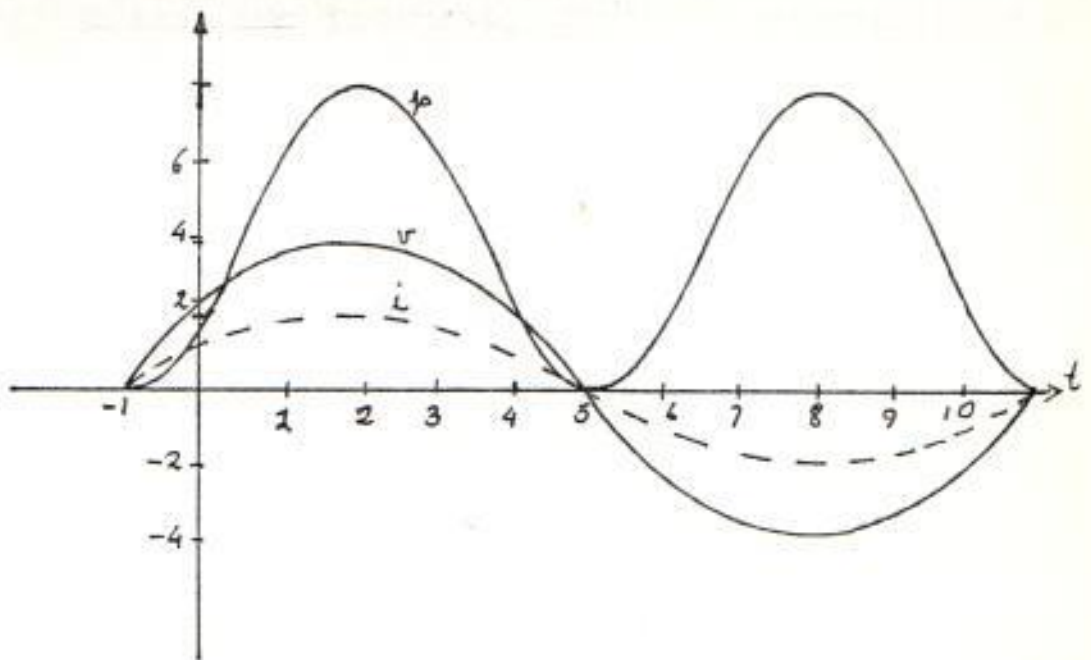


FIG. 1.6. VOLTAJE, CORRIENTE Y POTENCIA EN UNA CARGA RESISTIVA PURA.

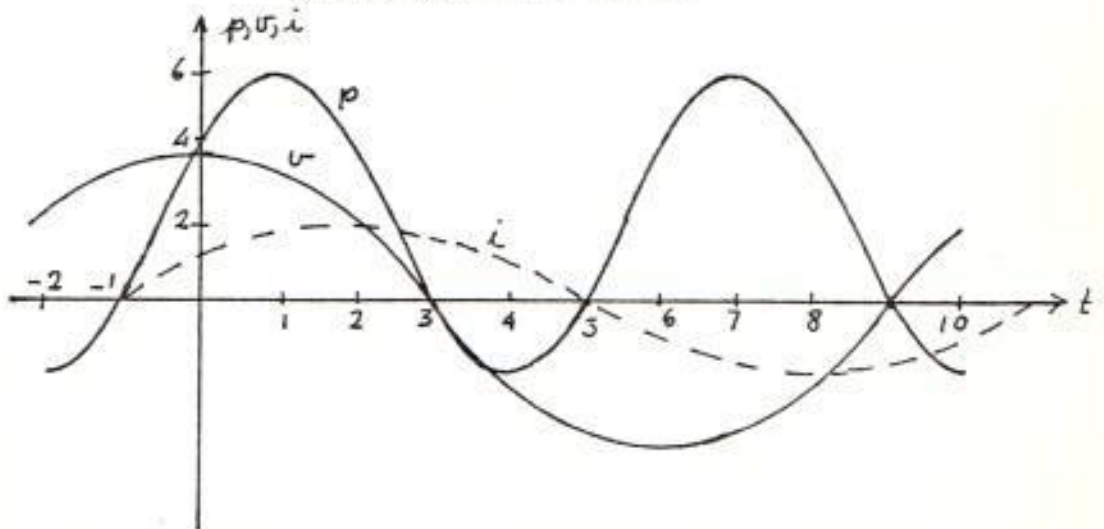


FIG. 1.7. VOLTAJE, CORRIENTE Y POTENCIA EN UNA CARGA INDUCTIVA.

En una carga inductiva, el voltaje y corriente no están en fase, la corriente se retrasa respecto al voltaje como muestra la fig. 1.7., en este caso la curva de potencia cruza el eje de cero en el tiempo.

Analizando esta curva, nos damos cuenta que la parte negativa se genera justo en la diferencia de fase.

La potencia útil es la diferencia entre el área positiva y el área negativa de la curva de potencia.

El factor de potencia definido en la ecuación 18, es la relación de esta diferencia; en este caso, el factor de potencia está en atraso.

El factor de potencia es atrasado cuando la carga requiere Kvar (carga inductiva); está adelantado cuando la carga suministra Kvar (carga capacitiva)

La potencia útil o corriente de trabajo, es aquella que es convertida por el equipo en trabajo útil, generalmente en forma de calor, luz o fuerza mecánica.

La potencia reactiva o magnetizante, es una potencia no útil, es producida por la corriente magnetizante, sin corriente magnetizante no fluiría energía a través del núcleo de los transformadores o entrehierro de los motores de inducción.

La relación fasorial de estas dos componentes de corriente a la corriente total, y a un sistema de voltaje es mostrado en la fig. 1.8. Allí se muestra que la suma vectorial de las dos corrientes, dan origen a la corriente total, la cual puede ser determinada vectorialmente desde la expresión.

$$\begin{aligned} \text{Corriente Total} &= \sqrt{(\text{Corriente Activa})^2 + (\text{Corriente reactiva})^2} \\ I &= \sqrt{(I \cos \theta)^2 + (I \sin \theta)^2} \quad (1.16) \end{aligned}$$

Ahora a un voltaje dado V, la potencia activa, reactiva y aparente, son proporcionales a la corriente y están relacionadas de la siguiente forma:

$$VI = \sqrt{(VI \cos \theta)^2 + (VI \sin \theta)^2} \quad (1.17)$$

Esto se evidencia en la fig. 1.9. que es similar a la fig. 1.8. de corriente.

Nuevamente se recalca que dependiendo de la dirección del vector reactivo dependerá el factor de potencia.

El factor de potencia en atraso, requiere que los flujos de corriente estén en el mismo sentido, mientras que si los flujos se oponen en dirección entonces está adelantado, quienes originan esto - son los capacitores y motores síncronos.

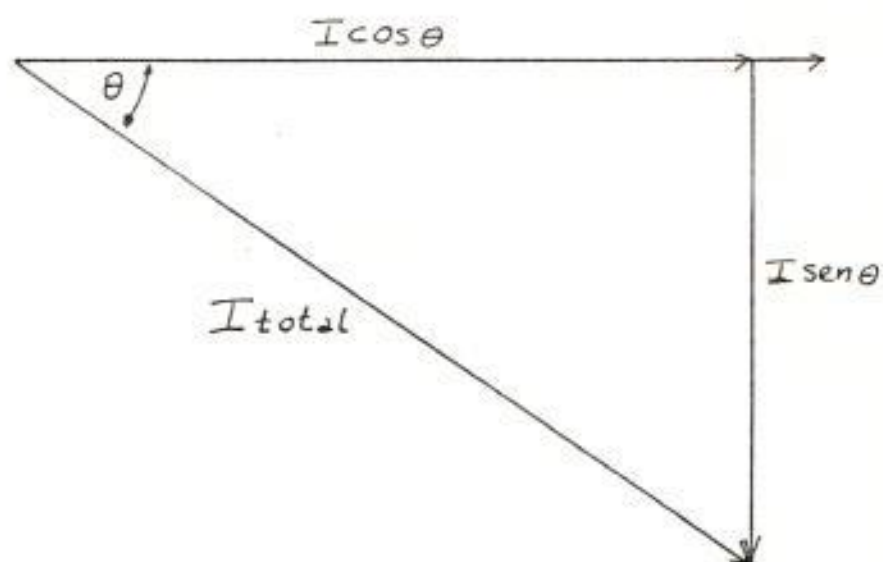


FIG. 1.8. DIAGRAMA FASORIAL DE CORRIENTE ACTIVA Y REACTIVA.

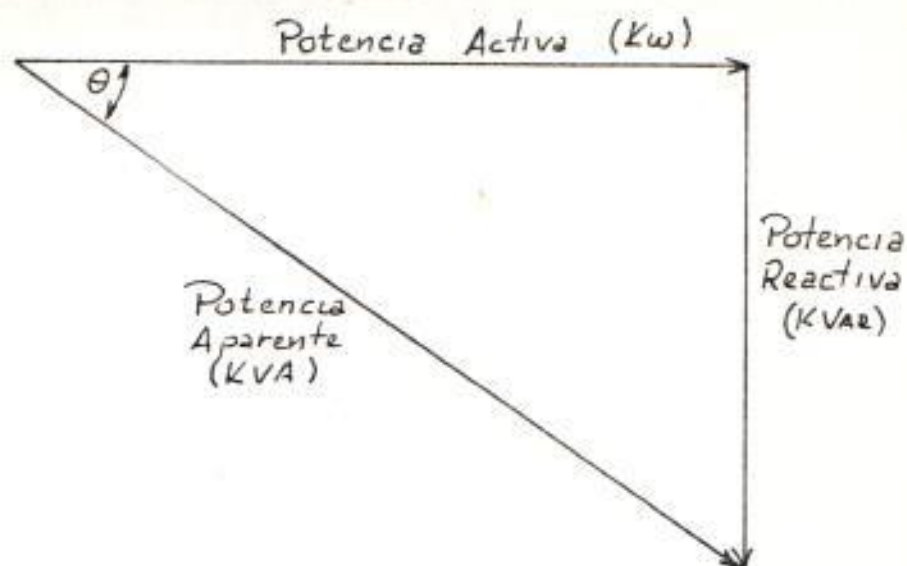


FIG. 1.9. DIAGRAMA FASORIAL DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA.

Concretando:

La potencia activa o útil, es aquella que es consumida por el elemento o dispositivo y genera calor luz o esfuerzo mecánico, se mide en (Kw).

La potencia reactiva es no útil y es aquella que permite la magnetización del núcleo o entrehierro, en el caso inductivo esto es situado bajo el eje de corriente activa, y en el caso capa

capacitivo sobre el eje se mide en (Kvar).

La potencia aparente es la suma fasorial de estas potencias y se mide en (Kva).

En las recomendaciones se dá un ejemplo de los métodos para calcular la cantidad de Kvar capacitivo para mejorar el factor de potencia de una industria.

CAPITULO I I

Para la medición del factor de potencia, existen métodos matemáticos combinados con medición instrumental, entre éstos se destacan los de dos vatímetros que es muy usado en la práctica.

2.1. ANALÓGICO.

Hay un procedimiento analógico de un aparato de medición, el mismo como se detallado en bloques en la fig. 2.1.

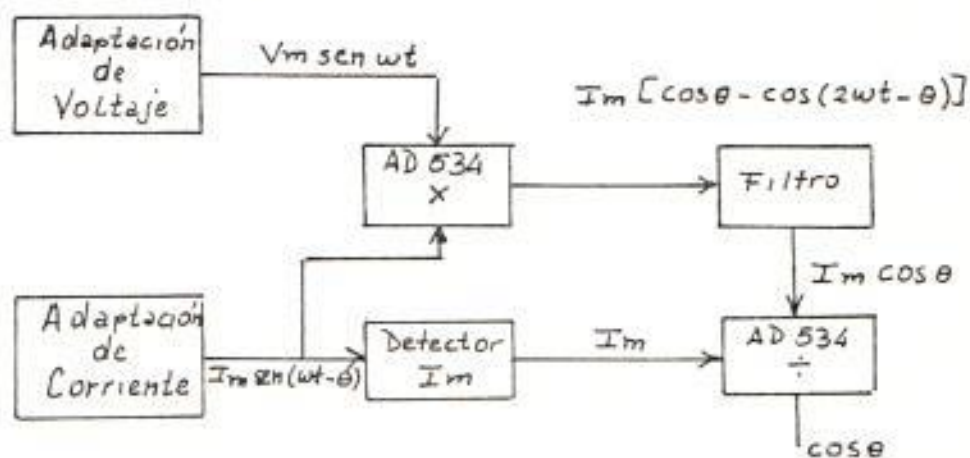


FIG. 2.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN PROCESO ANALÓGICO.

En forma breve se ve claramente que el elemento AD 534 es usado como multiplicador y luego como divisor, siendo éste el artificio para poder detectar el factor de potencia, lo que existe a la salida es una señal proporcional a $\cos \theta$ que puede ser codificada por un aparato de medición ajustando su escala proporcionalmente.

Las etapas previas son diseños de filtros para anular las frecuencias no deseadas.

2.2. DIGITAL.

El equipo a diseñar utiliza este procedimiento, aquí si vamos a detallar más minuciosamente cada bloque del diagrama o fig. 2.2.

BANCO DE TRANSFORMADORES.- Cuando el sistema es trifásico equilibrado, vamos a conectar en la línea tanto el transformador de corriente como el de voltaje. Lo mismo no es posible en un sistema desequilibrado. En el capítulo de recomendaciones se explicarán métodos para medición, ya que este equipo es para el laboratorio de máquinas, y los transformadores existen en el laboratorio, entonces no

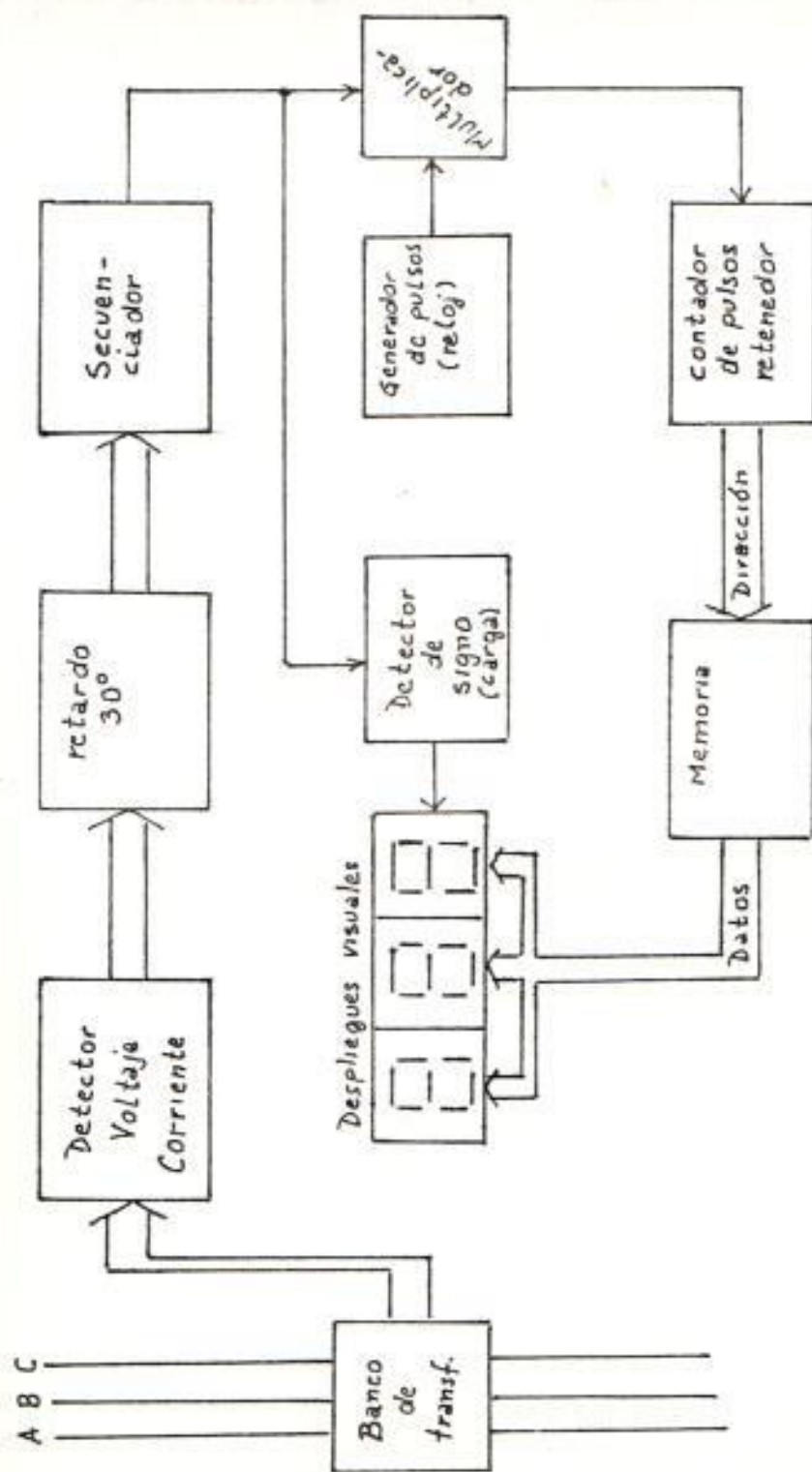


FIG. 2.2. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DIGITAL.

es parte del equipo en construcción.

DETECTOR DE VOLTAJE Y CORRIENTE.- Se encarga de
 medir tanto la corriente y el voltaje, de la lí-
 nea o fase que estamos averiguando; en realidad pa-
 ra nuestro método se construirán tres detectores -
 de corriente y tres de voltaje, que están conecta-
 das a los tres transformadores de corriente y tres
 de voltajes respectivamente.

DEFASADOR DE LÍNEA Y FASE.- En esta etapa se defi-
 ne la modalidad, sea ésta sistema equilibrado o de
 sea ilibrado. Cuando el sistema es equilibrado se
 conecta mediante un inductor una red RC, que ha-
 ce que exista un desfaseamiento de 30 grados eléc-
 tricos entre voltaje y corriente de línea, con res-
 pecto al voltaje y corriente de fase.

SECUENCIADOR Y DETECTOR DE FASE.- De las tres se-
 ñales de voltaje y tres de corriente, se escogen -
 dos, una de voltaje y otra de corriente, ambas de
 una fase o de una línea, y ésta será la señal a
 procesar, ésto ocurre durante cinco segundos y lue-
 go se procesa otro par de señales y por último el
 tercer par de señales, luego sucesivamente lo que

determina el secuenciador.

DETECTOR DE SIGNO.- Esta etapa compara el secuencia por el car de señales que se está procesando, y de termina cual adelanta a la otra señal; con ésto se determina si el factor de potencia es positivo o negativo, esta señal es enviada al despliegue vi su al.

GENERADOR DE PULSOS.- Es un oscilador que oscila a una frecuencia tal que el tiempo del pulso es equivalente a un grado eléctrico; en este diseño, se hace a medio grado para tener una exactitud más adecuada.

MULTIPLICADOR.- Una simple compuerta Y (and) toma la señal del generador de pulsos y la multiplica por el ancho de pulso proveniente del secuenciador, que no es otro sino la diferencia de fase del voltaje y corrientes procesadas en este momento. Este paquete de pulsos es enviado a un contador y luego a retenedores.

CONTADOR RETENEDOR.- Mantiene la cantidad de pul sos almacenados un instante para poder de esta for

ma decodificarlos en la memoria EPROM.

MEMORIA EPROM Y DESPLIEGUES VISUALES.- Los datos del retenedor son enviados a la memoria EPROM, de donde son enviados a los despliegues visuales para poder ser observado el valor visual de los datos.

C A P I T U L O I I I

1000.

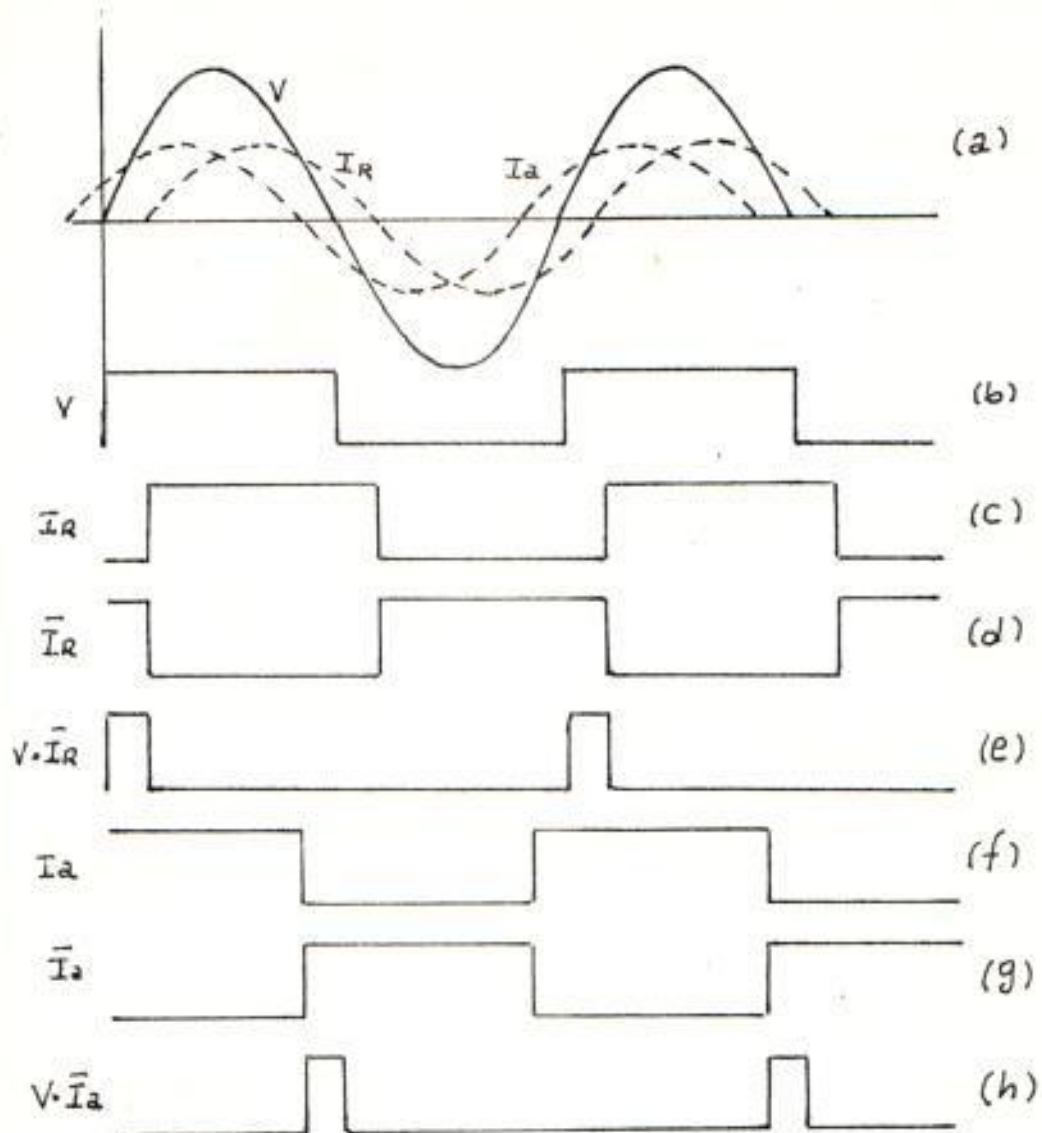
3.1. ANALISIS DE LA SEÑAL.

Supongamos que tenemos la señal de voltaje y corriente a niveles reducidos; es decir, después de pasar los transformadores respectivos en el laboratorio de máquinas para voltaje 220/22 y para corriente 20/20, como se muestra en la fig. 3.1.

La señal de voltaje tiene a la corriente adelantada o retrasada, según la carga a la que esté conectada. fig. (a).

Si vemos la línea de segmentos I_R es la retrasada, asumamos que es ésta la señal a analizar, esta señal es pasada por un amplificador operacional y obtenemos (b) que sólo la parte positiva nos determina el nivel uno lógico.

Con respecto al voltaje, no existe modificación que realizar, ya que es tomado como referencia. Ahora



3.1. DIAGRAMA DE TIEMPO DE LAS SEÑALES V e I .

si nos fijamos en la corriente (c), el defasaje - que existe entre ésta y la señal de voltaje, nos dá información sobre el factor de potencia. Si el sistema es equilibrado y tomamos la señal en las líneas, el ángulo de diferencia será $30^\circ + \theta$. Mas si tomamos las señales en la fase, este ángulo será θ .

Es decir, todo dependerá de donde estén situados - los transformadores de las señales de voltaje y co rrientes, ésto se analizará posteriormente.

Debido a que la señal lógica de corriente si fuera multiplicada nos daría un pulso que viene a ser el ancho donde las dos señales lógicas son uno; y como ésto no nos da información sobre el defasaje, - invertimos la señal de corriente (d), esta señal - si nos da un pulso, al multiplicar las dos señales (e) que si es del ancho de la diferencia de señal de las dos ondas.

Para este caso, este pulso se refiere cuando la co rriente retrasa al voltaje.

En (f) la corriente adelanta al voltaje, también - se procede a invertir la señal y al multiplicar - por (b), obtenemos (h) que también nos da información del defasaje entre las dos señales.

Este simple análisis nos permite tener una idea de que no nos valemos en ningún momento de magnitud - alguna de las señales, sino solamente de la dife - rencia de ángulo existente entre ellos.

3.2. DISEÑO DEL DETECTOR DE VOLTAJE.-

Debido a que la señal de voltaje proviene de un transformador que tiene una relación 1:0.1; significa que nuestro voltaje de entrada va a ser 22V o 11 V, dependiendo si se conecta a la línea o en la fase este transformador.

A esta señal se la detecta por medio de un amplificador operacional 741; porque todo el equipo se lo diseñará en tecnología TTL; el OPAMP 741 lo usamos como un comparador de voltaje.

Para evitar o mejor dicho limitar el nivel de la señal de entrada, ponemos dos diodos invertidos, de tal forma que la señal de entrada queda recortada como se ilustra en la fig. 3.2.

De esta forma la señal de entrada tiene un valor de .6 V como máximo en amplitud; como se desea la parte positiva de la señal sinusoidal. Luego se conecta a la entrada positiva del OPAMP (amplificador operacional); su entrada negativa la enviamos a la tierra del circuito.

El operacional es polarizado con dos fuentes, la u

na de + 5V y la otra de - 5V.

A la salida del comparador, colocamos otro diodo - para asegurarnos de no tener señal negativa, ésto se observa claramente en la fig. 3.2.

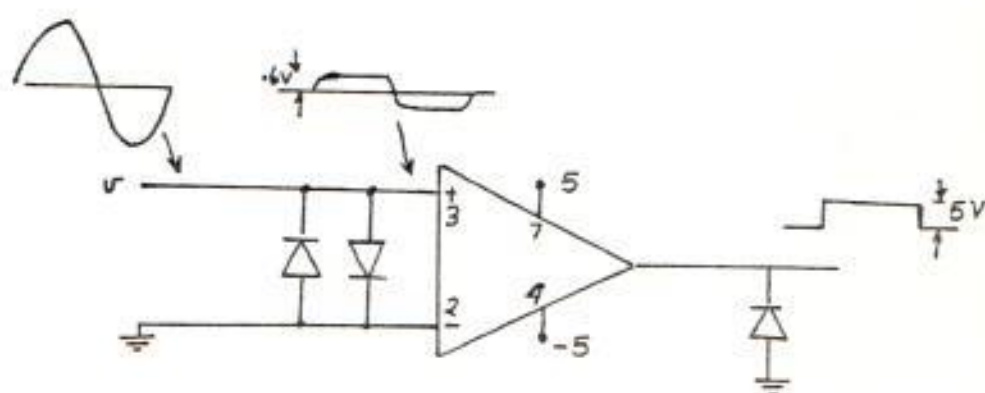


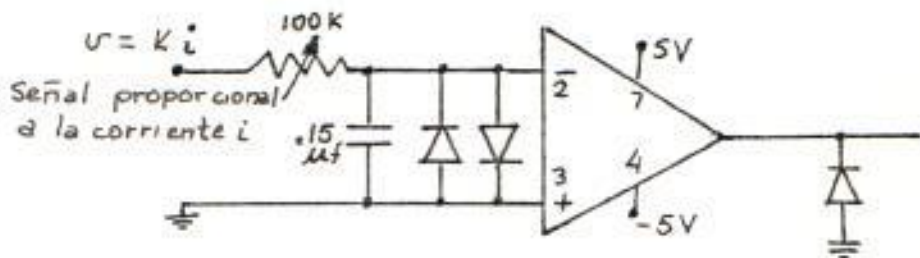
FIG. 3.2. CIRCUITO DETECTOR DE VOLTAJE.

Para esta etapa habrán tres circuitos idénticos, a la fig. 3.2., debido a que cada línea tendrá conectada un transformador y a éstos irá un circuito a continuación.

Las características de los diodos y opamp son dadas en los apéndices.

3.3. DISEÑO DEL DETECTOR DE CORRIENTE.

Este circuito lleva el mismo análisis que el detector de voltaje; su diferencia estriba en las consideraciones que hay que tener cuando va a ser conectado.



3.3. CIRCUITO DETECTOR DE CORRIENTE

Como se ve en la figura 3.3., es similar al circuito de la fig. 3.2. (detector de voltaje); pero además se tiene una red R.C. a la entrada. El objetivo de esta red es para desplazar la señal de corriente en forma tal que se corrigen los 30° eléctricos que existen de defasaje entre el voltaje de línea y el de fase ó la corriente de línea y fase, dependiendo si el sistema está conectado en Y o (sistema equilibrado); analizando la fig. 3.4. y 3.5 la lectura del ángulo de voltaje de línea y co-

rriente de línea; sea el sistema estrella o triángulo será siempre 30° (ver fig. 1.7. y 1.9.) y/o -
(3.4) 3.5)

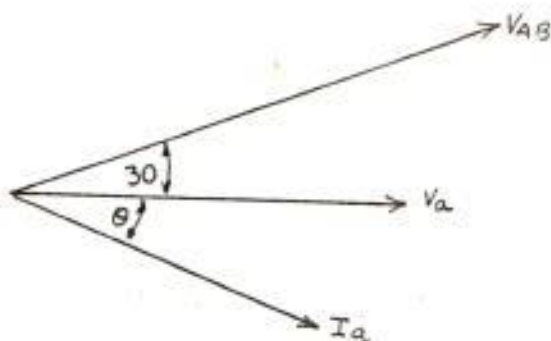


FIG. 3.4. SISTEMA 3 φ EQUILIBRADO EN Y.

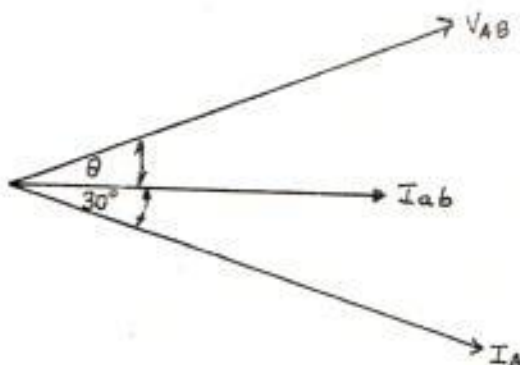


FIG. 3.5. SISTEMA 3 φ Δ EQUILIBRADO.

De esto se deduce que si se adelant I_L en 30° , las señales de I y V tendrán una diferencia de fase igual a θ que es lo que deseamos medir.

Es decir que el problema se simplifica en lo relativo de las dos señales cuando el sistema es trifásico equilibrado.

Cuando el sistema no es equilibrado, tenemos que introducir el transformador de corriente en la fase del sistema y anular el capacitor para que no desplace la señal, porque ya no se necesita dicho desplazamiento.

Como este equipo de medición es para el uso del laboratorio es simple esta modificación, ya que tenemos acceso al equipo que se desea medir el factor de potencia, y en base a éste uso que ha sido diseñado el equipo.

De la misma forma que el detector de voltaje, habrán tres detectores de corriente debido a que es para sistemas trifásicos.

3.4. DISEÑO DEL SECUENCIADOR.

Esta etapa es diseñada en base al uso del temporizador 555 usado como monoestable. En primera instancia todos los monoestables están en nivel cero lógico, es decir a la entrada del primer monoesta-

ble, Para que el primer mono-estable varíe su posición normal de salida, necesitamos que en la entrada haya un pulso de variación de alto a bajo, - para ésto hacemos uso de otro mono-estable el - SN74121 que responde a un pulso del último monoestable 555. Este mono-estable 74121, tiene un tiempo de duración $\tau = .7 RC$, mientras que los monoestables 555 se escogen los valores de RA y CA; según la configuración de las curvas normalizadas para - que su $\tau \approx 5$ seg, que son suficientes para mostrar cada lectura de la línea escogida en ese instante a los despliegues visuales.

En realidad $\tau \approx .7 RC$; nosotros escogimos un valor RA = 100K; CA = 47 uf; para cada monoestable y ésto nos dio un $\tau = 3.29$ seg. aceptables para los objetivos. y para el monoestable 74121; R = 1.5 K - C = 3.3 uf que dio un $\tau = 3.4 \mu$ seg.

Para mayor detalle observar la fig. 3.6.

Durante los primeros 3.29 seg. se encenderá un foquito que estará situado en la parte delantera del aparato y será la fase A, luego éste se apagará y se encenderá otro foquito que será la fase B y de

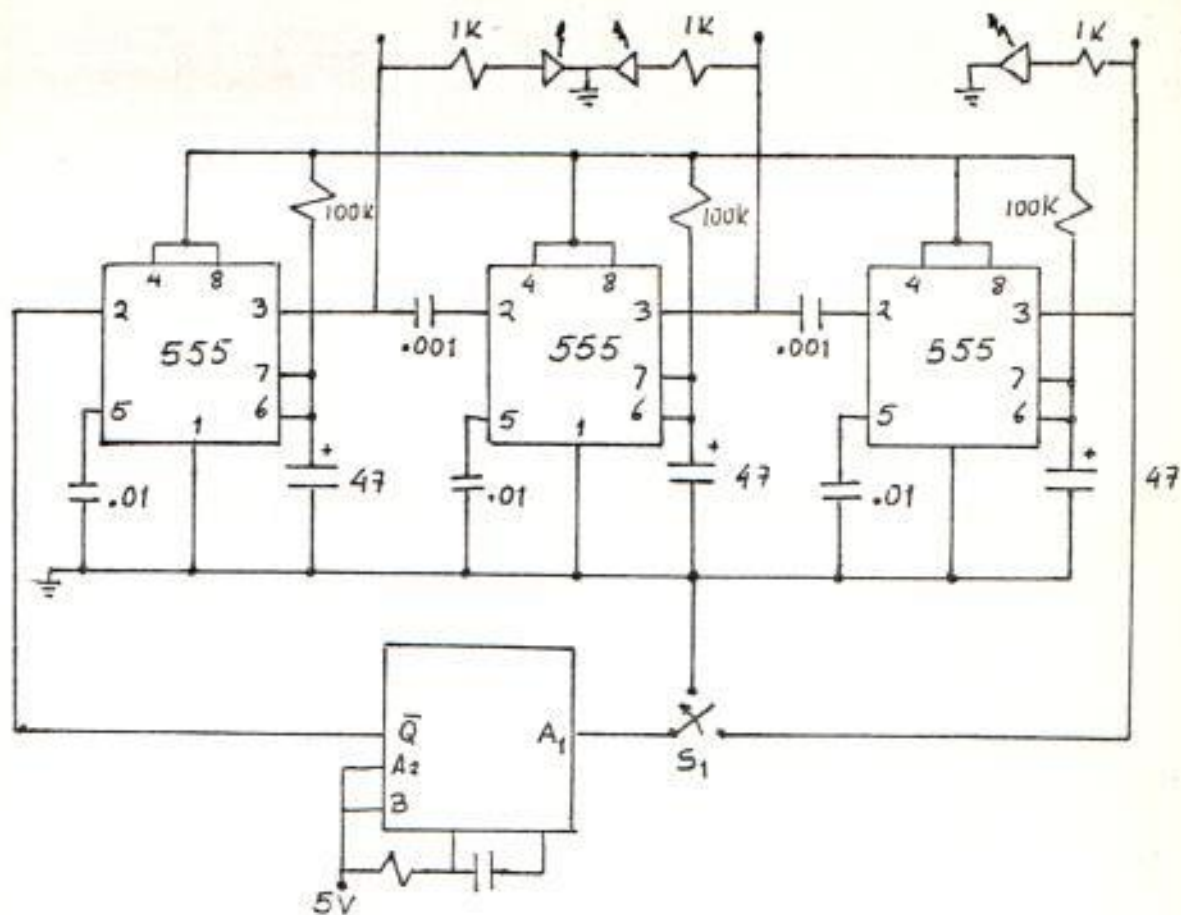


FIG. 3.6. CIRCUITO SECUENCIAL.

igual forma ocurrirá con la fase C; durante cada secuencia; si por ejemplo estuviera prendido el foqui to de la fase B indica que hasta que éste permanez ca encendido se está procesando esta señal.

Para inicializar el sistema secuenciador, nos vale mos de un interruptor manual S₁ que será el que dé la inicialización de la secuencia; es decir, siem-

pre se empezará por la fase A.

3.5. DISEÑO DEL RELOJ.

El circuito de reloj, se lo diseñará en base a la consideración de que cada pulso de éste es equivalente a 0.5 grados eléctricos de tal forma que haciendo uso de una simple proporción tenemos:

$$\begin{array}{rcl} 360^{\circ} & & 1/60 \text{ seg.} \\ 0.5 & & X \end{array}$$

$$x = tc = \frac{0.5}{360(60)} = 23.15 \mu\text{seg.}$$

$$f = 43.2 \text{ KHz.}$$

Pero con estos valores hacemos uso de la curva - mostrada en la fig. 3.7.

Aquí seleccionamos los valores de R_A y R_B y C , para hacer oscilar un temporizador 555 usándolo como biestable, para esto usamos la configuración - mostrada en la fig. 3.8.

Como deseamos pulsos bien definidos, ya que el og

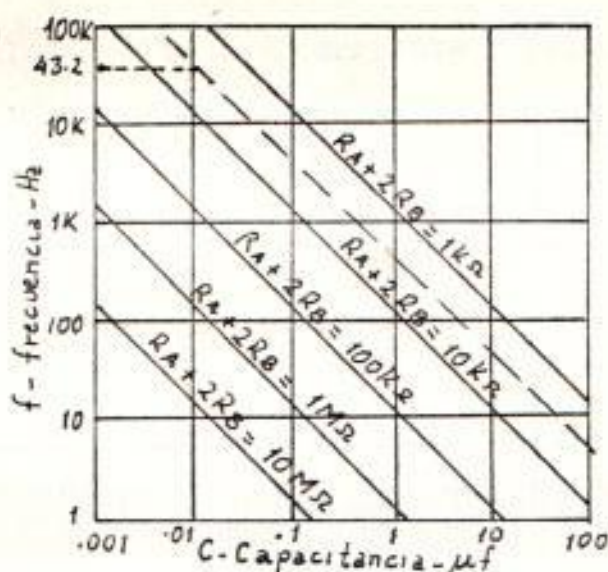


FIG. 3.7. CURVAS DEL 555 COMO BISTABLE

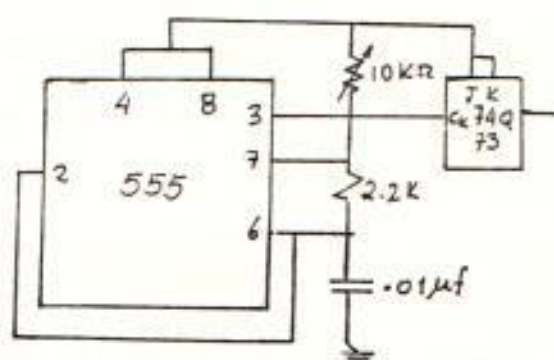


FIG. 3.8. CIRCUITO DEL RELOJ

El generador de onda no da una forma de onda simétrica, ediciona mos un biestable JK mostrado en la figura 3.8, ésto nos da la simetría deseada

3.6. DISEÑO DEL CIRCUITO CONTADOR-RETENEDOR.

El paquete de pulsos proveniente de la señal $V.\bar{I}.CK$

(la señal de voltaje y corriente y reloj) ver fig.

3.9.

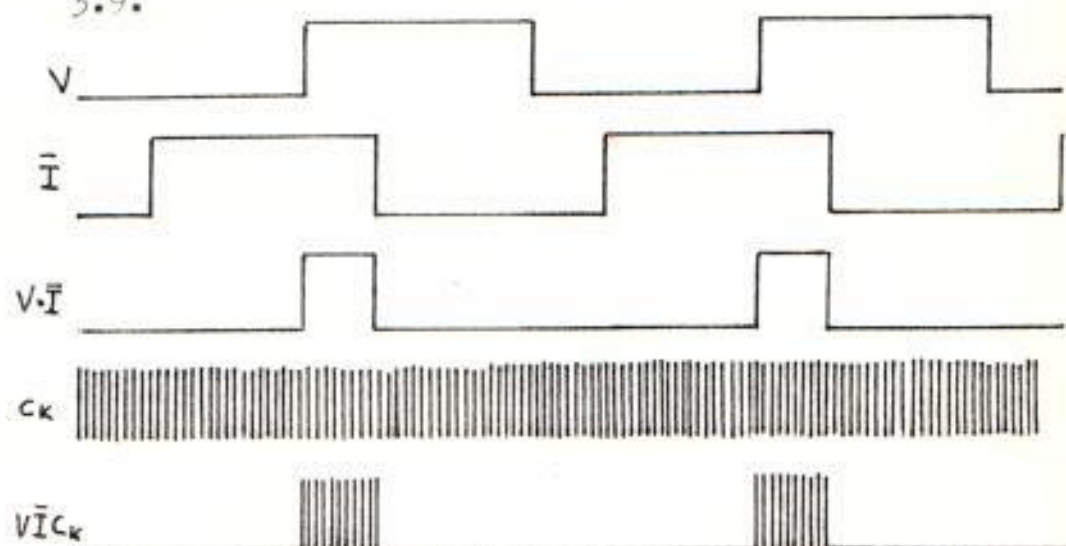


FIG. 3.9. OBTENCIÓN DEL PAQUETE DE PULSOS

Se lo cuenta por medio del uso de contadores CI7490 cuyo contenido son simples biestables JK. (circuito básico) ver apéndice.

Como cada pulso representa medio grado; hacemos un arreglo de 3 contadores para obtener un máximo de - 999 pulsos; cuando en un criterio real son 150 pulsos.

Si fuera un circuito capacitivo puro o inductivo pu ro, tendríamos 180 pulsos.

Como se sabe que en un equipo industrial siempre an

da por encima del $FP = 0.7$, ésto equivale a 45 grados que para nuestro contador representa 90 pulsos - de todas formas hacemos uso de los tres contadores; para tener posibilidad de medir en un experimento de laboratorio un banco RC o RL con un $fp < 0.7$.

El paquete de pulsos contados pasa a un circuito retenedor constituido por integrados 74175.

Los retenedores son activados por una señal de reloj de transición positiva; entonces, el dato que se encuentra a su entrada pasa a la salida y permanece fijo hasta que un nuevo pulso llegue a la patilla CK.

En la fig. 3.10, se muestra el diagrama de tiempo - que muestra la forma de accesar datos a los contadores y retenedores, asimismo la forma de borrar los datos.

Cuando la señal $V\bar{I}$ cae a cero, significa que ha terminado de contar el paquete de pulsos el contador 2. Esta señal en su transición de bajada pasa a través de un monoestable (74121) del cual tomamos la señal negada para accionar otro monoestable que es el encargado de dar la señal para retener los datos.

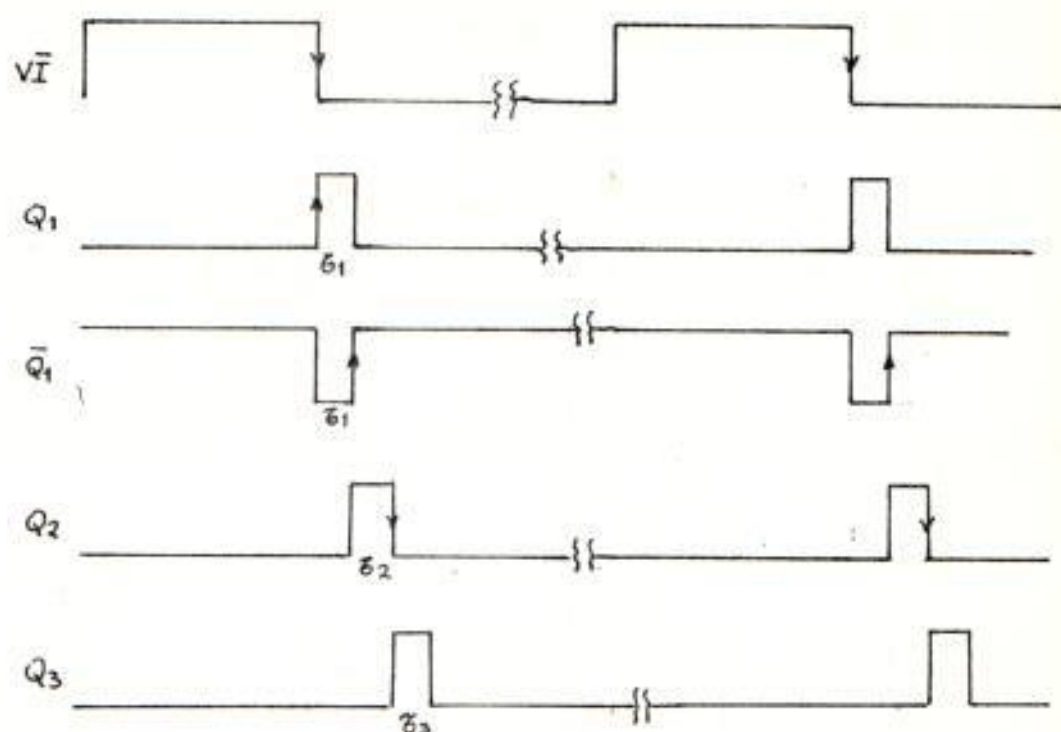


FIG. 3.10 DIAGRAMA DE TIEMPO PARA ACCESO Y BORRADO DE DATOS.

El tiempo de accesibilidad está dado por $\tau = 0.7RC$; Q_2 en nuestro circuito tiene un $\tau \approx 3.4 \mu\text{seg.}$; que es el mínimo necesario para lograr el objetivo de retención; esta misma señal en su transición negativa es la encargada de activar otro monoestable que es el encargado de borrar el dato ya retenido para dar opción otra carga de datos; para ésto hacemos uso de un $\tau \approx 27 \mu\text{seg.}$ (Q_3 en la fig. 3.10.). El monoestable Q_1 nos da un margen de tiempo $\tau \approx 3.4 \mu\text{seg.}$ ase-

gurándonos que la señal ya puede ser retenida; en la fig. 3.11 se muestra la conexión de todo expuesto; junto con la de los contadores y retenedores.

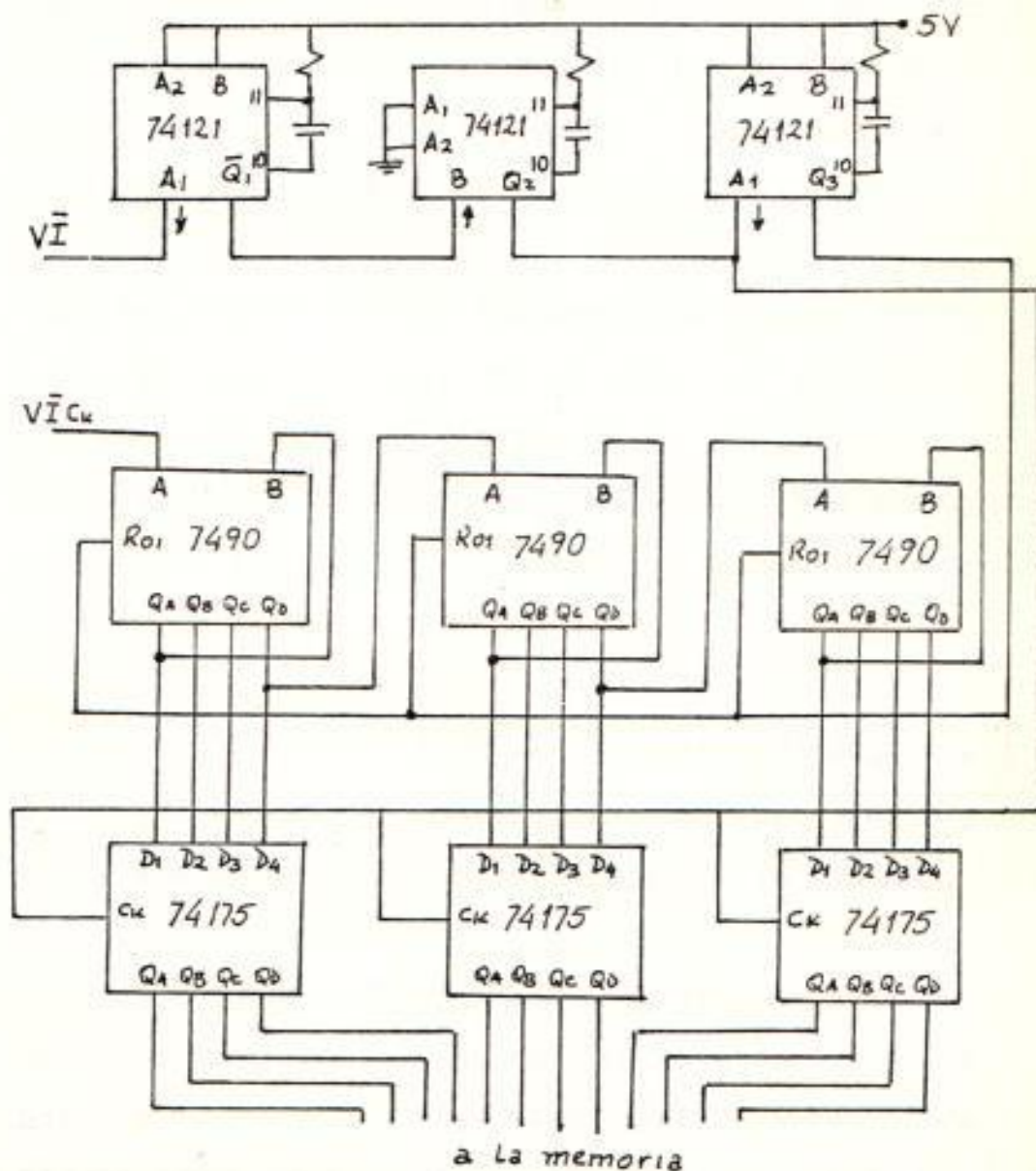


FIG. 3.11. DIAGRAMA CIRCUITAL CONTADOR-RETENEDOR

3.7. DISEÑO DEL CIRCUITO DE MEMORIA.

Esta parte del diseño es la encargada de tomar los datos provenientes del circuito retenedor, para esta parte hemos tomado EPROM 2716, debido a la existencia en nuestro mercado, sus características son mostradas en el apéndice.

Para la programación de las memorias tenemos que hacerlo en compatibilidad con el objetivo principal, es decir que haya una conversión de los pulsos contados a un coseno que es la señal o dato que nos interesa; en la tabla 1 se da la base de la conversión.

Ahora como tenemos 3 EPROMS, uno para cada dígito, éstos van conectados en paralelo; su programación y datos almacenados son especificados en la tabla 2.

Como se puede apreciar en la parte crítica que las dos señales tanto voltaje como corriente, por lo menos hay un pulso que es contado; por esta razón, damos un error de ± 3 pulsos, así vemos que tanto 0° , $\pm 0.5^\circ$; son asignados para nos dé la lectura de 100 que es el factor de potencia de cero grado.

TABLA 1

CODIFICACION DE DATOS DE MEMORIA

| # decimal | x f g a b c d e | # hexadecimal |
|-----------|-------------------|---------------|
| 0 | x 0 1 0 0 0 0 0 0 | 20 |
| 1 | x 1 1 1 0 0 1 1 | 73 |
| 2 | x 1 0 0 0 1 0 0 | 44 |
| 3 | x 1 1 0 0 0 0 1 | 61 |
| 4 | x 0 0 1 0 0 1 1 | 13 |
| 5 | x 0 0 1 1 0 0 1 | 09 |
| 6 | x 0 0 1 1 0 0 0 | 18 |
| 7 | x 1 0 0 0 0 1 1 | 43 |
| 8 | x 0 0 0 0 0 0 0 | 00 |
| 9 | x 0 0 0 0 0 1 1 | 03 |

NOTA: El bit X será 0_L si deseamos que se encienda el segmento que indica el punto decimal, de lo contrario se pone en 1_L o no se conecta.

TABLA 2. DATOS DE LOS EPROM

| GRADO | DIRECCION | 1o. DIGITO | 2o. DIGITO | 3o. DIGITO | FACTOR DE POTENCIA |
|-------|-----------|------------|------------|------------|--------------------|
| 0 | 00 | F3 | 20 | 20 | 1.00 |
| 0.5 | 01 | F3 | 20 | 20 | 1.00 |
| 1.0 | 02 | 03 | 83 | 03 | 0.999 |
| 1.5 | 03 | 03 | 83 | 03 | 0.999 |
| 2.0 | 04 | 03 | 83 | 03 | 0.999 |
| 2.5 | 05 | 03 | 83 | 03 | 0.999 |
| 3.0 | 06 | 03 | 83 | 00 | 0.998 |
| 3.5 | 07 | 03 | 83 | 00 | 0.998 |
| 4.0 | 08 | 03 | 83 | 43 | 0.997 |
| 4.5 | 09 | 03 | 83 | 43 | 0.997 |
| 5.0 | 0A | 03 | 83 | 18 | 0.996 |
| 5.5 | 0B | 03 | 83 | 09 | 0.995 |
| 6.0 | 0C | 03 | 83 | 13 | 0.994 |
| 6.5 | 0D | 03 | 83 | 61 | 0.993 |
| 7.0 | 0E | 03 | 83 | 44 | 0.992 |
| 7.5 | 0F | 03 | 83 | 73 | 0.991 |
| 8.0 | 10 | 03 | 83 | 20 | 0.990 |
| 8.5 | 11 | 03 | 80 | 03 | 0.989 |
| 9.0 | 12 | 03 | 80 | 43 | 0.987 |
| 9.5 | 13 | 03 | 80 | 18 | 0.986 |
| 10.00 | 14 | 03 | 80 | 13 | 0.984 |

| | | | | | |
|-------|----|----|----|----|-------|
| 10.05 | 15 | 03 | 80 | 61 | 0.983 |
| 11.00 | 16 | 03 | 80 | 73 | 0.981 |
| 11.50 | 17 | 03 | C3 | 03 | 0.979 |
| 12.00 | 18 | 03 | C3 | 00 | 0.978 |
| 12.50 | 19 | 03 | C3 | 18 | 0.976 |
| 13.00 | 1A | 03 | C3 | 13 | 0.974 |
| 13.5 | 1B | 03 | C3 | 44 | 0.972 |
| 14.00 | 1C | 03 | C3 | 20 | 0.970 |
| 14.5 | 1D | 03 | 98 | 00 | 0.968 |
| 15.00 | 1E | 03 | 98 | 18 | 0.966 |
| 15.5 | 1F | 03 | 98 | 13 | 0.964 |
| 16.00 | 20 | 03 | 98 | 73 | 0.961 |
| 16.5 | 21 | 03 | 89 | 03 | 0.959 |
| 17.00 | 22 | 03 | 89 | 18 | 0.956 |
| 17.5 | 23 | 03 | 89 | 13 | 0.954 |
| 18.00 | 24 | 03 | 89 | 73 | 0.951 |
| 18.5 | 25 | 03 | 93 | 00 | 0.948 |
| 19.00 | 26 | 03 | 93 | 09 | 0.945 |
| 19.5 | 27 | 03 | 93 | 44 | 0.942 |
| 20.00 | 28 | 03 | 93 | 20 | 0.940 |
| 20.5 | 29 | 03 | E1 | 43 | 0.937 |
| 21.00 | 2A | 03 | E1 | 13 | 0.934 |
| 21.5 | 2B | 03 | E1 | 20 | 0.930 |
| 22.00 | 2C | 03 | C4 | 43 | 0.927 |
| 22.5 | 2D | 03 | C4 | 13 | 0.924 |

| | | | | | |
|-------|----|----|----|----|-------|
| 23.00 | 2E | 03 | C4 | 73 | 0.921 |
| 23.5 | 2F | 03 | F3 | 43 | 0.917 |
| 24.00 | 30 | 03 | F3 | 13 | 0.914 |
| 24.5 | 31 | 03 | F3 | 20 | 0.910 |
| 25.00 | 32 | 03 | A0 | 18 | 0.906 |
| 25.5 | 33 | 03 | A0 | 61 | 0.903 |
| 26.00 | 34 | 00 | 83 | 03 | 0.899 |
| 26.5 | 35 | 00 | 83 | 09 | 0.895 |
| 27.00 | 36 | 00 | 83 | 73 | 0.891 |
| 27.5 | 37 | 00 | 80 | 43 | 0.887 |
| 28.00 | 38 | 00 | 80 | 44 | 0.882 |
| 28.5 | 39 | 00 | C3 | 03 | 0.879 |
| 29.00 | 3A | 00 | C3 | 09 | 0.875 |
| 29.5 | 3B | 00 | C3 | 20 | 0.870 |
| 30.00 | 3C | 00 | 98 | 18 | 0.866 |
| 30.5 | 3D | 00 | 98 | 44 | 0.862 |
| 31.00 | 3E | 00 | 89 | 43 | 0.857 |
| 31.5 | 3F | 00 | 89 | 61 | 0.853 |
| 32.00 | 40 | 00 | 93 | 00 | 0.848 |
| 32.5 | 41 | 00 | 93 | 61 | 0.843 |
| 33.00 | 42 | 00 | E1 | 03 | 0.839 |
| 33.5 | 43 | 00 | E1 | 13 | 0.834 |
| 34.00 | 44 | 00 | C4 | 03 | 0.829 |
| 34.5 | 45 | 00 | C4 | 13 | 0.824 |
| 35.00 | 46 | 00 | F3 | 03 | 0.819 |

| | | | | | |
|-------|----|----|----|----|-------|
| 35.5 | 47 | 00 | F3 | 13 | 0.814 |
| 36.00 | 48 | 00 | A0 | 03 | 0.809 |
| 36.5 | 49 | 00 | A0 | 13 | 0.804 |
| 37.00 | 4A | 43 | 03 | 03 | 0.799 |
| 37.5 | 4B | 43 | 83 | 61 | 0.793 |
| 38.00 | 4C | 43 | 80 | 00 | 0.788 |
| 38.5 | 4D | 43 | 80 | 61 | 0.783 |
| 39.00 | 4E | 43 | 03 | 43 | 0.777 |
| 39.5 | 4F | 43 | 03 | 44 | 0.772 |
| 40.00 | 50 | 43 | 98 | 18 | 0.766 |
| 40.5 | 51 | 43 | 98 | 20 | 0.760 |
| 41.00 | 52 | 43 | 89 | 09 | 0.755 |
| 41.5 | 53 | 43 | 93 | 03 | 0.749 |
| 42.00 | 54 | 43 | 93 | 61 | 0.743 |
| 42.5 | 55 | 43 | 93 | 63 | 0.737 |
| 43.00 | 56 | 43 | 93 | 73 | 0.731 |
| 43.5 | 57 | 43 | C4 | 09 | 0.725 |
| 44.00 | 58 | 43 | F3 | 03 | 0.719 |
| 44.5 | 59 | 43 | F3 | 61 | 0.713 |
| 45.00 | 5A | 43 | A0 | 43 | 0.707 |
| 45.5 | 5B | 43 | A0 | 73 | 0.701 |
| 46.00 | 5C | 18 | 83 | 09 | 0.695 |
| 46.5 | 5D | 18 | 80 | 00 | 0.688 |
| 47.00 | 5E | 18 | 80 | 73 | 0.681 |
| 47.5 | 5F | 18 | 03 | 19 | 0.676 |

| | | | | | |
|-------|----|----|----|----|-------|
| 48.00 | 60 | 18 | 98 | 03 | 0.669 |
| 48.5 | 61 | 18 | 98 | 61 | 0.663 |
| 49.00 | 62 | 18 | 89 | 18 | 0.656 |
| 49.5 | 63 | 18 | 93 | 03 | 0.649 |
| 50.00 | 64 | 18 | 93 | 61 | 0.643 |
| 50.5 | 65 | 18 | E1 | 18 | 0.636 |
| 51.00 | 66 | 18 | C4 | 03 | 0.629 |
| 51.5 | 67 | 18 | C4 | 61 | 0.623 |
| 52.00 | 68 | 18 | F3 | 18 | 0.616 |
| 52.5 | 69 | 18 | A0 | 09 | 0.609 |
| 53.00 | 6A | 18 | A0 | 44 | 0.602 |
| 53.5 | 68 | 09 | 83 | 09 | 0.595 |
| 54.00 | 6C | 09 | 80 | 00 | 0.588 |
| 54.5 | 6D | 09 | 80 | 73 | 0.581 |
| 55.00 | 6E | 09 | C3 | 13 | 0.574 |
| 55.5 | 6F | 09 | 98 | 18 | 0.566 |
| 56.00 | 70 | 09 | 89 | 03 | 0.559 |
| 56.5 | 71 | 09 | 89 | 44 | 0.552 |
| 57.00 | 72 | 09 | 93 | 09 | 0.545 |
| 57.5 | 73 | 09 | E1 | 43 | 0.537 |
| 58.00 | 74 | 09 | E1 | 20 | 0.530 |
| 58.5 | 75 | 09 | C4 | 44 | 0.522 |
| 59.00 | 76 | 09 | F3 | 09 | 0.515 |
| 59.5 | 77 | 09 | A0 | 00 | 0.508 |
| 60.00 | 78 | 09 | A0 | 20 | 0.500 |

| | | | | | |
|-------|----|----|----|----|-------|
| 60.5 | 79 | 13 | 83 | 44 | 0.492 |
| 61.00 | 7A | 13 | 80 | 09 | 0.485 |
| 61.5 | 7B | 13 | C3 | 43 | 0.477 |
| 62.00 | 7C | 13 | 98 | 03 | 0.469 |
| 62.5 | 7D | 13 | 98 | 44 | 0.462 |
| 63.00 | 7E | 13 | 89 | 13 | 0.454 |
| 63.5 | 7F | 13 | 93 | 18 | 0.446 |
| 64.00 | 80 | 13 | E1 | 00 | 0.438 |
| 64.5 | 81 | 13 | E1 | 73 | 0.431 |
| 65.00 | 82 | 13 | C4 | 61 | 0.423 |
| 65.5 | 83 | 13 | F3 | 09 | 0.415 |
| 66.00 | 84 | 13 | A0 | 43 | 0.407 |
| 66.5 | 85 | 61 | 83 | 03 | 0.399 |
| 67.00 | 86 | 61 | 83 | 73 | 0.391 |
| 67.5 | 87 | 61 | 80 | 61 | 0.383 |
| 68.00 | 88 | 61 | C3 | 09 | 0.375 |
| 68.5 | 89 | 61 | 98 | 43 | 0.367 |
| 69.00 | 8A | 61 | 89 | 00 | 0.358 |
| 69.5 | 8B | 61 | 89 | 20 | 0.350 |
| 70.00 | 8C | 61 | 93 | 44 | 0.342 |
| 70.5 | 8D | 61 | E1 | 13 | 0.334 |
| 71.00 | 8E | 61 | C4 | 19 | 0.326 |
| 71.5 | 8F | 61 | F3 | 43 | 0.317 |
| 72.00 | 90 | 61 | A0 | 03 | 0.309 |
| 72.5 | 91 | 61 | A0 | 73 | 0.301 |

| | | | | | |
|-------|----|----|----|----|-------|
| 73.00 | 92 | 44 | 83 | 44 | 0.292 |
| 73.5 | 93 | 44 | 80 | 13 | 0.284 |
| 74.00 | 94 | 44 | C3 | 18 | 0.276 |
| 74.5 | 95 | 44 | 98 | 43 | 0.267 |
| 75.00 | 96 | 44 | 89 | 03 | 0.259 |
| 75.5 | 97 | 44 | 89 | 20 | 0.250 |
| 76.00 | 98 | 44 | 93 | 44 | 0.242 |
| 76.5 | 99 | 44 | E1 | 61 | 0.233 |
| 77.00 | 9A | 44 | C4 | 09 | 0.225 |
| 77.5 | 9B | 44 | A3 | 18 | 0.216 |
| 78.00 | 9C | 44 | A0 | 00 | 0.208 |
| 78.5 | 9D | 73 | 83 | 03 | 0.199 |
| 79.00 | 9E | 73 | 83 | 73 | 0.191 |
| 79.5 | 9F | 73 | 80 | 44 | 0.182 |
| 80.00 | A0 | 73 | C3 | 13 | 0.174 |
| 80.5 | A1 | 73 | 98 | 09 | 0.165 |
| 81.00 | A2 | 73 | 89 | 18 | 0.156 |
| 81.5 | A3 | 73 | 93 | 00 | 0.148 |
| 82.00 | A4 | 73 | E1 | 03 | 0.139 |
| 82.5 | A5 | 73 | E1 | 73 | 0.131 |
| 83.00 | A6 | 73 | C4 | 44 | 0.122 |
| 83.5 | A7 | 73 | F3 | 61 | 0.113 |
| 84.00 | A8 | 73 | 40 | 09 | 0.105 |
| 84.5 | A9 | 20 | 83 | 18 | 0.096 |
| 85.00 | AA | 20 | 80 | 43 | 0.087 |

| | | | | | |
|-------|----|----|----|----|-------|
| 85.5 | AB | 20 | C3 | 00 | 0.078 |
| 86.00 | AC | 20 | C3 | 20 | 0.070 |
| 86.5 | AD | 20 | 98 | 73 | 0.061 |
| 87.00 | AE | 20 | 89 | 44 | 0.052 |
| 87.5 | AF | 20 | 93 | 13 | 0.044 |
| 88.00 | BO | 20 | E1 | 09 | 0.035 |
| 88.5 | B1 | 20 | C4 | 18 | 0.026 |
| 89.00 | B2 | 20 | F3 | 43 | 0.017 |
| 89.5 | B3 | 20 | AO | 00 | 0.008 |
| 90.00 | B4 | 20 | AO | 20 | 0.000 |

3.8. DISEÑO DEL CIRCUITO RECONOCEDOR DE CARGA.

Se sabe que cargas inductivas generan el retraso de corriente con respecto al voltaje y ésto es considerado factor de potencia positivo.

Como el diseño hecho no hace más que sensar la diferencia de fase de dos señales, es necesario pues el diseño de este circuito para saber si la carga que se tiene es inductiva o capacitiva.

Para obtener ésto, nos basamos en hacer uso de la fig. 3.12.

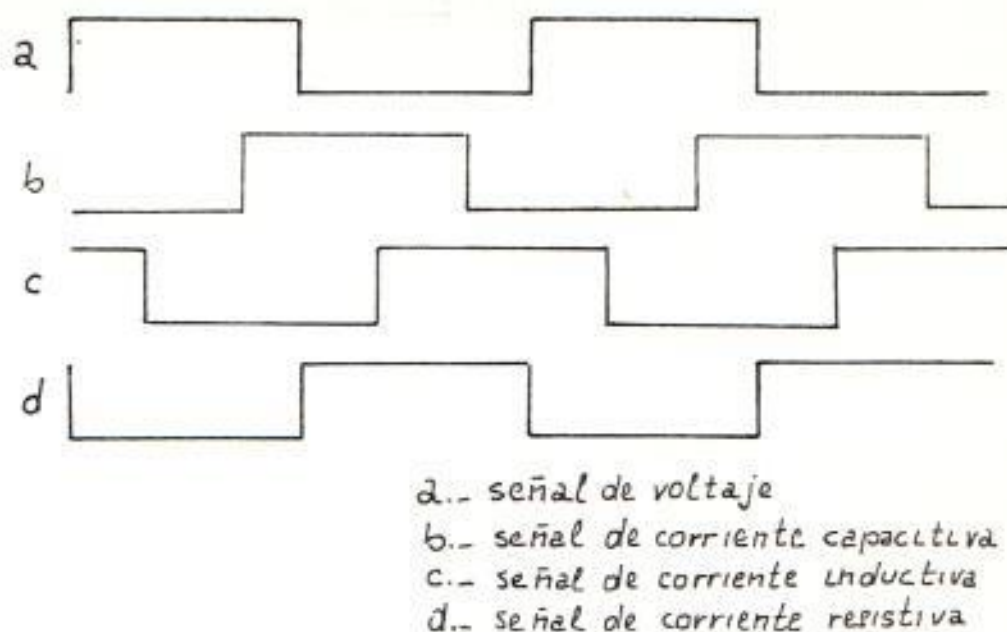


FIG. 3.12. DIAGRAMA DE TIEMPO PARA ANALISIS DE CARGAS CAPACITIVA-INDUCTIVA.

Como la señal de voltaje es la referencia se considera fija; la señal de \bar{I} que es la que va a ser multiplicada por V ; nos da una señal $V\bar{I}$ que bajo las condiciones de carga inductiva siempre el flanco negativo será el mismo que \bar{I} ; mientras que cuando se trata de cargas capacitivas, el flanco negativo de $V\bar{I}$ será dado por V .

Esto nos da el punto de partida para considerar que si se toma este flanco (de voltaje) negativo y hace

mos disparar un monoestable de tal forma que permanezca en 1 lógico por 180° eléctricos, nos encontraremos con que estamos en el flanco positivo del siguiente ciclo; entonces hacemos que este monoestable dispare a otro que tenga una duración de 1 lógico, que sea suficiente para encender un diodo emisor de luz que será el que nos indicará al estar encendido que se trata de una carga capacitiva, esto nos asegurará que si multiplicamos a la señal del segundo monoestable por la señal de voltaje, entonces tendremos una señal igual a la del segundo monoestable.

Cuando se trata de carga inductiva, debido a que el flanco negativo es dado por \bar{I} como todo el tiempo - de los monoestables es de 182 ; al ser multiplicado por V será cero.

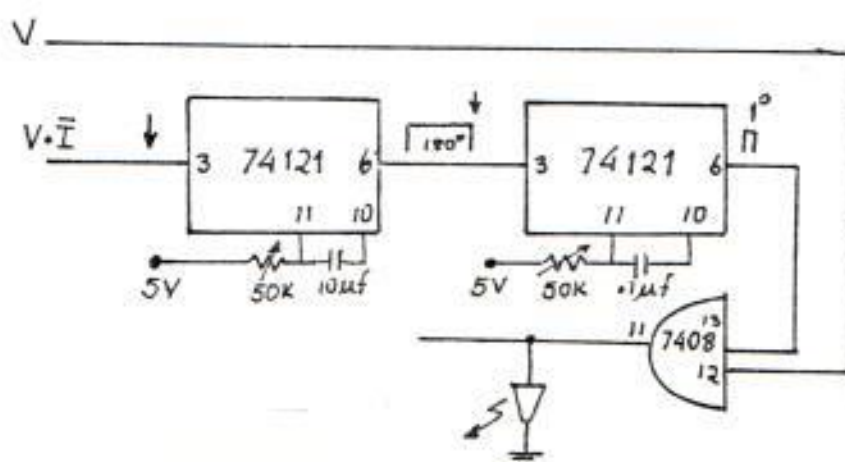


FIG. 3.13. CIRCUITO DETECTOR DE CARGA CAPACITIVA.

Debido a que la parte crítica ocurre cuando tenemos cargas resistivas pura en donde V_I como mínimo dará un pulso si éste es tomado en el flanco positivo de V , no habrá señal en el diodo; pero si es tomado en el flanco negativo habrá señal en el diodo, lo cual nos indica que el f_p es 1, puede o no puede venir acompañado del signo negativo (luz en el diodo emisor).

El período del monoestable, está dado por $0.7 RC$, por tanto, para el primer monoestable que cumpla con 180° se escogió $C = 10 \text{ f}$ y R . un potenciómetro de rango $50K$ y se ajustó por observación en el osciloscopio hasta que $\zeta = 180^\circ$.

En el segundo monoestable, por ser un grado el pulso requerido, se escogió $C = 0.1 \text{ f}$ R del mismo valor $50K$ variable.

En la fig. 3.14., se muestra el diagrama del circuito completo.

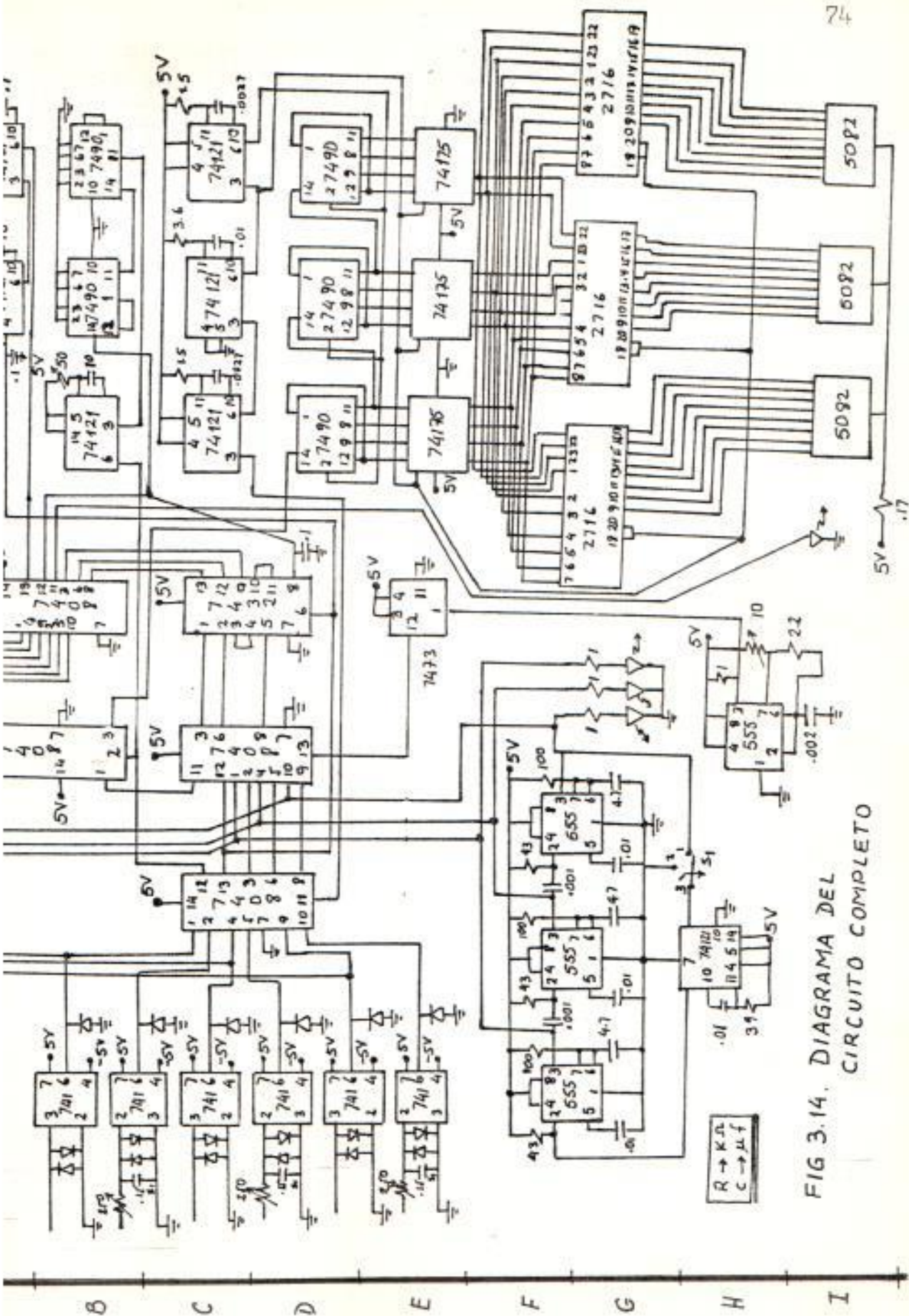


FIG 3.14. DIAGRAMA DEL CIRCUITO COMPLETO

ESTADO DE UTILIZACION DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS.

| | 741 | 555 | 5082 | 7408 | 7432 |
|---|-----|-----|------|------|------|
| A | B2 | F2 | I6 | B4 | D5 |
| B | C2 | F2 | I7 | B5 | |
| C | C2 | F3 | I7 | D4 | |
| D | D2 | H1 | | | |
| E | E2 | | | | |
| F | E2 | | | | |

| | 7474 | 7490 | 74121 | 74175 | 2716 |
|---|------|------|-------|-------|------|
| A | E5 | D6 | A6 | E7 | G5 |
| B | | D7 | A7 | E6 | G6 |
| C | | D7 | B6 | E7 | G8 |
| D | | B6 | C6 | | |
| E | | B7 | C7 | | |
| F | | | | | |
| G | | | H2 | | |

C A P I T U L O I V

CONSTRUCCION.

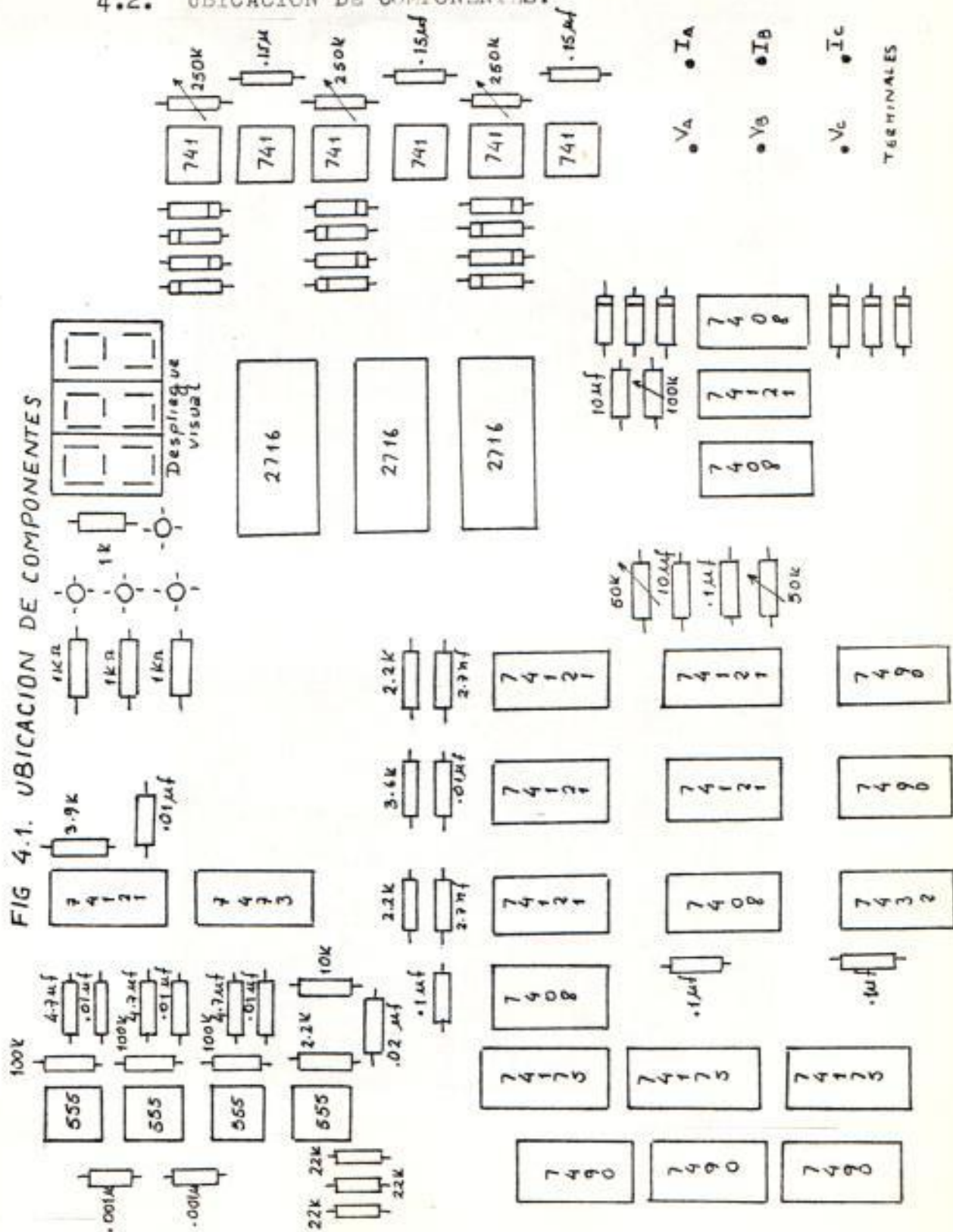
4.1. LISTA DE MATERIALES Y PRESUPUESTO.

| CANTIDAD | DESCRIPCION | NUM. DE CATALOGO | PRECIO UNITARIO (DOLARES AMERICANOS) |
|----------|--------------------------------------|------------------|---|
| 7 | Multivibradores monoestables | 74121 | 0.45 |
| 5 | Contadores de decada | 7490 | 0.49 |
| 3 | Retenedores de 4 bits. | 74175 | 0.59 |
| 4 | Puestas Y (and) | 7408 | 0.29 |
| 3 | Memorias reprogramable de lectura | 2716 | 4.95 |
| 6 | Amplificadores operacionales | 741 | 0.39 |
| 4 | Temporizadores | 555 | 0.35 |
| 3 | Despliegues visuales | 5082 | 0.39 |
| 4 | Diodos emisores de luz | XC22G | 0.1 |
| 1 | Biestable J-K | 7473 | 0.39 |
| 1 | Puertas OR | 7432 | 0.39 |
| 18 | Diodos | 1N458 | 6/1.00 |
| 2 | Capacitores 0.001 | DC 0.001/50 | 0.07 |
| 6 | Capacitores 0.01 f | DC 0.01/50 | 0.07 |

| | | | | |
|-----|---------------------|---|------------|---------------------|
| 3 | Capacitores 0.1 | f | DC 0.1/50 | 0.13 |
| 2 | Capacitores 10 | f | A 10/25 | 0.14 |
| 3 | Capacitores | | DM 2705 | 0.32 |
| 3 | Capacitores 0.150 | f | DC 0.15/50 | 0.45 |
| 3 | Capacitores 4.7 | f | R 4.750 | 0.13 |
| 5 | Resistencias 1 K | | | 0.08 |
| 3 | Resisten 22 K | | | 0.08 |
| 3 | Resisten 100 K | | | 0.08 |
| 1 | Resisten 1.5 K | | | 0.08 |
| 1 | Resisten 1.6 K | | | 0.08 |
| 1 | Resisten 3.6 K | | | 0.08 |
| 1 | Resisten 2.2 K | | | 0.08 |
| 8 | Socket 16 patitas | | | 0.75 |
| 3 | Socket 40 patitas | | | 1.79 |
| 18 | Socket 14 patitas | | | 0.49 |
| 3 | Rollos alambre # 30 | | R JW W | 3.95 |
| 117 | Postes | | T 49 | 5.49 |
| 15 | Postes de prueba | | T 46 | 2.0 |
| 2 | Placas bakelita | | 25H 48 W E | <u>3.35</u> |
| | T O T A L | | | <u><u>80.48</u></u> |

4.2. UBICACION DE COMPONENTES.

FIG 4.1. UBICACION DE COMPONENTES



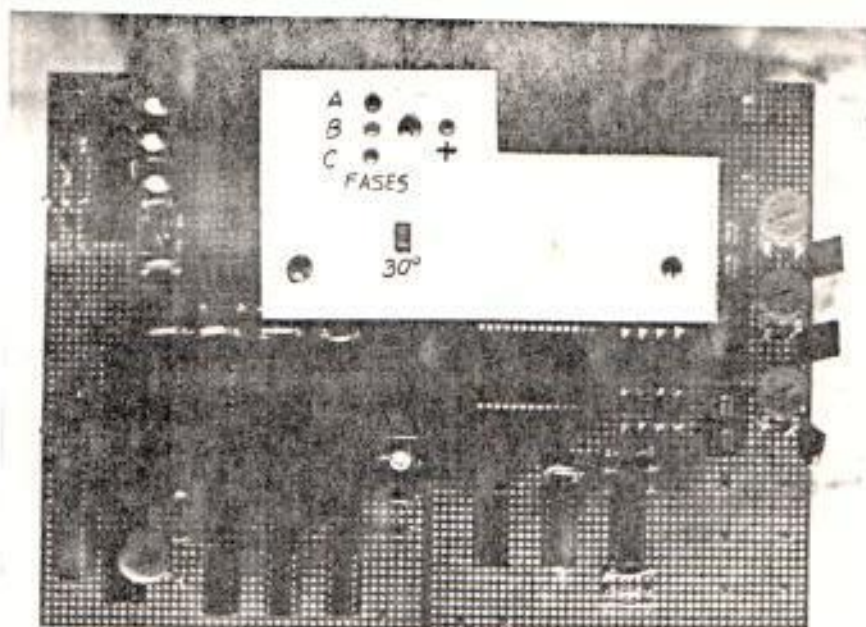


FIG. 4.1.A. FOTOGRAFIA FRONTAL

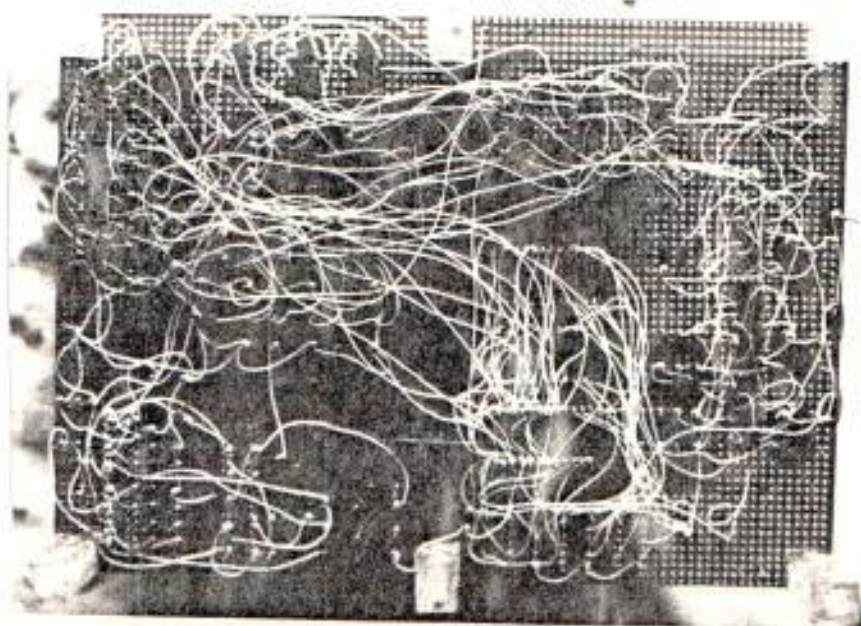


FIG. 4.1.B FOTOGRAFIA POSTERIOR

4.3. FORMA DE MONTAJE EN EL LABORATORIO.

Este equipo ha sido diseñado con propósito de uso en el laboratorio de máquinas; es por este motivo que se darán los pasos a seguir en base a las posibilidades de este laboratorio.

En este laboratorio existen transformadores de 220 V/22 y de 20A a 0.2, pero en forma de voltaje.

Entonces, para poder alimentar al equipo de medición diseñado, se requieren 3 transformadores de voltajes y 3 de corrientes.

Los secundarios de los transformadores van a tener un solo común como se muestra en la fig. 4.2., el otro punto irá al respectivo punto de entrada en el equipo de medición.

En este caso, como las medidas están siendo tomadas fuera de la carga 3ϕ , se conecta el interruptor que activa la red Re para corregir los 30° de diferencia de voltaje o corriente en un sistema trifásico (ver fig. 3.14 del circuito completo).

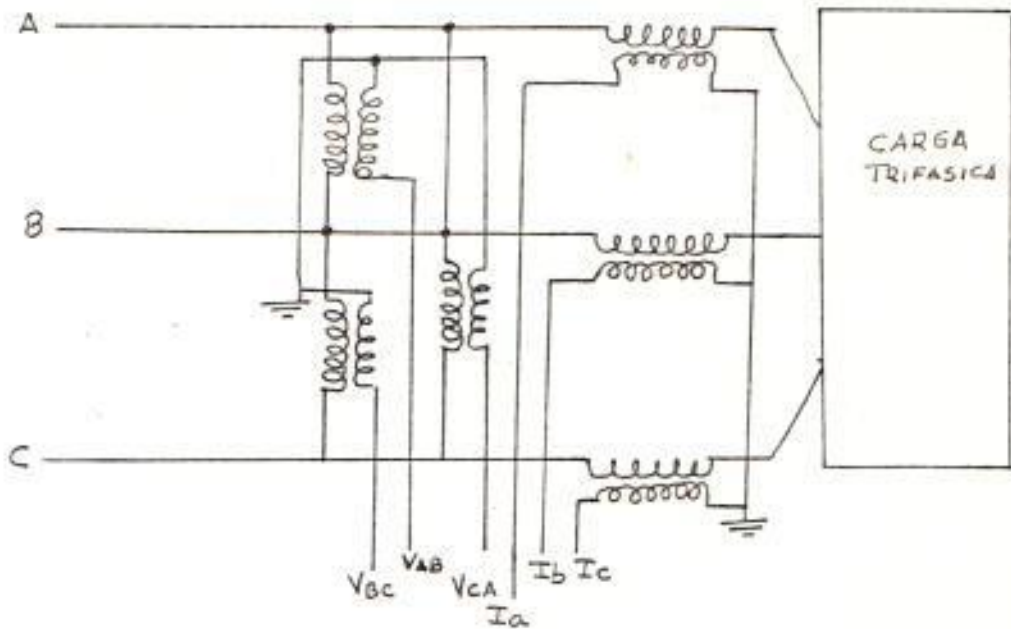


FIG. 4.2. FORMA DE CONECTAR LOS TRANSFORMADORES A UNA CARGA Δ Y Δ equilibrada.

Si se tratara de observar el factor de potencia en un sistema desequilibrado, como en el laboratorio, - se tiene acceso a las cargas por fase, se conectan dichos transformadores en la fase dependiendo del sistema; es decir, si el sistema es Δ los transformadores de voltajes serán conectados en la fase; si por el contrario el sistema es Y , el transformador de corriente es conectado en la fase; en ambos casos el interruptor S_c permanece abierto (desconectado el circuito corrector de 30°).

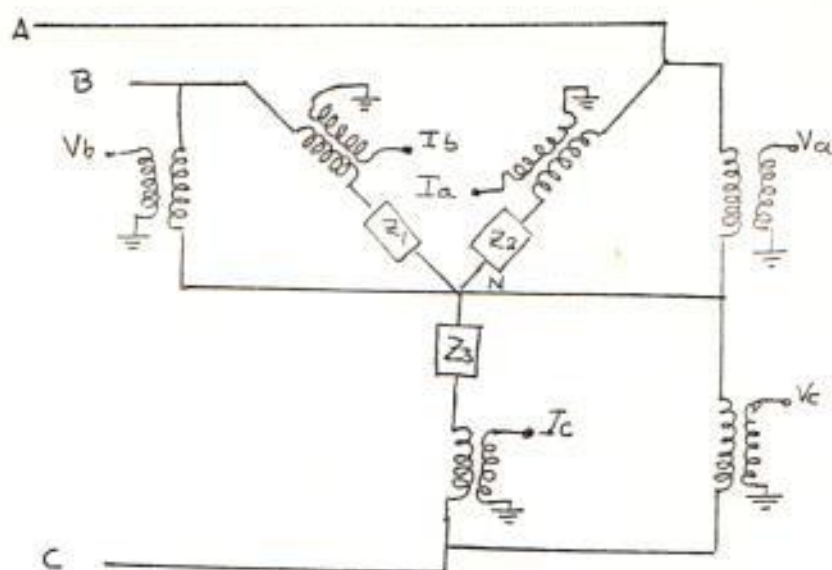


FIG. 4.3. FORMA DE CONEXION DE LOS TRANSFORMADORES EN UN SISTEMA Y DESNEUTRADO.

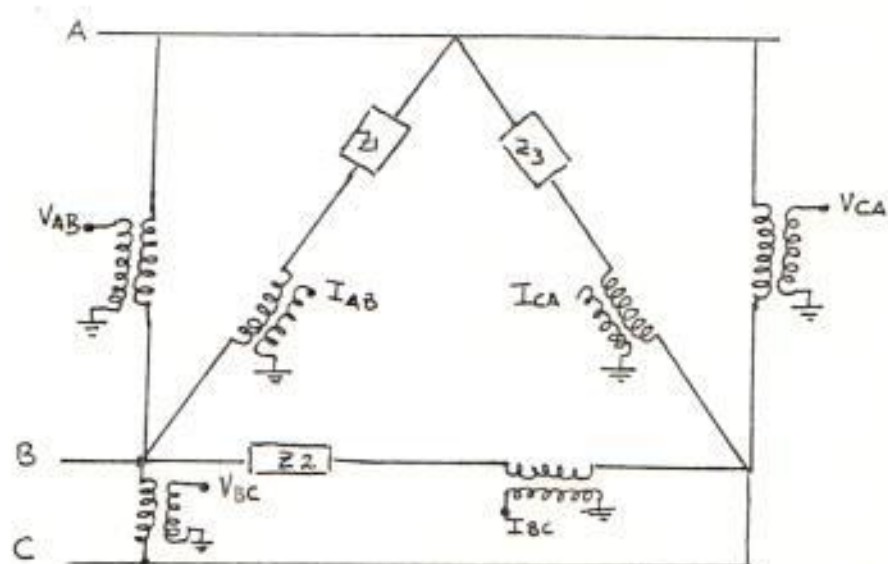


FIG. 4.4. FORMA DE CONEXION DE LOS TRANSFORMADORES EN UN SISTEMA Δ DESNEUTRADO.

Cabe resaltar que debido a que el transformador de voltaje dependiendo de la forma de conexión dará 22V o 11V en el secundario, para protección del equipo en el caso de los 22V, se conecta un circuito divisor de voltaje y disipador al mismo momento. (ver fig. 4.5.).

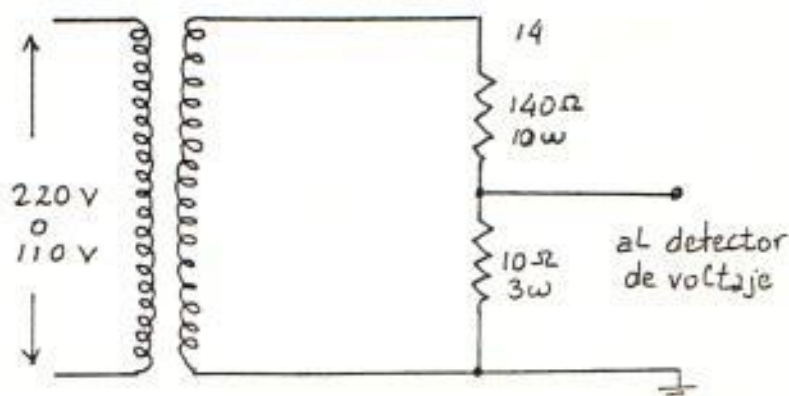


FIG. 4.5. RED ADICIONAL DE ENTRADA.

4.4. RESULTADOS.

Una vez montado el sistema con el medidor conectado, se tuvieron los siguientes resultados, ver tabla 3.

Como se ve en la tabla 3, existe una diferencia del $\cos \theta$ o factor de potencia teórico al medido con el equipo diseñado, esta diferencia es de ± 3 pulsos que son productos de que en el tiempo de alzado de los comparadores eran detectados uno o dos pulsos y

T A B L A 3

| θ (grados) | $\cos \theta$ (teórico) | $\cos \theta$ (medidor) |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0 | 1.00 | 1.00 |
| 5 ^o | 0.996 | 0.994 |
| 10 | 0.984 | 0.986 |
| 15 | 0.966 | 0.959 |
| 20 | 0.940 | 0.934 |
| 25 | 0.906 | 0.903 |
| 30 ^o | 0.866 | 0.875 |
| 35 | 0.819 | 0.809 |
| 40 | 0.766 | 0.749 |
| 45 ^o | 0.707 | 0.719 |

reconocidos como uno lógico, los mismo ocurría en la bajada del mismo, ésto origina uno o dos pulsos de error, que vienen a dar $\pm 1^{\circ}$, ésto no afecta mucho al factor de potencia en sí, ya que es sólo en el caso crítico el último dígito del display el que varía.

En cuanto al detector de signo, tomando en consideración este detalle del tiempo de alzado, nos indica que hay que ajustar muy finamente los 180° para cuan

do detecte un factor de potencia igual a uno, ya que en ese instante se pueden dar dos pulsos consecutivos como se ve en la fig. 4.6.

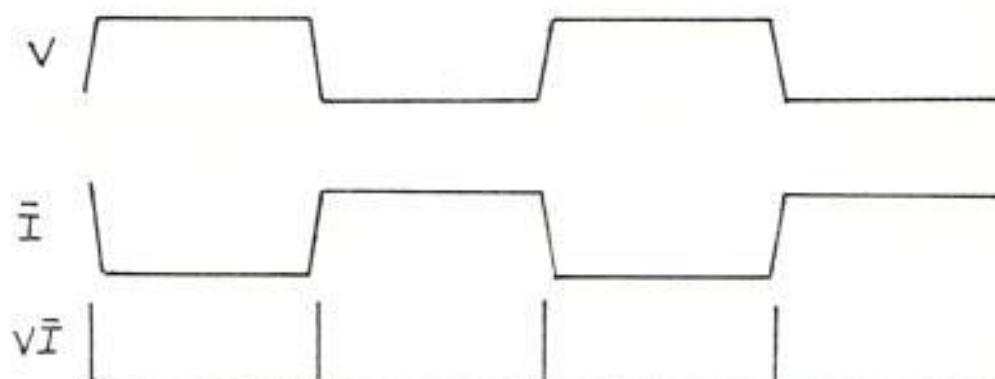


FIG. 4.6. DETECCION DE DOS PULSOS.

Esta doble pulsación hará que el diodo luminoso indicador de carga (signo) se encenderá, pero como sólo entrarán o serán contados uno o dos pulsos y si vemos la tabla 2, se leerá que justo se han grabado en memoria $fp = 1.00$ en el rango de 0° a 0.5° ; y como estos datos sirven para cargas inductivas y capacitivas, el error cometido siguen siendo dos pulsos, es decir 1° ; y es así que cuando ocurre esta doble pulsación $fp = 1.00$ saldrá con el diodo luminoso encendido.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES:

1. Este equipo medidor de factor de potencia, tiene la particularidad de poder hacer medición, tanto a un sistema trifásico equilibrado conectando en la línea los transformadores de laboratorio, como en un sistema trifásico desequilibrado conectando en la fase correspondiente los transformadores.
2. Debido a que en una carga real no se llega a tener $fp = 0^{\circ}$, no fueron grabadas todos los factores de potencia en la memoria, sino sólo hasta 75° ; y ésto fue aceptable para nuestros propósitos, lo cual nos daba $fp = 0.25$ que era dado por los despliegues visuales.
3. Como el medidor era un trabajo experimental prototipo para el laboratorio de máquinas de la Espol; se optó por el sistema de alambre enroscado, para que cualquier error en el equipo en las pruebas fuera posible modificarlo; ésto es, lo básico del alambre enroscado que es usado para experimentos y prototipos.
4. Cuando se trata de medir el factor de potencia trifá-

sico equilibrado, es necesario asegurarse de que al cerrar el interruptor, no se ha modificado los 30° eléctricos a la salida de cada amplificador operacional (detector de corriente) con un osciloscopio.

5. Este equipo tiene como base la señal $V.I$, esto significa que si faltara una de las dos; habrá error en el dato dado por los despliegues visuales.
6. Lo anterior nos indica que no habrá señal para que active los monostables que cargan datos a la memoria ni al contador de pulsos.
7. Los datos de la tabla 4.4 son aceptables con el propósito ya que la conversión de un grado más o menos no afecte más que al tercer dígito que muestra el despliegue visual.
8. Debido a que cada pulso contado es equivalente a 0.5 grado eléctrico, por ejemplo: Si realmente la diferencia de las señales fueran 46.6° , será mostrado en el despliegue el coseno de 47° , si por el contrario la diferencia fuera 46.4 sería mostrado el coseno de 46.5° debido a que aún no sería multiplicado el otro pulso del reloj por la señal $V.I$.

RECOMENDACIONES:

1. Si no se llegara a obtener un buen ajuste en el corrector de 30° eléctricas por un sistema equilibrado, debe conectarse en el modo desequilibrado; es decir, los transformadores en la fase.
2. Para seguridad del equipo, conectar antes de la entrada una red como la mostrada en la fig. 4.5., para que los niveles de voltaje sean más reducidos aún y no se quemen los diodos de los detectores.
3. Debido a que la señal será muestreada cada 99 pulsos de V , pero esta señal es multiplicada por la del secuenciador, podría haber una lectura falsa de dato, esto es corregido en la siguiente muestra.
4. El $fp = 1.00$ puede venir acompañado del encendido del diodo emisor de luz que indica si la carga es capacitiva o inductiva, y esto se debe a que los detectores tienen diferentes tiempos de alzado y bajado, entonces esto no significa que la carga es capacitiva.
5. Este medidor no registra mediciones correctas si tene-

nos un desequilibrio de punto flotante.

6. La señal de pulsos almacenados en los retenedores, pueden ser comparados con otros fijos que sean los deseados y en base a esta diferencia poder activar bancos capacitivos para poder obtener una corrección al factor de potencia.

Esto puede servir como base para otra tesis de corrección automática de factor de potencia.

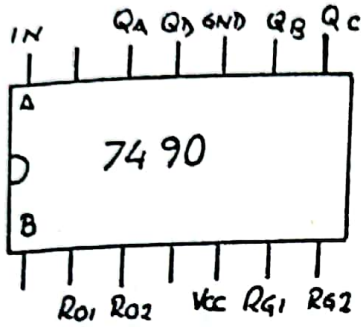
7. Este equipo puede ser utilizado en la industria, con la consideración que a la saliente del mismo se tengan niveles de voltaje y corriente reducidos, es decir, semejantes a los que dan los transformadores del laboratorio de la Máquina de la Papel.

El equipo sería conectado después del banco trifásico, para tener medida el factor de potencia en cada fase de todo el sistema. Además debe ser modificado el tipo de corriente, ya que para nuestro objetivo se usa un transductor existente en el laboratorio de Máquinas que nos da voltaje proporcional a la corriente que fluye por el transformador de corriente.

A P E N D I C E S

A P E N D I C E A

HOJA DE DATO DEL 7490.

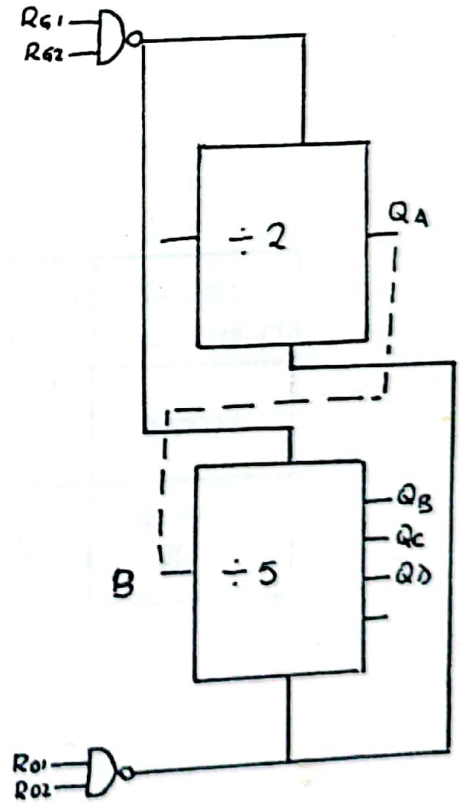


disposición de las bornes

Tabla de función contar/encerrar

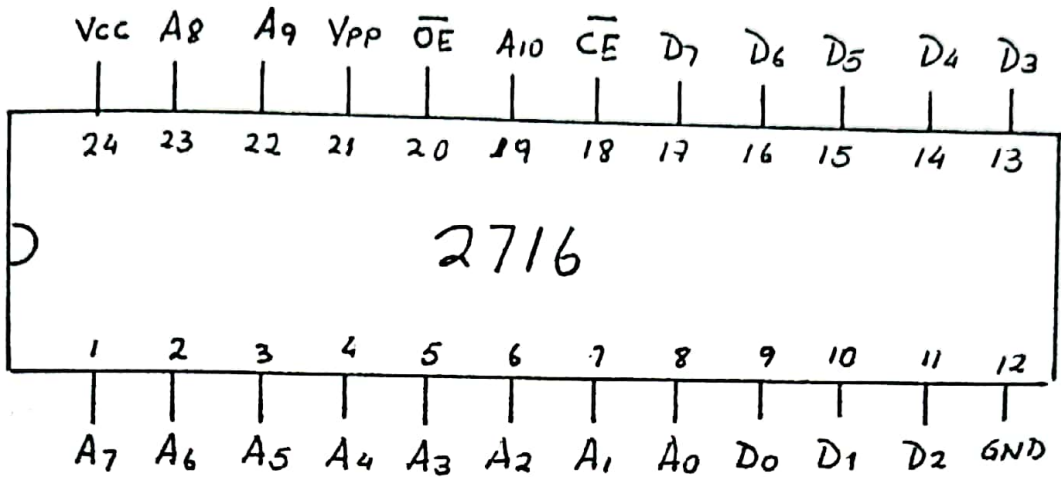
| R_{01} | R_{02} | R_{g1} | R_{g2} | Q_D | Q_C | Q_B | Q_A |
|----------|----------|----------|----------|------------------|-------|-------|-------|
| 1 | 1 | 0 | x | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | x | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| x | x | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| x | 0 | x | 0 | CONDICION normal | | | |
| 0 | x | 0 | x | " | | | |
| x | 0 | 0 | x | " | | | |
| 0 | x | x | 0 | " | | | |

Configuración asimétrica



HOJA DE DATO DEL 2716.

Disposición de los bornes



| Patita MODO | \overline{CE} (18) | \overline{OE} (20) | VPP (21) | Vcc 24 | SALIDA 9-11 13-17 |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|-----------|----------------------|
| LECTURA | V _{IL} | V _{IL} | +5 | +5 | DATOS |
| ALTA IMPEDANCIA | V _{IH} | X | +5 | +5 | ALTA Z |

MODOS DEL 2716

B I B L I O G R A F I A

1. ROBERT A. BARTKOWIAK. ELECTRIC CIRCUITS. P. 340 - 353.,
INTEXT EDUCATIONAL PUBLISHERS 1973.
2. VAN VALKEN BURG. NETWORK ANALYSIS. P. 431 - 432, PREN-
TICE HALL 1974.
3. KURT S. LION. ELEMENTS OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC
INSTRUMENTATION. P. 255 - 265, MCGRAW HILL 1975.
4. EUGENE SCHILLING. ELECTRICAL ENGINEERING. P. 152 - 153,
185 - 188. INTERNATIONAL TEXTBOOK CO. 1958.
5. RALPH SMITH. CIRCUITS DEVICES AND SYSTEMS. P.189 -195,
JOHN WILEY & SONS INC. 1966.
6. ALFONSO ESPINOSA R. DIGITALES III. P. 6 - 11, EPN 1983

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería Eléctrica
BIBLIOTECA

Nº. No. _____