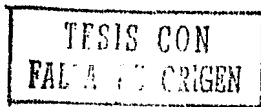


# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

Incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México

## Escuela de Ingeniería

232  
Gen



**DISEÑO DE UN TACOMETRO DIGITAL CON SENSOR**

**DE RELUCTANCIA VARIABLE**

**TESIS PROFESIONAL**

que para obtener el título de:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

presenta:

**EFREN MAISTERRA VELASCO**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E

	Pag.
I.- INTRODUCCION	4
II.- ANALISIS DE ALTERNATIVAS	6
III.- DISEÑO DEL TACOMETRO DIGITAL	9
3.1 - Diseño del Tacómetro Digital	9
3.1.1 -Circuito de Entrada	9
1a - Cálculo de C3	10
1b - Cálculo de R3	11
1c - Cálculo de R5 y R6	11
1d - Cálculo de R2 y R4	12
3.1.2 -Diseño del Display y el Contador	13
3.1.3 -Diseño del Circuito de Control	15
3.1.4 -Cálculo del Temporizador de Cuenta	21
3.1.5 -Diseño del Temporizador Auxiliar	23
3.1.6 -Diseño de Protecciones y Filtros de Entrada	24
3.1.7 -Lista de Partes	25
3.2 - Diseño del Sensor de Reluctancia Variable	28
IV.- CONSTRUCCION DEL TACOMETRO DIGITAL	31
4.1 -Circuitos Impresos	32
4.2 -Chasis	37
4.3 -Caja	40

	Pag.
4.4 -Sensor	42
V.- CONCLUSIONES	43
BIBLIOGRAFIA	45

C A P I T U L O   P R I M E R O

INTRODUCCION

La necesidad de México en producir su propia maquinaria y sus propios instrumentos, sean de medida como de control es cada vez más crítica, ya que los diversos factores que detienen al progreso industrial en México, son muchos y muy variados, de los cuales mencionaremos algunos. Tales como la flotación del peso, el tiempo de entrega de una maquinaria o aparato, la falta de refacciones, la dependencia tecnológica, la falta de personal capacitado en mantenimiento, la dificultad para entender los manuales en mantenimiento (otro idioma), etc.

Todo lo anterior, da una gran necesidad, de tener ingenieros capacitados en diseñar y construir; maquinaria, controles, aparatos de medición, refacciones etc. El diseño y construcción de cualquier aparato o maquinaria, debe competir en economía y calidad con cualquiera hecho fuera de México.

En los diversos procesos de la industria, tales como alimentos, textiles, papel, tratamiento de metal, plásticos etc. La medida de la velocidad rotacional (angular), es uno de los factores más importantes en la producción.

El tacómetro, es el aparato que mide la velocidad rotacional y el cual por estructura física, se puede dividir en - tres ramas, que son:

A).- Mecánico: Constaria de un mecanismo conversor de velocidad angular a desplazamiento angular de una aguja y carátula graduada.

B).- Eléctrico: Constaria de un generador proporcional a la velocidad rotacional, acoplado a la flecha del motor (o juego de engranes), y un galvanómetro.

C).- Electrónico: Constaria de un conversor de velocidad angular a señal electrónica, circuitos lineales y no lineales y un mostrador de velocidad.

## C A P I T U L O   S E G U N D O

ANALISIS DE ALTERNATIVAS

Para analizar las alternativas del tacómetro, se comenzará por visualizar los requisitos que debe tener este mismo, los cuales son:

A).- Bajo Costo: Al tratar de hacer, un aparato muy eficiente, su costo de construcción no se incremente demasiado.

B).- Facilidad de Obtención de Partes: Todas sus partes deben estar en existencia en México.

C).- Precisión Aceptable: Para que la lectura que - de, esté en una realidad de trabajo, es decir, que los datos que el operario reciba, le den una clara muestra de las condiciones del producto, que esta elaborando.

D).- Facilidad de Lectura: El operario tiene muchos aparatos de medición o controles para operar una máquina y - su facilidad de lectura, le da mayor eficiencia en su trabajo.

E).- Facilidad de Reparación: Que sus componentes o piezas dañadas, sean fácil de quitar y reponerlas por unas - nuevas.

F).- Facilidad de Instalación: Al retirarlo para - una revisión o reparación sea sencillo.

	Mecánico	Eléctrico	Electrónico
Facilidad de obtención de partes	NO	SI	SI
Precisión aceptable +/- 5%	SI	SI	SI
Facilidad de lectura	NO	NO	SI
Facilidad de reparación	NO	SI	SI
Facilidad de instalación	SI	SI	SI

Tabla 2.1

Como se ve en la tabla 2.1, el tacómetro mecánico y el eléctrico no cumplen con varios requisitos. Del mecánico; - la facilidad de obtención de partes y la facilidad de reparación es debido a que las piezas de reparación se tienen que elaborar, otro requisito que no se cumple en el mecánico como tampoco en el eléctrico es la facilidad de lectura; ya que se tiene que ver la deflexión de una aguja sobre una carátu la graduada. En conclusión, el Tacómetro digital es la mejor alternativa de los tres, porque cumple con todos los requisitos de la tabla 2.1

Se diseñará un tacómetro electrónico digital, tomando como requisitos más importantes:

- 1).- Sus partes sean encontradas en México.



2).- Sus mediciones sean lo más precisas sin que su --  
costo de construcción sea alto.

## C A P I T U L O   T E R C E R O

### DISEÑO DEL TACOMETRO DIGITAL

#### 3.1.- DISEÑO DEL TACOMETRO DIGITAL.

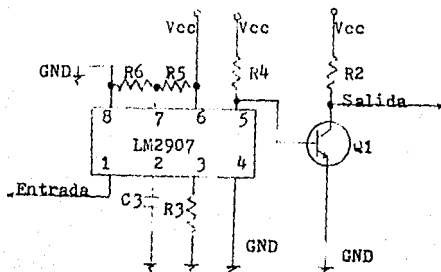
##### 3.1.1.- Circuito de Entrada.

Al tener una señal de voltaje y frecuencia proporcional a la velocidad, se tiene que decidir entre cual de estos dos efectos tomar para medir la velocidad. Se tomará la frecuencia, ya que si se tomara el voltaje, se tendría que convertir a pulsos y daría como resultado un paso - más, debido a que la velocidad se mostrará en dígitos. Otra ventaja sería que no nos importaría la saturación del flujo en el sensor.

Por lo tanto ya que el voltaje es proporcional a la velocidad y no nos importa esta señal, hay que convertirla en una señal de voltaje constante y frecuencia proporcional a la velocidad rotacional (voltaje y corriente TTL compatible).

Un circuito integrado adecuado para el tipo de señal de entrada y el tipo de señal de salida que se requiera es el LM2907 y según aplicaciones del Linear Data Book página 9-74 su constitución física es la que se muestra en la figura 3.1. cuyas características son:

- Entrada de Voltaje Mínimo +/- 20 mili-volts.
- Entrada de Voltaje Máximo +/- 45 volts.
- Frecuencia de Salida dos veces la de Entrada.



1a.- Cálculo de C3.

$$C3 = \frac{2 \times (\text{ancho de pulso de salida}) \times (I \text{ en el pin } 2)}{V_{cc}}$$

donde

$$\text{Ancho de Pulso de Salida} = \frac{1}{(\text{frecuencia máxima de entrada}) \times 2}$$

Si la frecuencia máxima de entrada es de 10,000 ciclos/segundo (15,000 RPM), entonces el ancho de pulso debe ser menor que 0.0001 seg/ciclo.

Tomando la corriente en el pin 2, la mínima posible - según características del LM2907 (140 micro-amperes), que es donde el ancho de pulso es mayor, entonces C3 debe ser menor que 0.0056 micro-farad, por lo tanto C3 real va ha ser igual a 0.005 micro-faradios.

#### 1b.- Cálculo de R3.

Para el cálculo de R3, se tienen que considerar las - corrientes máximas y mínimas en el pin 3 de las característi cas del LM2907. La máxima para que no sobrepase el voltaje\_ de alimentación (Vcc), y la mínima para que sea más alto el\_ voltaje que el de referencia, que podría ser 0.0 volts, pero para evitar ruidos tendrá un voltaje de referencia del 6% de Vcc aproximadamente.

Entonces

$$R3 < \frac{V_{cc}}{(I \text{ en el pin } 3 \text{ máximo})} \qquad R3 > \frac{V_{cc}}{(I \text{ en el pin } 3 \text{ mínimo})}$$

Por lo tanto R3 será mayor que 2,142, pero menor que\_ 20,833 Ohms y el valor real comprendido entre estos dos valo res es de 16,000 Ohms.

#### 1c.- Cálculo de R5 y R6.

R5 y R6 forman un divisor de voltaje para el compara dor de salida dando un voltaje de referencia. Como I bias - máximo (características del Lm2907), que toma en el pin 7 es de 500 nano-amperios, entonces el divisor de voltaje debe te

ner la capacidad de dar esa corriente.

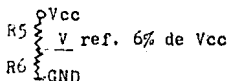


FIGURA 3.2

Si el divisor de voltaje se calcula para tomar una corriente de 30 micro-amperios, que es mayor que 500 nano-amperios, el cálculo de R5 y R6 sería como sigue:

$$R5 = \frac{\text{Voltaje de Referencia}}{I}$$

$$R5 = \frac{0.3 \text{ Voltios}}{30 \text{ Micro-Amperios}}$$

$$R5 = 10,000 \text{ Ohms}$$

$$R6 = 16 \times R5$$

$$R6 = 160,000 \text{ Ohms}$$

#### 1d.- Cálculo de R2 y R4.

Suponiendo que el transistor de salida va a tener 5 cargas TTL y que la resistencia del colector de Q1 (R2), sea de 2,000 Ohms, para saturar el transistor se necesitaría alrededor de 10.5 micro-amperios dando como consecuencia --

que la corriente en la base será de 1.05 micro-amperios, tomando en cuenta que la ganancia en saturación (2N2222), sea aproximadamente de 10, el cálculo de R4 quedaría como sigue:

$$R4 > \frac{V_{cc}}{I \text{ de base de sat.}}$$

$$R4 > 4,761 \text{ Ohms}$$

La resistencia real y más cercana es de 4,700 Ohms, - esto es para que tome menos corriente del colector en el - transistor del LM2907 y su voltaje de saturación no rebase - los 0.7 volts (según características del Linear Data Book en la gráfica de I sink contra V de sat.), para que apague el - transistor Q1.

### 3.1.2.- Diseño del Display y el Contador.

El interface entre los pulsos despues del transistor Q1 y display para mostrar la velocidad rotacional, serán 3 - que son:

- 1.- Contador de Pulsos.
- 2.- Decodificador.
- 3.- Latch.

Un circuito muy apropiado para este caso, ya que contienen los tres en un circuito integrado sería el TIL-306 ó TIL-307, el cual se describirán sus características más importantes que son:

- A.- Almacenar el dato de cuenta.

B.- Poner en cero el contador sin alterar el dato de cuenta almacenado.

C.- Contar en serie o en paralelo.

Contará con cuatro dígitos, dando como resultado la medición de velocidades rotacionales que fluctúan entre

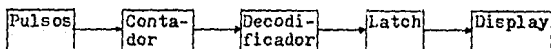


DIAGRAMA 3.1

0 y 9,999, además contará en serie la información de pulsos.

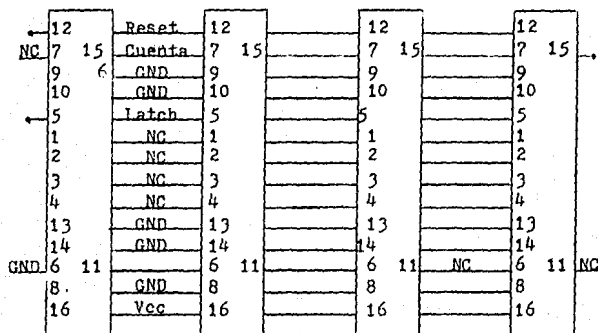


FIGURA 3.4

Según información de las características en "The Op-to-Electronics Data Book for Design Engineers" página 217 la

configuración de los cuatro dígitos será la que se muestra en la figura 3.4.

### 3.1.3.- Diseño del Circuito de Control.

El circuito de control tendrá tres estados los cuales son:

A.- Cuenta.

B.- Restablecer el temporizador de cuenta, disparar el temporizador auxiliar y encadenamiento del contador.

C.- Restablecer el temporizador, el contador y disparar el temporizador de cuenta.

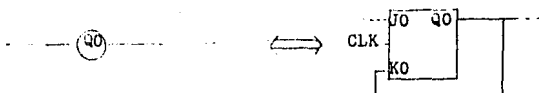
Su funcionamiento sería: Comenzar en el estado "A" - hasta que el temporizador de cuenta termine y el pulso sea igual a 1 (estado lógico alto), pasando al estado "B" el cual se mantendrá hasta que el pulso sea cero ó el temporizador auxiliar termine su tiempo pasando al estado "C" y después de un ciclo de reloj pasa al estado "A" terminando el ciclo de trabajo dando una tabla de verdad en estados legales como la que se muestra en la tabla 3.1.

A <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	W	Z	A	B	C
1	0	0	0	x	1	0	0
1	0	0	1	x	0	1	0
0	1	0	x	0	0	1	0
0	1	0	x	1	0	0	1
0	0	1	x	x	1	0	0

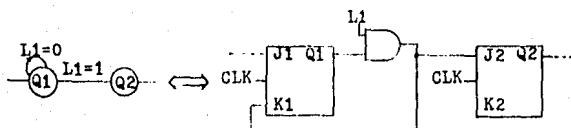
TABLA 3.1



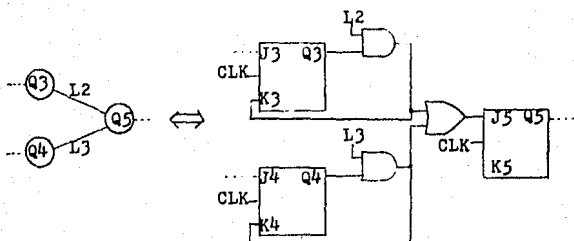
## a.- Transferencia Incondicional



## b.- Transferencia Condicional



## c.- Estado de Suma



## d.- Estado de Salto

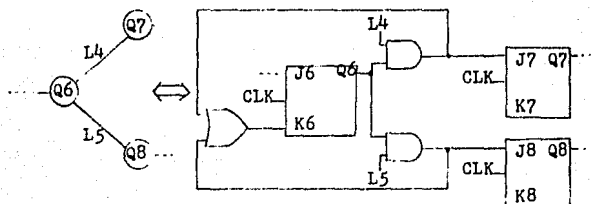


FIGURA 3.5

Un método generalizado de resolver diseños de circuitos secuenciales, pero solamente con un solo estado lógico - alto, como es el de nuestro caso, sería el que da Robert Mauro, en su artículo "Synchronous Sequential-Circuit Design -- A New Angle de Attak" de la revista EDN, del 5 de Noviembre de 1975, que da una nueva simplificación en el diseño. Los diagramas básicos son los que se muestran en la figura 3.5.

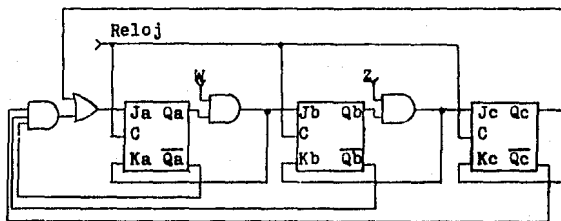


FIGURA 3.6

Para este caso serán dos transferencias condicionales una incondicional y su circuito equivalente, con su restablecimiento del estado invalido (000), al encender el aparato - será como se muestra en la figura 3.6.

Cuando se termine el tiempo de cuenta del contador no seguirá contando los pulsos para que no de un dato erróneo - y para esto se usará un AND de tres condiciones en las cuales entran :

- 1 Pulsos (P).

- 2.- Temporizador de Cuenta (TC).
- 3.- Estado A (E).



FIGURA 3.7

todos los circuitos lógicos se construirán solamente con NANDs y aprovechando que se usó un AND de 3 entradas, se ocuparán los otros dos ANDs que sobraron del circuito integrado.

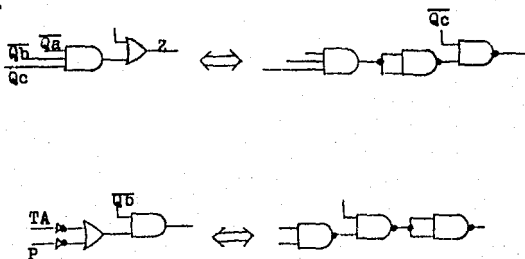


FIGURA 3.8

Debido a que la información en los Flip-Flop tipo J-K no debe cambiar cuando el reloj está en estado lógico alto, se usará un Flip-Flop tipo D después de cada transferencia condicional para que esto no suceda, además los dos relojes van a estar desfasados por medio de un circuito integrado (74121), y la duración de la fase dos, será menor que la de

la fase uno.

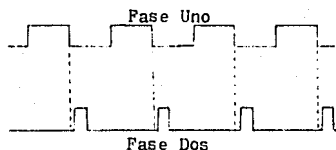


FIGURA 3.9

También el 74121 tiene un tiempo de propagación en su salida que ayuda a que la fase uno cuando esta en estado lógico alto, la fase dos nunca lo esté. El disparo del 74121 se hará cuando la fase uno cambie de un estado lógico alto a bajo y su configuración es como la que se muestra en la fig.

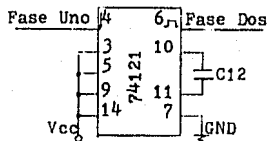


FIGURA 3.10

Para generar la fase uno se usará un NAND Schmitt-trigger conectado a un capacitor y una resistencia\*.

\* The TTL Data Book Pag. 101.

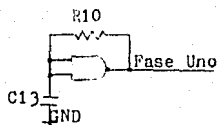


FIGURA 3.11

donde

$$t1 = -R10 \times C12 \times \text{LN} \frac{V_{cc} - V_{c1}}{V_{cc} - V_{o1}}$$

$$T2 = -R10 \times C12 \times \text{LN} \frac{V_{c2}}{V_{o2}}$$

entonces

$$C12 = \frac{t1 + t2}{R10 \times \text{LN} \frac{V_{cc} - V_{c1}}{V_{cc} - V_{o1}} + \text{LN} \frac{V_{c2}}{V_{o2}}}$$

t1 = Tiempo de carga del capacitor.

Vc1 = Valor del voltaje en el capacitor cuando cambia de 0 a 1.

Vo1 = Valor inicial del voltaje en el capacitor cuando se -- carga.

t2 = Tiempo de descarga en el capacitor.

Vc2 = Valor del voltaje en el capacitor cuando cambia de 0 a 1.

Vo2 = Valor del voltaje inicial en el capacitor cuando se --

Si  $t_1 + t_2$  es de 200 micro-segundos (10,000 RPM), R10 es de 390 Ohms, además por las características del schmitt-trigger (74132),  $V_{c1}$  y  $V_{o2}$  es igual a 1.6 volts,  $V_{o1}$  y  $V_{c2}$  es igual a 0.8 volts, donde C12 debe ser menor que 0.567 micro-faradios, por lo tanto el valor real de C12 será de 0.47 micro-faradios.

### 3.1.4.- Cálculo del Temporizador de Cuenta.

Para calcular el tiempo base de cuenta se partirá de que el motor va a determinado RPM y esto debe ser equivalente a pulsos por seg.

donde

$$K = \frac{W}{30} \frac{\text{Pulsos}}{\text{Segundos}}$$

entonces

$$\text{Cuenta} = K \times T$$

K = Constante de conversión.

T = Tiempo de cuenta.

W = Número de dientes por revolución.

Si W es igual a 20 dientes por revolución, por lo tanto el tiempo de cuenta debe ser igual a 1.5 segundos.

El temporizador será un LM555 y usando información de aplicaciones del "Linear Data Book" en operación monostable.

El voltaje se incrementará exponencialmente siendo el periodo  $T = 1.1 \times R_a \times C$ , esto es cuando el voltaje en la frontera sea igual a  $2/3$  de  $V_{cc}$ , entonces el comparador restablece el Flip-Flop y drena la corriente descargando el capacitor y la salida vuelve a estado bajo.

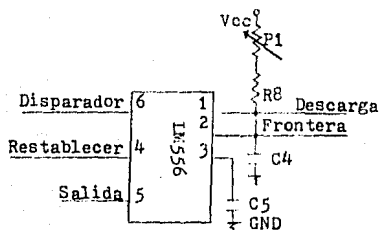


FIGURA 3.12

Se usará 0.47 micro-faradios en  $C_4$ , porque entre más bajo sea el valor de  $C_4$  sin que  $R_8$  sea demasiado grande, menor tiempo de descarga se necesita, además se escogió primero el condensador por haber menos variedad que en las resistencias, por lo tanto el valor de  $R_8$  debe ser igual a 2.9 mega-ohms.

Las resistencias tienen una tolerancia de más o menos 10%, debido a esta circunstancia, la resistencia real debe ser menor que el valor estimado, por lo tanto se usará una resistencia de 2.7 mega-ohms en serie con un potenciómetro -

de 500,000 Ohms.

### 3.1.5.- Diseño del Temporizador Auxiliar.

El temporizador auxiliar sirve cuando el motor esta parado deje dar el ciclo completo al circuito secuencial (no hay pulsos), por lo tanto el tiempo debe ser mayor que el de cuenta y será aproximadamente de 4.0 segundos.

Si C6 es de 1.0 micro-faradios, da como resultado que la resistencia debe ser igual a 3.6 mega-ohms, por lo tanto R9 será igual a 3.3 mega-ohms.

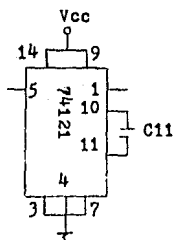


FIGURA 3.13

Se disparará el temporizador auxiliar en el estado B del circuito de control, pero el disparo debe durar menos -- que el tiempo de cuenta, ya que si no fuera así la salida no volvería a su estado bajo, por esta causa se usará un 74121 como se muestra en la figura 3.13 y aprovechando esta circuancia también se encadenará la cuenta.



### 3.1.6.- Diseño de Protecciones y Filtros de Entrada.

Para evitar ruidos se filtrará la señal del sensor -- por medio de un filtro pasa bajos, además se protegerá la en trada del LM2907 con dos diodos zener encontrados entre el más y menos, para eliminar la competencia del voltaje directo se usará un condensador de 1.0 micro-faradios (C1), entre el LM2907 y la señal del sensor, la configuración del circuito\_ es tal como se muestra en la figura.

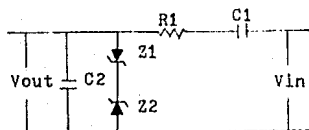


FIGURA 3.14

$$E_{in}(s) = I(s) \frac{1 + sCR}{sC}$$

$$E_o(s) = I(s) \frac{1}{sC}$$

$$G(s) = \frac{1}{1 + sCR}$$

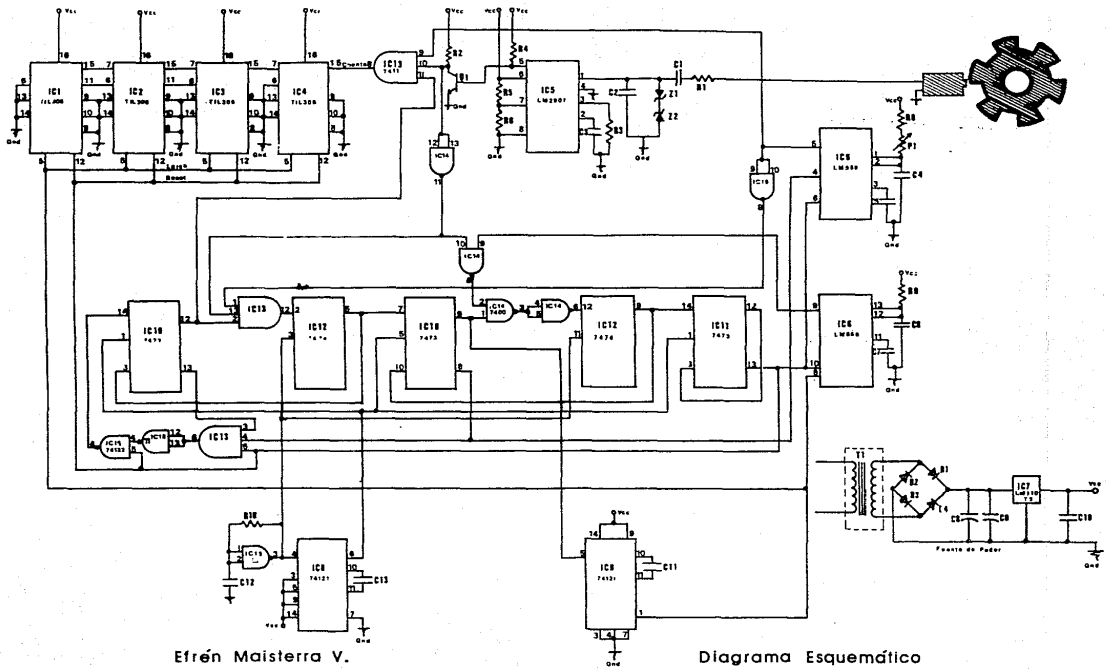
$$T = CR \text{ (ecuación 3.1)}$$

Si la frecuencia de corte es de 5,000 ciclos/seg., -- (antes del LM2907), que equivale en velocidad rotacional a \_ 15,000 RPM y es igual a 0.1 micro-faradios aplicando la ecu ción 3.1 resulta de un valor de 2,000 Ohms.

## 3.1.7.- Lista de Partes

Item #	Parte #	Descripción o Valor
C1	Capacitor	1.0 micro-farad
C2	Capacitor	0.1 micro-farads
C3	Capacitor	0.005 micro-farads
C4	Capacitor	0.47 micro-farads
C5	Capacitor	0.1 micro-farads
C6	Capacitor	1.0 micro-farad
C7	Capacitor	0.1 micro-farads
C8-9	Capacitor	2,200 micro-farads
C10	Capacitor	1.0 micro-farad
C11	Capacitor	80 pico-farads
C12	Capacitor	0.47 micro-farads
C13	Capacitor	80 pico-farads
C14	Capacitor	0.12 micro-farads
C15-22	Capacitor	0.1 micro-farads
D1-4	1N4007	Diodo de un ampere
IC1-4	TIL306	Display
IC5	LM2907	Convertidor de Frecuencia a Voltaje
IC6	LM556	Temporizador
IC7	LM340-T5	Regulador de Voltaje de 5 volts
IC8-9	74121	Multivibrador Monoestable (TTL)
IC10-11	7473	Flip-Flop tipo J-K (TTL)
IC12	7473	Flip-Flop tipo D (TTL)
IC13	7411	AND de 3 Entradas (TTL)

Item #	Parte #	Descripción o Valor
IC14	7400	NAND de 2 Entradas (TTL)
IC15	74132	NAND de 2 Entradas Schmitt-Trigger
Q1	2N2222	Transistor
R1-2	Resistencia	2,000 ohms, 1/4 de Watt
R3	Resistencia	16,000 ohms, 1/4 de Watt
R4	Resistencia	4,700 ohms, 1/4 de Watt
R5	Resistencia	10,000 ohms, 1/4 de Watt
R6	Resistencia	160,000 ohms, 1/4 de Watt
R7	Resistencia	2,000 ohms, 1/4 de Watt
R8	Resistencia	2.7 mega-ohms, 1/4 de Watt
R9	resistencia	3.3 mega-ohms, 1/4 de Watt
T1	Transformador	125-9 volts, 500 mili-amperes
Z1-2	SZ0402	Diodo Zener, 3.6 volts, 1 W.



## 3.2.- DISEÑO DEL SENSOR DEL RELUCTANCIA VARIABLE

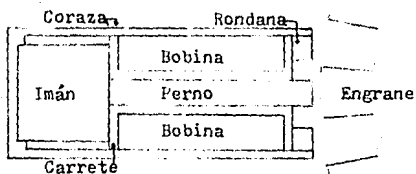


FIGURA 3.15

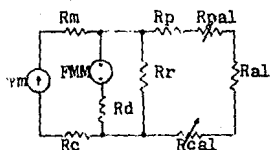


FIGURA 3.16

$\psi M$  = Flujo del Imán.

$NI$  = FMM de la Bobina.

$R_m$  = Reluctancia del Imán.

$R_d$  = Reluctancia de Dispersión.

$R_r$  = Reluctancia de la Rondana.

$R_c$  = Reluctancia de la Coraza.

$R_{al}$  = Reluctancia del Engrane.

$R_p$  = Reluctancia del Perno.

$R_{pal}$  = Reluctancia del Aire entre el Perno y el Engrane.

$R_{cal}$  = Reluctancia del Aire entre la Coraza y el Engrane.

Debido a que el voltaje mínimo necesario es de 20 milivolts y su potencia requerida es muy pequeña, se pueden despreciar alguna reluctancia y la FMM para simplificación de cálculo del número de vueltas necesarias en la bobina, el diagrama resultante es como el que se muestra en la figura 3.17.

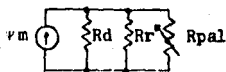


FIGURA 3.17

Quedando las reluctancias con respecto al tiempo como se muestra en la tabla 3.2.

$\Delta T$	$P_{pal}$	$R_d$	$R_p$	$R_T$	$\Psi_1$
0.00X	$\infty$	0.1096	0.5530	0.0915	3320
0.25X	1.6489	0.1096	0.5530	0.0868	3160
0.50X	0.6459	0.1096	0.5530	0.0801	2920
0.75X	0.3991	0.1096	0.5530	0.0745	2680
1.00X	0.1266	0.1096	0.5530	0.0531	1920
1.25X	0.1266	0.1096	0.5530	0.0531	1920
1.50X	0.1266	0.1096	0.5530	0.0531	1920
1.75X	0.3991	0.1096	0.5530	0.0745	2680
2.00X	0.6459	0.1096	0.5530	0.0801	2920
2.25X	0.6489	0.1096	0.5530	0.0868	3160
2.50X	$\infty$	0.1096	0.5530	0.0915	3320
2.75X	$\infty$	0.1096	0.5530	0.0915	3320
3.00X	$\infty$	0.1096	0.5530	0.0915	3320

T = Segundos.

R = Amp-Vuelta/linea.

 $\Psi$  = lineas.

TABLA 3.2

Por facilidad de cálculo suponemos que el imán nos da un flujo constante de 4,000 líneas, por lo tanto el flujo de dispersión con las diferentes reluctancias queda como la que se muestra en la tabla 3.2, además ya que se requiere de un

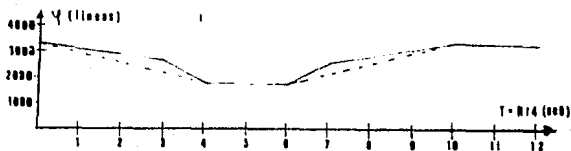


FIGURA 3.18

voltaje generado bajo, la función discontinua se aproximará a una función senoidal de amplitud de  $1,400 R \times 10^{-8}$  Webers/segundo y de frecuencia de  $2 \times \text{Pi} \times R/3$ .

R = Velocidad Rotacional en RPM del Motor.

El número de vueltas en la bobina quedaría descrita por la ecuación 3.2, donde  $V_g = 20$  mili-volts,  $D\phi/Dt = 1,400$  y  $R = 1$ .

$$N = \frac{V_g \times 2}{D\phi/Dt} \quad (\text{ecuación 3.2})$$

$$N = 2,014 \text{ Vueltas}$$

C A P I T U L O   C U A R T O  
C O N S T R U C C I O N   D E L   T A C O M E T R O   D I G I T A L



4.1.- Circuitos Impresos.

Tabla A (reverso)

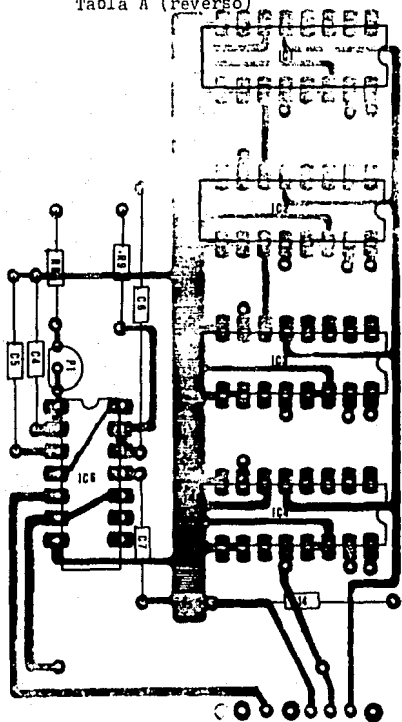


FIGURA 4.1

Tabla A (anverso)

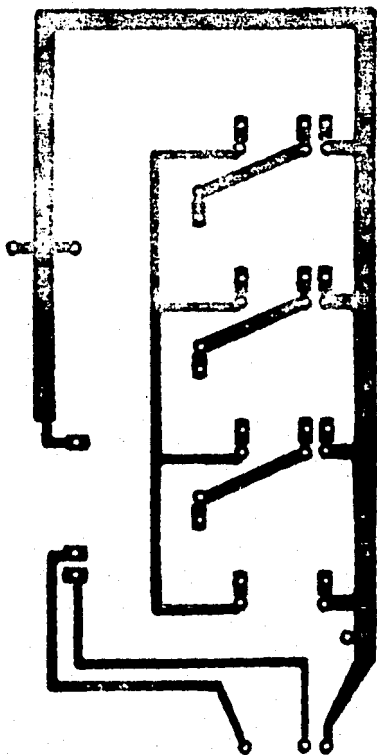
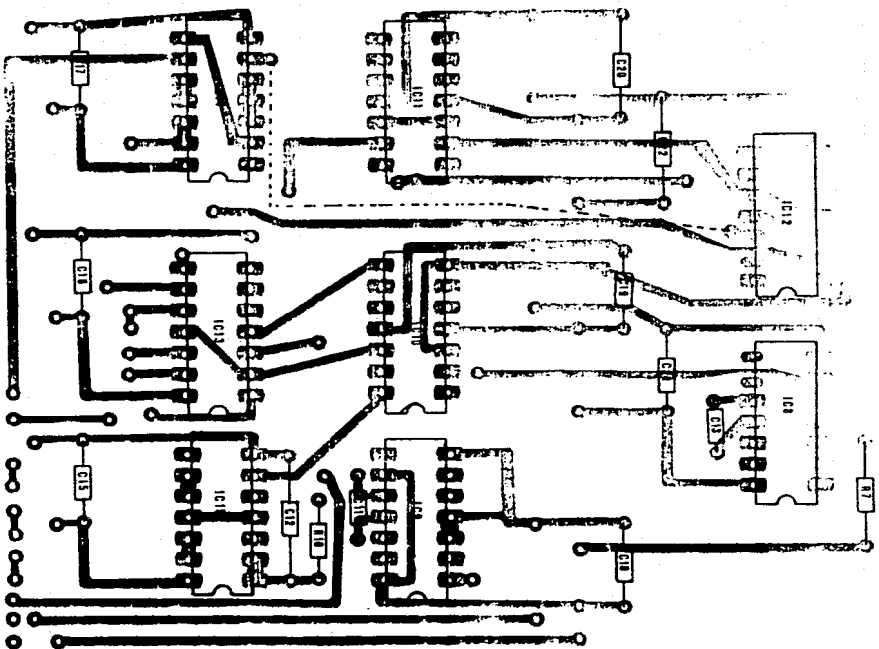


FIGURA 4.2



Tablă B (reverso)

FIGURA 4.3

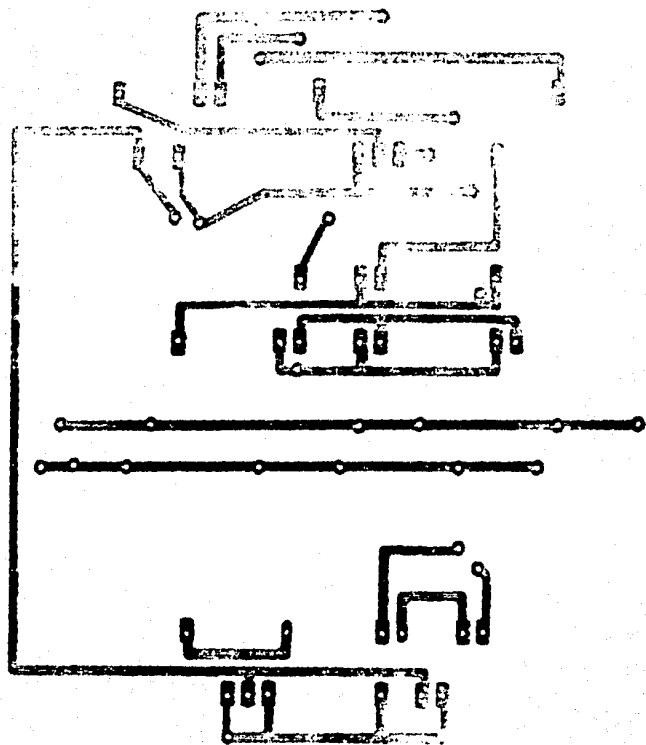


Tabla B (anverso)

FIGURA 4.4

Tabla C (reverso)

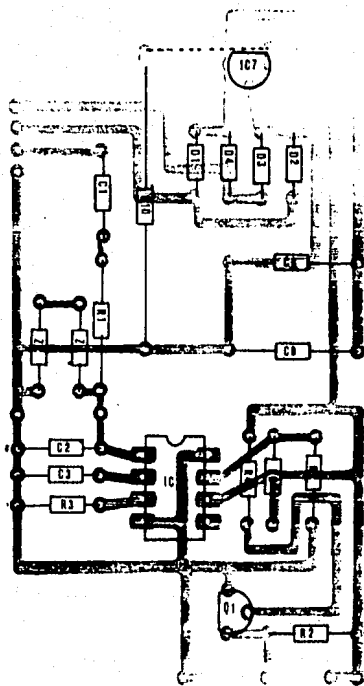


FIGURA 4.5

## 4.2.- Chasis.

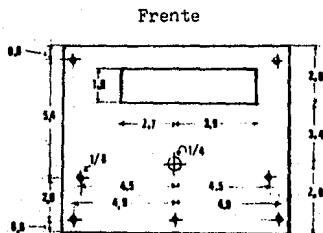


FIGURA 4.6

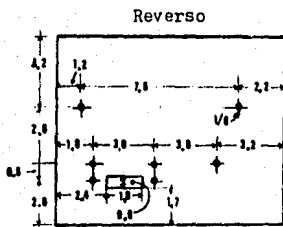


FIGURA 4.7

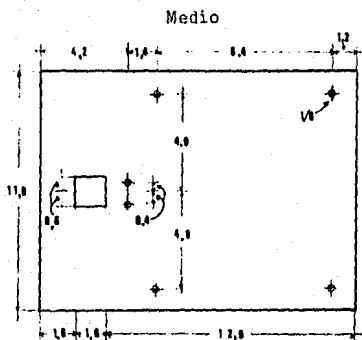


FIGURA 4.8

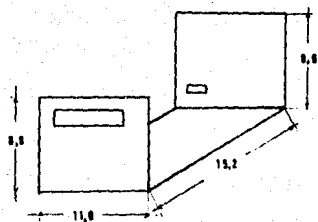


FIGURA 4.9

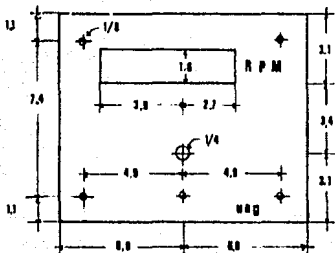


FIGURA 4.10

Acrilico Rojo

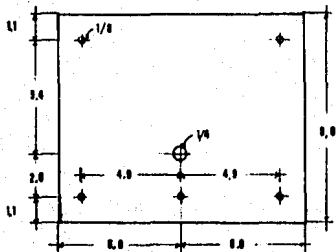


FIGURA 4.11



## 4.3.- Caja.

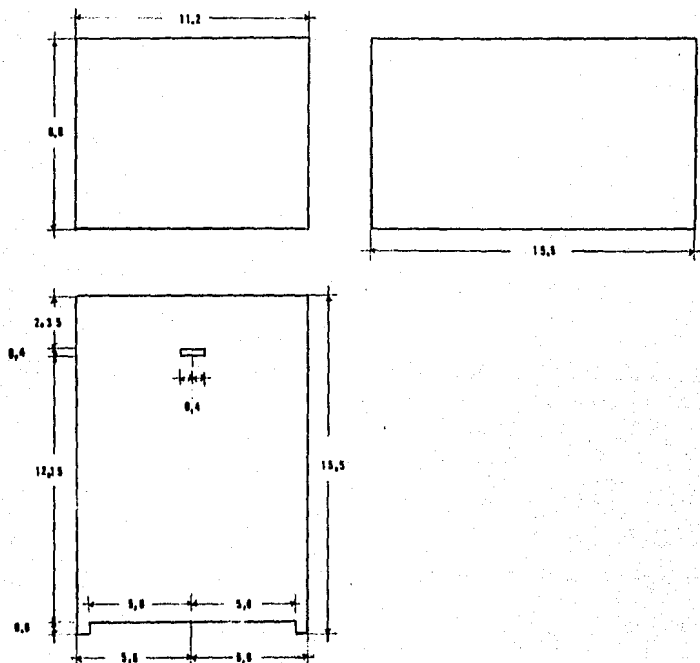


FIGURA 4.12

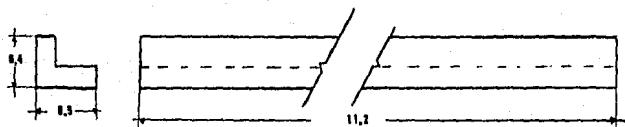


FIGURA 4.13

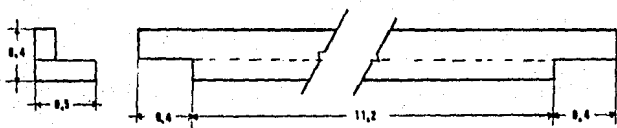


FIGURA 4.14

## 4.4.- Sensor.

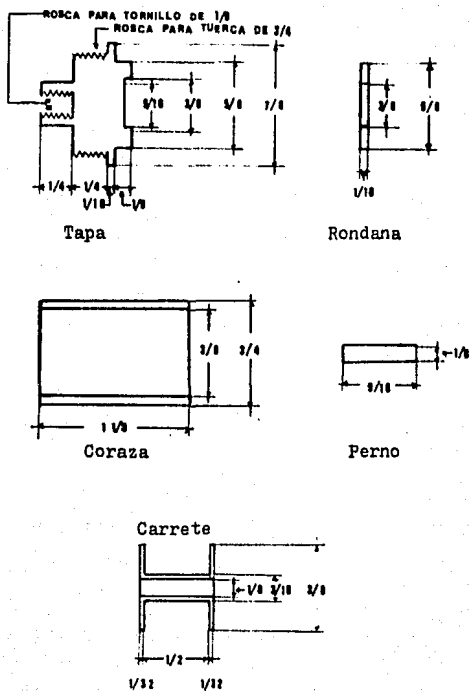


FIGURA 4.15

## CAPITULO QUINTO

CONCLUSIONES

Por sus características físicas, El Tacómetro construido cumplió con sus requisitos principales, ya que su costo de construcción fue de \$ 75,000 pesos (los tacómetros mecánico y eléctrico tiene un costo aproximado entre 350,000 y 400,000 pesos)\*, dando como precisión promedio aproximadamente del 2% de error entre velocidades angulares de 0 a 9500 - RPM, además su requisito prioritario fue cumplido en su totalidad, o sea absolutamente todas sus piezas fueron encontradas en México, aunque hay piezas de importación debido a que tenemos gran dependencia en circuitos integrados.

V. Ang.	% Error
1000	1.100%
1800	1.111%
2000	1.150%
3000	1.166%
3600	1.166%
4000	1.175%
5000	1.180%
6000	1.183%
7000	1.185%
8000	1.187%
9500	1.189%

TABLA 5.1

\* Al 28 de Agosto de 1987

Sus demás requisitos fueron cumplidos en mayor o menor grado, ya que por ejemplo, su facilidad de lectura fue cumplido, primeramente por ser dígitos y no indicador de carátula, para no dejar a la apreciación de la vista, y el tamaño de los dígitos es bastante bueno (1 x 1/2 cm).

El costo de cualquier aparato, su importancia es manejado de acuerdo a las circunstancias que se requiera para la elaboración de cualquier producto. El costo se podría decir que es inversamente proporcional a la mayoría de los demás - requisitos.

Como conclusión sacamos al elaborar el trabajo, que antes de empezar a resolver cualquier tipo de problema o diseñar cualquier aparato (de control o medición), hay que recabar información.

Para recabar esta información, existen tres preguntas esenciales que son:

- 1.- Qué queremos?
- 2.- Para qué lo queremos?
- 3.- Cómo lo queremos?

con estas tres preguntas se podrá recopilar toda la información necesaria para resolver cualquier tipo de problema.



a New Angle of Attack, EDN, 5 de  
Noviembre de 1975.