

CHA



DISEÑO DE UN SISTEMA  
HIPERBOLICO DE RADIOLOCALIZACION

*Malcolm H. Steward*

DR. MALCOLM STEWARD  
DIRECTOR DE TESIS

PABLO CHANG JO  
AUTOR

## DECLARACION EXPRESA:

"El patrimonio intelectual de esta tesis per  
tenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL  
LITORAL".

"La responsabilidad de los hechos, ideas y  
doctrinas expuestas en esta tesis, correspon  
den exclusivamente a su autor".

[Reglamento de Exámenes y títulos profesio  
nales de la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA -  
DEL LITORAL).

## DEDICATORIA:

*Gracias al apoyo moral de mis hermanos; y a los continuos desvelos de mi tía durante mi formación universitaria, he conseguido culminar mis estudios superiores.*

*Mi aprecio a todos ellos lo manifiesto al dedicarle el presente trabajo.*

## AGRADECIMIENTO:

A mi director de tesis, DR. MALCOLM STEWARD, diplomado en ciencias Electrónica y Física. Su vasta experiencia y su gran caudal de conocimientos en el campo de las ciencias exactas, aportaron muy valiosas sugerencias al autor, en este trabajo.

A mis profesores que conforman el cuerpo docente del DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA; de las enseñanzas que imparten en sus aulas, se formaron y se siguen formando los ingenieros que tanto necesita el País.

# INDICE

Pág.

## CAPITULO PRIMERO

### INTRODUCCION

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| 1.1. Objetivo del trabajo | 1 |
| 1.2. Fases del trabajo    | 4 |

## CAPITULO SEGUNDO

### DESARROLLO ANALITICO DEL SISTEMA

- |  |    |
|--|----|
| 2.1. Introducción  | 8  |
| 2.2. Fundamentos teóricos para el análisis               | 10 |
| 2.3. Desarrollo matemático del sistema                   | 15 |
| 2.4. Trazado de curvas hiperbólicas en la Carta Náutica. | 18 |

## CAPITULO TERCERO

### DISEÑO TEORICO DEL SISTEMA

- |  |    |
|--|----|
| 3.1. Introducción                                      | 27 |
| 3.2. Análisis de error                                 | 28 |
| 3.3. Diseño del Sistema: Diagrama de bloques           | 42 |
| 3.4. Consideraciones específicas en el diseño teórico. | 45 |

## CAPITULO CUARTO

### PRUEBAS SOBRE EL SISTEMA

- |                   |    |
|-------------------|----|
| 4.1. Introducción | 51 |
|-------------------|----|

	Pág.
4.2. Pruebas realizadas	52
4.2.a. Cálculo de error de la traza del osci loscopio.	52
4.2.b. Métodos de producción de pulsos.	57
4.2.c. Medición de un retardo urbano entre 2 señales.	65
4.2.d. Medición de un retardo interurbano en tre 2 señales.	75
CAPITULO QUINTO	
RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFIA	110

## CAPITULO PRIMERO

### INTRODUCCION

#### 1.1. OBJETIVO DEL TRABAJO

Es de conocimiento público la existencia de modernos - sistemas de ayuda a la navegación tales como el Sistema Lo ran, Tacán, Omega, por Radiofaros, por Satélites, etc.

Son sistemas que permiten, ya sea a un barco o a un avión, auto-determinarse su posición con bastante exactitud. Esto ha dado lugar a que los antiguos sistemas de navegación, que se basaban en la posición de una constante celeste (las estrellas), sean relagados a segundo plano.

Por supuesto, la embarcación o el avión debe estar acondicionado de modernos equipos electrónicos, para realizar las mediciones respectivas que le permita autodeterminarse en referencia con cualquiera de los sistemas antes mencionados; aparte de otros complementos como Cartas de Navegación, Rutas de Vuelo, etc.

En nuestro País se está instalando actualmente una cadena de Radiofaros. Dicho trabajo se encuentra a cargo del Instituto Oceanográfico de la Armada; y las naves que requieren de este servicio disponen a bordo de modernos Ra-

diagonómetros (RDF) para las mediciones respectivas. Los precios de un RDF más barato no deja de costar varios miles de dólares.

Y aquí aparece la siguiente pregunta: ¿las embarcaciones pequeñas que no disponen de RDF por cualquier motivo, se encontrarán irremediablemente perdido en alta mar, sin saber su posición náutica, en caso de percance?

Un hecho sucedido hace más o menos 3 años dió origen a este trabajo: un yate privado que venía desde Panamá a Ecuador sufrió un percance en alta mar, y radió auxilio a tierra. La señal de socorro llegó a las estaciones costeras y de esa forma se tuvo conocimiento del accidente; sin embargo, no se conocía la posición náutica de la embarcación. Las desfavorables condiciones atmosféricas (se encontraban en un mar azotado por tormentas y con el cielo nublado) sumado con el daño del motor de la nave, hizo que esta anduviera a la deriva por varios días. Además, la falta de visibilidad imposibilitó a los navegantes de conocer su posición mediante las constantes celestes.

La mencionada embarcación no disponía de RDF, y la búsqueda de la misma realizado por el Servicio de Guardacostas duró cerca de 4 días hasta que finalmente esta habla



sido localizada con sus tripulantes, sano y salvo.

La ocurrencia de dicho percance motivó a que se realizara el presente trabajo que condujo al estudio sobre el diseño de un Sistema de Radiolocalización. A diferencia de los sistemas de radioayuda anteriormente mencionado, en la cual la nave podía autodeterminarse su posición; en este sistema es la estación maestra en tierra la única capaz de determinar la posición de un barco, más no el barco por sí mismo.

La estación maestra se encargará de dar instrucciones al barco de rescate, orientándolo hacia el objetivo de tal forma que este pueda localizar a la nave perdida con bastante probabilidad.

Este trabajo, aparte de constituir un requerimiento esencial exigido por la ESPOL previo para poder diplomarse en Ingeniería Electrónica, ofrece además la oportunidad de ser una tesis con aplicación inmediata.

Desafortunadamente, las pruebas que se efectuaron con la finalidad de poner este sistema a punto, no dieron los resultados que se esperaban. Los problemas de orden técnico con que tropezaron las experiencias, acompañado de

la insuficiencia de información sobre el funcionamiento - de los equipos usados en las mismas, condujeron al fracaso este primer intento de colocar al sistema en condiciones de operación.

Sin embargo, estas vicisitudes no constituyen sino las dificultades normales que todo trabajo de investigación debe encontrar. Por lo tanto, la fe y el optimismo - que tiene el autor acerca de las futuras pruebas que conduzcan a este sistema a punto no ha disminuido; más bien se ha acrecentado, y tiene plena convicción de que finalmente se logrará el objetivo que se propuso al realizar este trabajo.

## 1.2. FASES DEL TRABAJO

Este estudio se encuentra dividido en 5 capítulos. Sin embargo, es en el siguiente capítulo donde se inicia el razonamiento que conducirá al desarrollo de los restantes.

Para la determinación de la posición de un barco se necesita conocer el punto de intersección de 2 curvas hiperbólicas de posición; por lo tanto, se ha desarrollado en el segundo capítulo la ecuación general de la hipérbola, la misma que nos servirá para obtener 2 familias de

curvas. El cruce de las curvas de estas 2 familias nos proporcionará los puntos de intersecciones que necesitamos.

Este diseño va a involucrar la existencia de 3 estaciones terrestres que actuarán como focos de las familias de curvas; se ha escogido entonces 3 lugares ubicados en el litoral ecuatoriano que cumplirán dicha función.

Como para cada familia de curvas se necesita 2 estaciones, y solamente se tiene tres; entonces una de ellas formará parte integrante en cada familia. Esa estación se va a llamar Estación Maestra, y las otras 2 restantes se llamarán Estaciones Esclavas.

La obtención de los datos necesarios para el ploteo de las curvas en la carta náutica, ha sido proporcionado por la Computadora IBM-1130 del Centro de Computación de la ESPOL. Para ello ha sido menester confeccionar de antemano un programa que cumpla la finalidad propuesta.

La localización del barco en peligro estarán sujetos a errores físicos de las mediciones que se tienen que realizar para fijar las coordenadas de la embarcación.

Ha sido necesario, por lo tanto, realizar un estudio a

nalítico de error, cuyo objetivo ha sido la de fijar un error máximo permisible, de tal manera que, al enviar al buque de rescate, este tenga bastante probabilidad de localizar a la nave.

El capítulo III tiene esta finalidad; y una vez terminado el estudio sobre error, se diseña el sistema de radio localización; diseño que se encuentra acondicionado a los estudios realizados en los capítulos anteriores. Las partes integrantes del sistema se encuentran agrupados en un diagrama de bloques. Se explica a continuación el modo de operación del sistema para lograr el objetivo propuesto, cual es la de encontrar al barco perdido.

El tercer capítulo incluye también un análisis sobre algunas especificaciones que deben acompañar al sistema. Estas especificaciones van a originar algunas experiencias, mencionadas en el Capítulo Cuarto.

En el IV Capítulo se menciona las pruebas que se realizaron con el propósito de tratar de llevar al sistema a punto.

Como las pruebas no dieron los resultados que se esperaban, se acompaña en el V Capítulo algunas recomendaciou

nes, tendientes a continuar con las pruebas y experimentos que puedan colocar al sistema en condiciones de operación.

## CAPITULO SEGUNDO

### DESARROLLO ANALITICO DEL SISTEMA

#### 2.1. INTRODUCCION

Para una clara comprensión del objetivo de este capítulo, se ha hecho necesario la siguiente explicación: la señal de un barco perdido en alta mar solicitando auxilio - llega a los receptores de las estaciones costeras, y de esa forma se tiene conocimiento del percance.

Si los tripulantes de dicha nave no conocen su posición, entonces la búsqueda de la misma se realizará al azar, y su localización dependerá de la suerte. Sin embargo, existe una posibilidad de que las estaciones terrestres puedan determinar las coordenadas del barco, si se conociera la diferencia de tiempo de las señales que emitidas por el barco llegan a las 2 estaciones costeras.

Sea el caso de que se conoce esa diferencia de tiempo; de ser así entonces el barco se encuentra sobre una curva imaginaria que tiene la característica de que, en cualquier lugar en que el barco sobre ella esté, de todas maneras la diferencia de tiempo de las señales emitidas siguen siendo iguales al valor originalmente medido.

Esa curva viene a ser una curva de posición, y como su razonamiento se fundamenta sobre el principio de la hipérbola, por ende entonces satisface su ecuación.

Una sola curva de posición no puede determinar las coordenadas del barco; por lo tanto se necesita otra curva cuya intersección con la primera nos dé un punto que fixa rla la posición de la embarcación.

Cada curva pertenece a una familia diferente, y cada familia tiene 2 estaciones que vendrían a ser los focos de las curvas hiperbólicas de posición.

Se elige 3 lugares del Ecuador ubicadas en la costa del Pacífico, donde se instalarán las estaciones bases; entonces una de ellas, la que formará parte integrante en las 2 familias de curvas se llamará Estación Maestra, y los o tros 2 restantes se llamarán estaciones esclavas.

Para plotear las curvas de posición, ha sido menester realizar un programa que, leído por la computadora, arroje los datos requeridos. El ploteo y gráfico de las curvas se realizó en la Carta Náutica # 22004 comprada en el Ins tituo Oceanográfico de la Armada.

## 2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL ANALISIS

El desarrollo analítico de este sistema de radiolocalización tiene su génesis en el principio fundamental de la hipérbola, que dice: la diferencia de las distancias en-

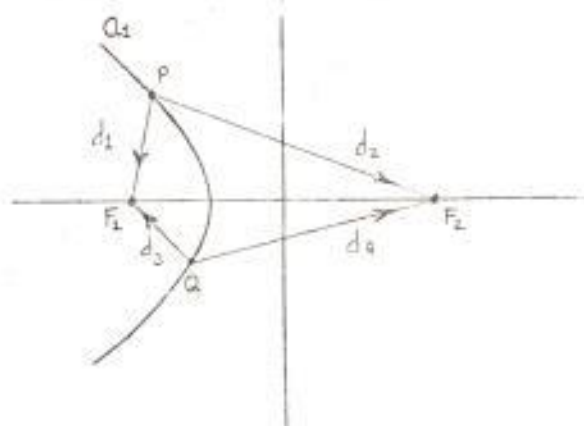


FIG (2-1)

tre un punto cualquiera P a 2 puntos fijos  $F_1$  y  $F_2$  es una constante.

$$\text{Por lo tanto } (d_2 - d_1) = \text{Cte.} \quad (2-1)$$

Podemos encontrar infinitos puntos que cumpla la condición antes mencionada, tal como el punto Q de la figura (2-1); situado a una distancia  $d_3$  de  $F_1$  y  $d_4$  de  $F_2$ .

La diferencia

$$(d_2 - d_1) = (d_4 - d_3) = \text{Cte.} \quad (2-2)$$

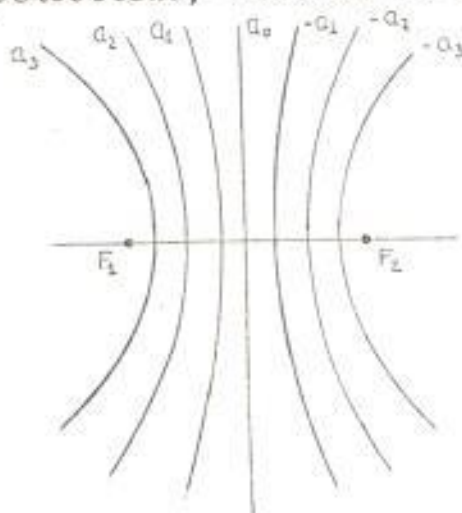


a pesar de que  $d_1 \neq d_2 \neq d_3 \neq d_4$

Uniendo varios puntos que cumplan la condición de P o de Q obtenemos la curva  $a_1$ , llamada también curva de diferencia de distancia constante  $a_1$ . Por lo tanto.

$$(d_2 - d_1) = (d_4 - d_3) = a_1 \quad (2-3)$$

El valor  $a_1$  constituye un parámetro; y para diversos valores de  $a_n$  ( $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) obtenemos una familia de curvas hiperbólicas, tal como la dada en la figura (2-2).



FIG(2-2)

La línea central equidistante de los focos  $F_1$  y  $F_2$  es llamada curva de cero diferencia de distancia.

El razonamiento que se acaba de hacer constituye el punto de partida para el resto del ataque. Volviéndonos

a la figura (2-1); vamos a suponer que los puntos fijos  $F_1$  y  $F_2$  sean estaciones radioreceptoras bases situadas en

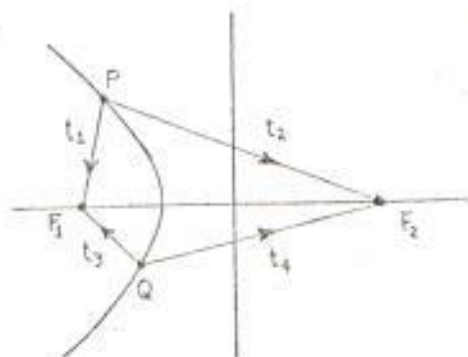


FIG (2-3)

tierra. Un barco en alta mar se encuentra en el punto P y envía una señal de radioauxilio que llega a las estaciones  $F_1$  y  $F_2$  en un tiempo  $t_1$  y  $t_2$ , tal como se muestra en la figura (2-3). La diferencia de los tiempos de recepción entre  $t_1$  y  $t_2$  es una constante que la llamaremos  $\tau_1$ ; de donde

$$(t_2 - t_1) = \tau_1 \quad (2-4)$$

Es muy fácil darse cuenta de que lo enunciado sigue los mismos pasos de la definición analítica de la hipérbola; con la única diferencia de que las unidades en este caso son unidades temporales, mientras que en el anterior son unidades métricas.

Por consiguiente, la curva de diferencia de tiempo  $\tau_1$

es la misma que para la curva de diferencia de distancia  $a_1$ , mediando entre ambas magnitudes una constante que es la velocidad de la luz. Lo representaremos con la letra  $c$ .

En este trabajo se ha supuesto que las radioondas viajan a la velocidad de la luz; y por lo tanto es cierto la siguiente igualdad:

$$\tau_1 = (t_2 - t_1) = \frac{(d_2 - d_1)}{c} = \frac{a_1}{c} \quad (2-5)$$

El valor  $\tau_1$  constituye un parámetro; y para diversos valores de  $\tau_n$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) obtenemos así mismo una familia de curvas hiperbólicas, tal como la dibujada en la

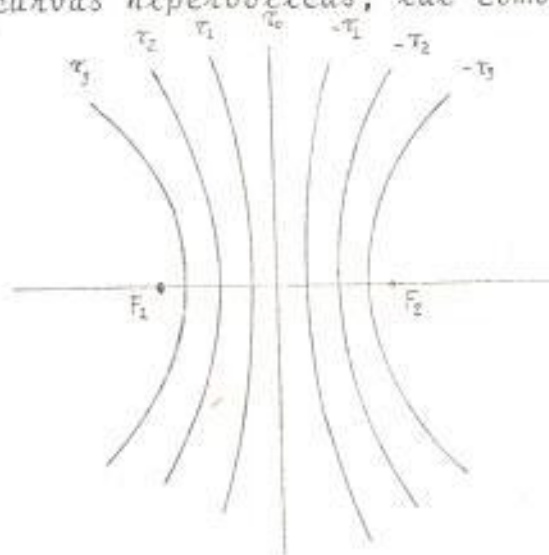


Fig (2-4)

figura (2-4). La línea central equidistante de las estaciones

nes  $F_1$  y  $F_2$  es llamada curva de cero diferencia de tiempo.

De la figura (2-4) nos damos cuenta de que las curvas a cada lado de la curva  $\tau_0$  son simétricas pero de signo contrario. Esto se debe a la definición que hemos hecho sobre  $\tau = (t_2 - t_1)$ ; si se adoptara otra definición de  $\tau = (t_1 - t_2)$ , entonces los signos de los parámetros de las curvas de la Fig. (2-4) se invertirían.

Sea cual sea la definición que sobre  $\tau$  se escoge; pero una vez que se adopta una determinada, hay que continuar con ella en el resto del análisis.

Para establecer su posición en alta mar, se necesita conocer el punto de intersección  $R$  de dos curvas de dife

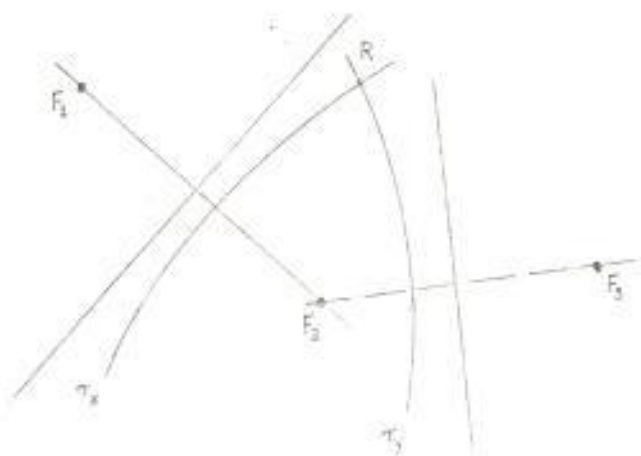


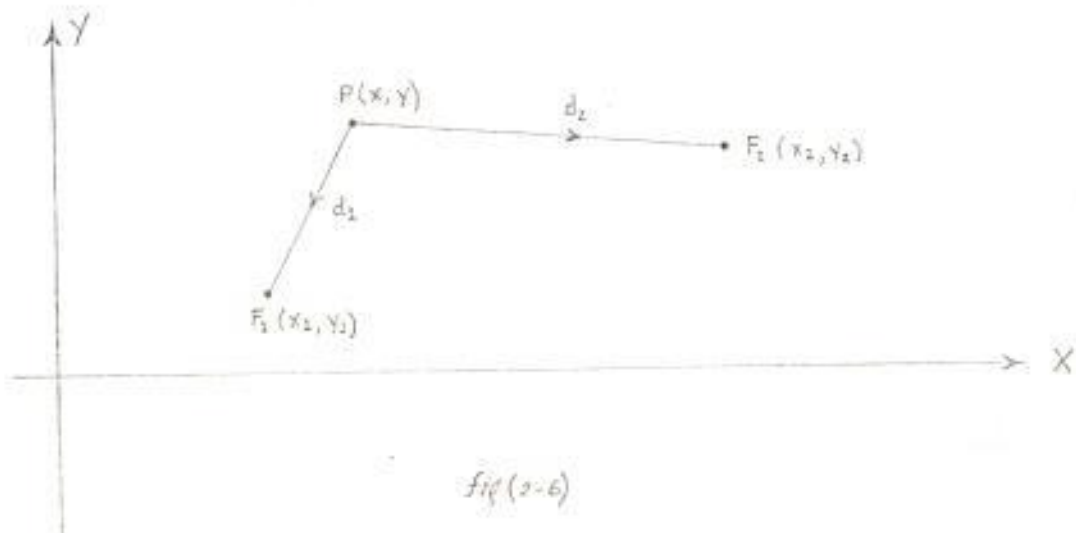
Fig (2.5)

rencia constante de tiempo, tal como es dibujado en la figura (2-5). Dos pares de estaciones son requeridas para establecer las líneas de diferencia constante de tiempo, necesarias para localizar puntos de intersecciones. Un par de estaciones  $(F_1$  y  $F_2)$  actúan como focos para una familia de hipérbolas, el segundo par de estaciones  $(F_2$  y  $F_3)$  operan como focos en la otra familia de hipérbolas. Por tanto, el punto  $R$  es la intersección de 2 hipérbolas:  $\tau_x$  y  $\tau_y$ , una para cada familia.

Expresaremos lo dicho en este apartado, en una forma matemática.

### 2.3. DESARROLLO MATEMATICO DEL SISTEMA

Sean dos puntos fijos  $F_1$  y  $F_2$ , de coordenadas  $(x_1, y_1)$  y  $(x_2, y_2)$  respectivamente. Un punto cualquiera  $P$ , de



coordenadas  $(x, y)$  se encuentra a una distancia  $d_1$  de  $F_1$  y  $d_2$  de  $F_2$ , mostrados en la figura (2-6).

Por lo definido en el apartado anterior, tenemos que

$$[d_2 - d_1] = a \quad (2-6)$$

donde  $a$  es una constante, y  $d_1$  y  $d_2$  valen:

$$d_2 = \left[ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \right]^{1/2} \quad (2-7)$$

$$d_1 = \left[ (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \right]^{1/2}$$

Reemplazando (2-7) en (2-6) se tiene:

$$\left[ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \right]^{1/2} - \left[ (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \right]^{1/2} = a \quad (2-8)$$

Pasando al segundo miembro el valor  $d_1$  y elevando al cuadrado la igualdad, se tiene:

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = a^2 + (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + 2a \left[ (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \right]^{1/2} \quad (2-9)$$

desarrollando (2-9) se tiene:

$$2x(x_1 - x_2) + 2y(y_1 - y_2) - \left[ (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) \right] - a^2 = 2a \left[ (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \right]^{1/2} \quad (2-10)$$

$$\text{Sea: } H = - \left[ (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) \right]$$

(2-11)

$$H_1 = (x_1 - x_2)$$

$$H_2 = (y_1 - y_2)$$

Reemplazando (2-11) en (2-10) tenemos:

$$2x H_1 + 2y H_2 + (H - a^2) = 2a \left[ (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 \right]^{1/2} \quad (2-12)$$

Elevando (2-12) al cuadrado y agrupando términos semejantes obtenemos la siguiente ecuación:

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0 \quad (2-13)$$

donde las constantes valen lo siguiente:

$$\begin{aligned} A &= 4H_1^2 - 4a^2 \\ B &= 8H_1H_2 \\ C &= 4H_2^2 - 4a^2 \\ D &= 4HH_1 - 4a^2H_1 + 8a^2x_1 \\ E &= 4HH_2 - 4a^2H_2 + 8a^2y_1 \\ F &= H^2 - 2a^2H + a^4 - 4a^2x_1^2 - 4a^2y_1^2 \end{aligned} \quad (2-14)$$

La ecuación (2-13) es la ecuación general de las cónicas. Si su discriminante  $I$  es positivo, entonces la ecuación (2-13) es la ecuación general de una hipérbola. Para verificarlo, tenemos que:

$$I = B^2 - 4AC \quad (2-15)$$

por lo tanto

$$I = 64H_1^2 H_2^2 - 4(4H_1^2 - 4a^2)(4H_2^2 - 4a^2) \quad (2-16)$$

$$I = 64a^2 (H_1^2 + H_2^2) - 64a^4 \quad (2-17)$$

$(H_1^2 + H_2^2)^{1/2}$  es la distancia entre  $F_1$  y  $F_2$ , y solamente para el caso extremo de que la embarcación se encontrase en uno de los focos, o fuera de él pero en la extensión de la recta que une ambos focos, entonces allí la diferencia de distancia  $a$  es igual a  $(H_1^2 + H_2^2)^{1/2}$ .

Pero en cualquier otra posición que no sean las mencionadas, entonces  $a$  siempre es menor que  $(H_1^2 + H_2^2)^{1/2}$ ; y por lo tanto la ecuación (2-13) es la ecuación de un hipérbola.

#### 2.4. TRAZADO DE CURVAS HIPERBÓLICAS EN LA CARTA NAUTICA

Para realizar el ploteo de las curvas de diferencia de tiempo en la carta marina, es necesario que convirtamos los valores variables y constantes de la ecuación (2-13) en magnitudes aprovechables en la computadora; a fin de poder hacer un programa que cumpla la finalidad propuesta. Hemos escogido 3 lugares del litoral ecuatoriano en la que vamos a ubicar las estaciones base. Estos son: Esmeraldas, Manta y Puerto Bolívar. Las coordenadas marinas de estas tres ciudades son:



	Latitud $\phi$	Longitud $\lambda$
ESMERALDAS	$1^{\circ} 00' N$	$79^{\circ} 42' W$
MANTA	$0^{\circ} 57' S$	$80^{\circ} 42' W$
PUERTO BOLIVAR	$3^{\circ} 15' S$	$80^{\circ} 00' W$

Fijemos arbitrariamente el punto  $0' | 4^{\circ} \phi_s, 58^{\circ} \lambda_w$  como el origen de los ejes cartesianos de latitud ( $x$ ) vs.

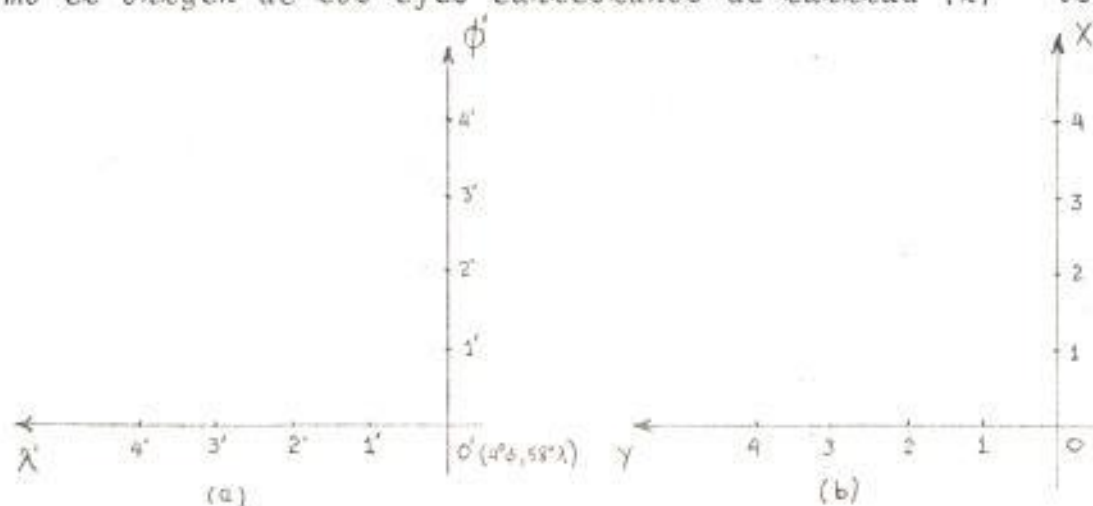


fig (2-7)

longitud ( $y$ ); y supongamos que cada minuto, ya sea de latitud o longitud valga una unidad. De esa manera las coordenadas de las estaciones base serán ahora:

	Latitud $\phi'$	Longitud $\lambda'$
ESMERALDAS	$5^{\circ} 00' N$	$1^{\circ} 42' W$
MANTA	$3^{\circ} 03' N$	$2^{\circ} 42' W$
PUERTO BOLIVAR	$0^{\circ} 45' N$	$2^{\circ} 00' W$

Refiriendo estas coordenadas según los ejes cartesianos  $x$  y  $y$ , tenemos que para ese sistema de coordenadas - las ubicaciones de las estaciones base serán ahora:

	Eje $x$	Eje $y$
ESMERALDAS $(x_1, y_1)$	300	102
MANTA $(x_2, y_2)$	183	162
PUERTO BOLIVAR $(x_3, y_3)$	45	120

En este trabajo, consideramos que una milla náutica - es igual a un minuto de latitud, y aproximadamente igual a un minuto de longitud. La velocidad de la luz es de 300.000 kmt/seg. y en unidades marinas vale 161.987 millas/seg.

Vamos ahora a hacer un programa que nos permita obtener valores de  $x$  y  $y$  para cada valor del parámetro  $\tau$ , y poder así plotear las curvas hiperbólicas de diferencias de tiempo en la carta marina.

Una breve explicación sobre el funcionamiento del diagrama de flujo se da a continuación.

Esta ha sido elaborada con la finalidad de que, usando la ecuación (2-13), para un valor de  $x$ , se obtenga 2 valores de  $y$ ; ambas pertenecientes a un mismo parámetro  $\tau$  (DPT)

Sea cual familia se escoge primeramente para los cálculos, esta comienza para un valor del parámetro  $\tau$  igual a cero.

Después de leer todos los datos necesarios, comienza los cálculos; y con un valor inicial de  $x$  ( $x = X_{\text{Cero}}$ ) se obtiene 2 valores de  $y$  ( $y_a, y_b$ ). Se continúa incrementando a  $x$  una cantidad ( $R$ ) constante, y con este nuevo valor de  $x$  ( $x = x + R$ ) se repite las operaciones y se obtiene así mismo 2 nuevos valores de  $y$ .

Este proceso continúa hasta que el valor de  $x$  llegue a un máximo ( $x = x_n$ ) establecido inicialmente. De esa forma se ha obtenido entonces los valores de  $x$  y  $y$  necesarios para graficar la curva de cero diferencia de tiempo.

Al llegar  $x$  a su máximo incremento en  $x_n$ , el proceso toma otro giro, al aumentar el parámetro inicial  $\tau$  ( $\tau = \text{cero}$ ) una cantidad DELTA. Con el nuevo parámetro  $\tau = \tau + \text{DELTA}$  ( $\delta \text{ DDT} = \text{DDT} + \text{DELTA}$ ) se repiten todas las operaciones anteriores, y se obtiene así mismo todos nuevos valores de  $x$  y  $y$  necesarios para graficar la nueva curva de posición. Estas operaciones rutinarias concluyen una vez que se han obtenido todos los datos para graficar la familia de curvas.

Se dibuja a continuación el diagrama de flujo, y se hace la codificación del diagrama en lenguaje Fortran; sus resultados se encuentran manifestados por las curvas hiperbólicas de posición ploteados en la carta marina # 22004, adquirido en el Instituto Oceanográfico de la Armada.

Calculo de curvas  
hiperbolicas

23

$$Y = \frac{-(E+BX) \pm \left[ (E+BX)^2 - 4(AX^2+DX+F)C \right]^{1/2}}{2C}$$

C  
DELTA=incremento de tiempo  
DDTN=diferencia de tiempo enesimo  
TAO=Diferencia de tiempo  
a=diferencia de distancia  
TAO=DDT  
a=DDD  
R=incremento de X  
XCERO=valor inicial de X  
Xn=valor final de X

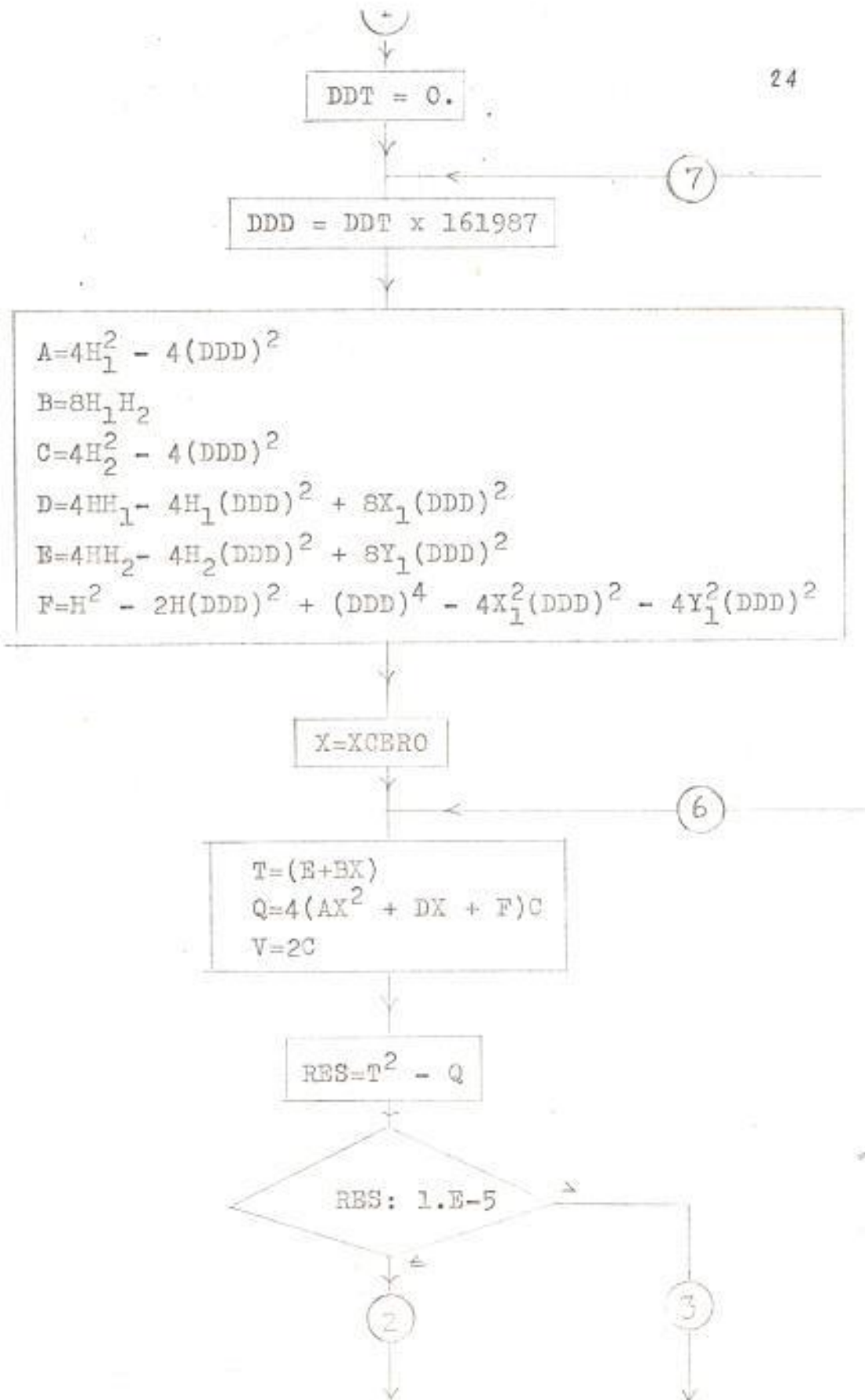
READ: X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>  
WRITE: X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>

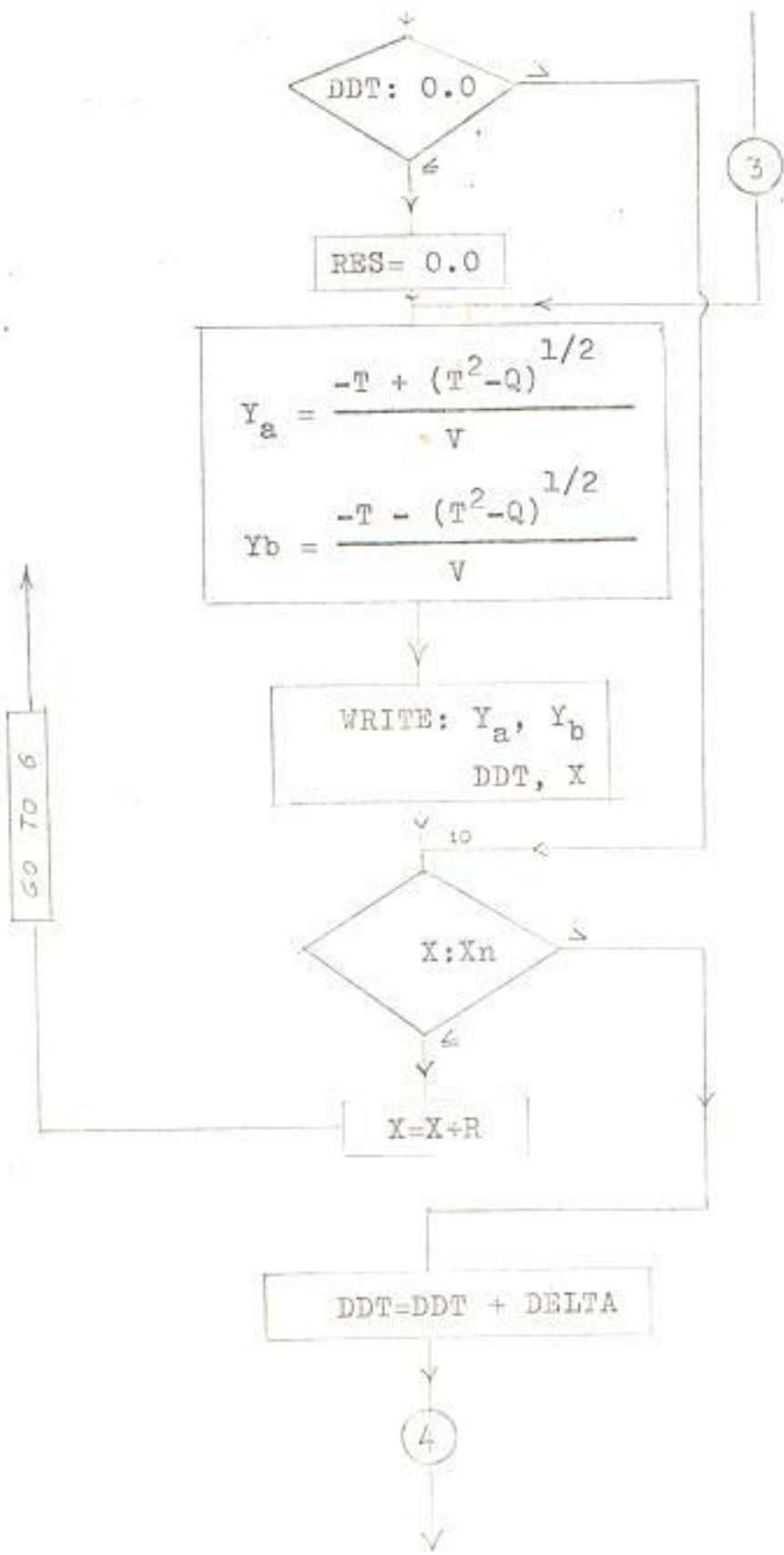
READ: Xn, XCERO, R  
WRITE: Xn, XCERO, R

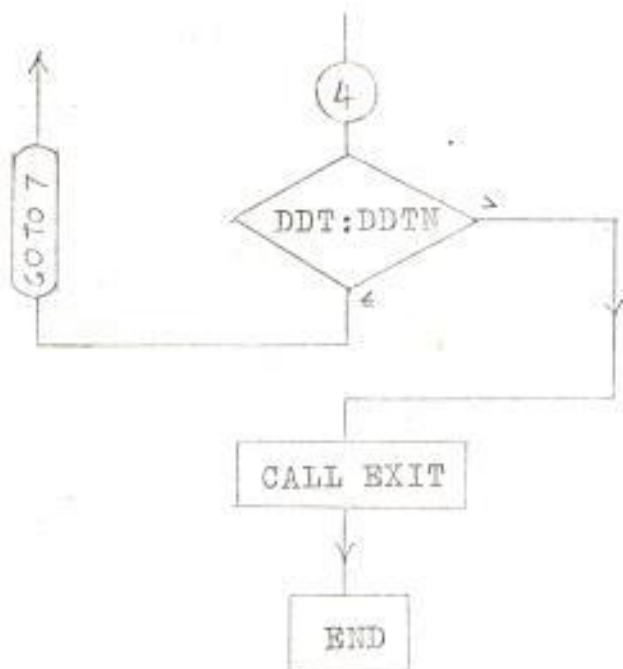
READ: DELTA, DDTN  
WRITE: DELTA, DDTN

$$H = - (X_1^2 - X_2^2) + (Y_1^2 - Y_2^2)$$
$$H_1 = (X_1 - X_2) \quad H_2 = (Y_1 - Y_2)$$

1









## CAPITULO TERCERO

### DISEÑO TEORICO DEL SISTEMA

#### 3.1. INTRODUCCION

En base a lo desarrollado en el capítulo anterior, vamos ahora a condicionar los resultados que se obtuvo de una forma general a las exigencias del diseño.

Ha sido menester considerar un porcentaje de error que se suscita en todo trabajo. En el caso nuestro la localización de la embarcación que ha sufrido un percance en alta mar está sujeto a los errores de las mediciones que se tienen que realizar para determinar las coordenadas del barco.

Estos errores se producen al realizar las mediciones de diferencias de tiempo entre 2 señales, destinado a localizar las coordenadas del barco en peligro; el mismo que se encuentra en el punto de intersección de 2 líneas hiperbólicas de posición, una para cada familia.

En consecuencia, ha sido necesario realizar un estudio encaminado a determinar los errores máximos permisibles, de tal forma que ellos no afecten seriamente los resultados.

El estudio analítico de error desarrollado en el siguiente apartado condujo a la obtención de una ecuación que relaciona el máximo error permisible de posición con el máximo error permisible de diferencia de tiempo.

En base a esto; para el diseño del sistema se realizan numerosas tentativas hasta llegar al diseño final, cuyas partes integrantes se encuentran agrupados en un diagrama de bloques. El diseño de este sistema estuvo fuertemente condicionado por los resultados que sobre errores se obtuvo en el literal (3-2).

Finalmente, para eliminar unas confusiones surgidas de la medición de diferencia de tiempo, se realizó en el apartado (3-4) un análisis tendiente a esclarecerlas. En dicho análisis se establecen algunas condiciones específicas que deben ser incluidas en el diseño.

### 3.2. ANALISIS DE ERROR

Algo inevitable en cualquier tipo de medición es el error que conlleva al realizarse esta. Siendo virtualmente imposible eliminar los errores al efectuarse una medición; entonces lo que el sentido común aconseja es el de minimizar los errores a tal punto, que sus efectos

en la lectura de una medición resulte despreciable.

En el diseño de este sistema de radiolocalización; observando las curvas hiperbólicas ploteadas en la carta marina, nos podemos dar cuenta de que existen secciones en la que las curvas se manifiestan algunas veces como en la figura (3-1) y otras veces como en la figura (3-2).

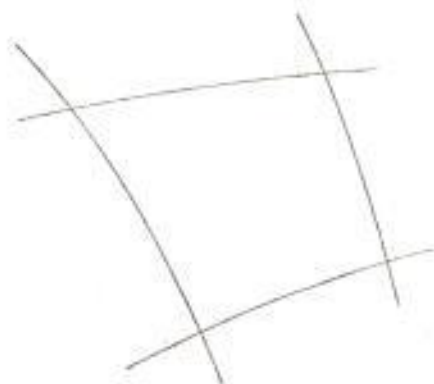


fig (3-1)

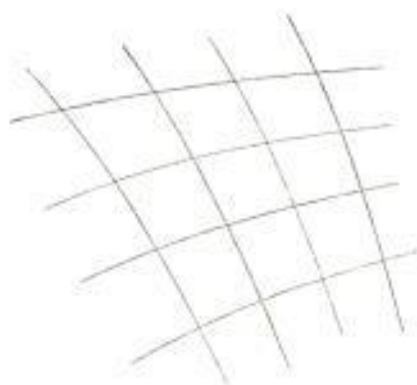


fig (3-2)

Si arbitrariamente damos valores a esas curvas, y lo representamos nuevamente según las Figs. (3-3) y (3-4) nos damos cuenta inmediatamente de que el error que se produce al determinar la posición de un barco mediante las curvas de la figura (3-4) es mucho menor que si usáramos las curvas de la figura (3-3) para el mismo fin. Por lo tanto; necesitamos desarrollar una ecuación general que nos permita determinar el máximo error permisible al realizarse una medición para fijar la posición de un barco, sin que este e-

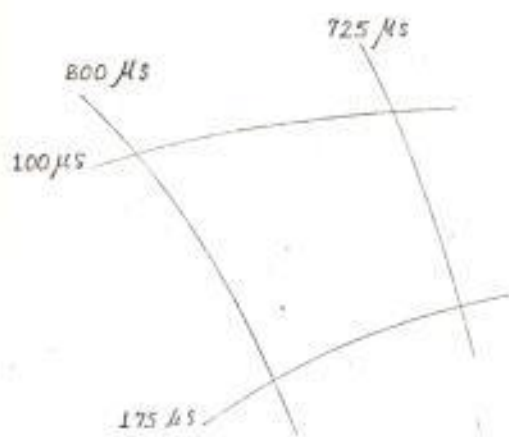


fig (3-3)

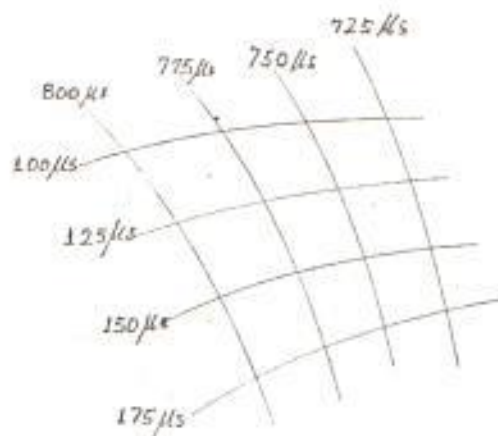


fig (3-4)

error afecte seriamente al resultado.

Existe dos maneras de hallar la ecuación general:

- Por el método matemático.
- Por el método gráfico.

El primer método conduce a un resultado muy difícil de manejar, aparte de que los pasos intermedios para llegar al resultado constituyen un verdadero laberinto matemático. Por lo tanto emplearemos el segundo método que es el método gráfico.

Comenzaremos por considerar que, en el límite, las curvas de cada familia son paralelas; y que al cruzarse con las curvas de la otra familia forman paralelogramas. Escogeremos cualquier paralelograma y lo representaremos en la figura (3-5).

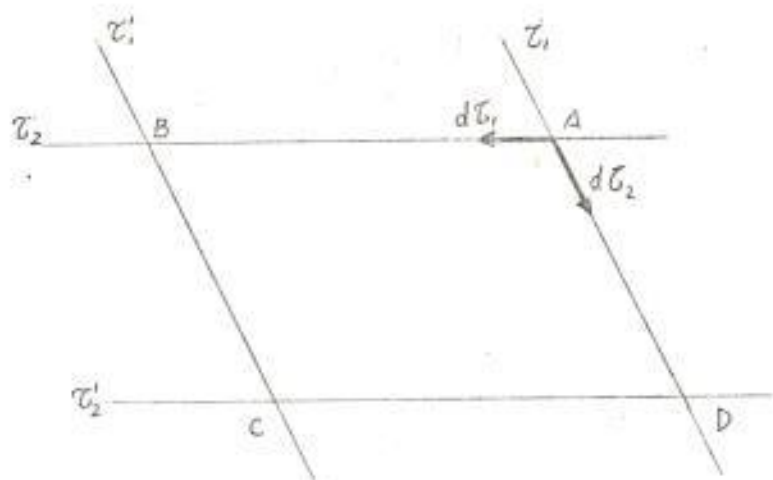


fig (3-5)

Sean los vértices del paralelogramo las 4 posiciones - en que puede encontrarse la embarcación.

Si centramos nuestra atención en una posición determinada, como A; cuando hay una variación  $d\tau_2$  la posición A tiene un desplazamiento que tiende a hacer D; muy pequeño,  $dP_2$ ; pero es un desplazamiento. Cuando se tiene una variación  $d\tau_1$ , la posición A tiene un desplazamiento  $dP_1$  hacia la posición B.

Cuando existe ya sea una variación  $d\tau_1$ , como  $d\tau_2$ ; entonces la posición A tiene un desplazamiento que tiende - hacia C.

Vamos a desarrollar una ecuación que relacione la posi

ción A con los desplazamientos que esta pueda tener, debido a las variaciones  $d\tau_1$  y  $d\tau_2$  en función de los otros valores del paralelogramo.

Sean:  $d_1$  = longitud de los lados AB y CD.

$d_2$  = longitud de los lados AD y BC

La diferencia  $(\tau_1' - \tau_1)$  es constante cualquiera que fuese el recorrido; la misma consideración para  $(\tau_2' - \tau_2)$ .

Por lo tanto, refiriendo a la figura [3-5] la diferencia  $(\tau_1' - \tau_1)$  corresponde a una longitud  $d_1$ . Cuando hay una variación  $d\tau_1$  hay un desplazamiento  $dP_1$ ; por esa razón, mediante regla de 3 simple obtenemos la siguiente igualdad:

$$\frac{(\tau_1' - \tau_1) \longrightarrow d_1}{d\tau_1 \longrightarrow dP_1} \quad \therefore \quad dP_1 = d_1 \left[ \frac{d\tau_1}{(\tau_1' - \tau_1)} \right] \quad (3-1)$$

Empleando el mismo razonamiento para  $(\tau_2' - \tau_2)$ , tenemos:

$$\frac{(\tau_2' - \tau_2) \longrightarrow d_2}{d\tau_2 \longrightarrow dP_2} \quad \therefore \quad dP_2 = d_2 \left[ \frac{d\tau_2}{(\tau_2' - \tau_2)} \right] \quad (3-2)$$

Sumando vectorialmente  $dP_1$  y  $dP_2$  obtenemos el desplazamiento total de la posición A. Con ecuación sería:

$$d\vec{P} = d\vec{P}_1 + d\vec{P}_2 \quad (3-3)$$

De las ecuaciones (3-1) y (3-2) solamente los valores  $d_1$  y  $d_2$  pueden ser considerados como vectores "corrimiento". Por lo tanto:

$$d\vec{P} = \left[ \frac{d\tau_1}{(\tau_1' - \tau_1)} \right] \vec{d}_1 + \left[ \frac{d\tau_2}{(\tau_2' - \tau_2)} \right] \vec{d}_2 \quad (3-4)$$

y la figura (3-5) adoptaría la forma de la figura (3-6)

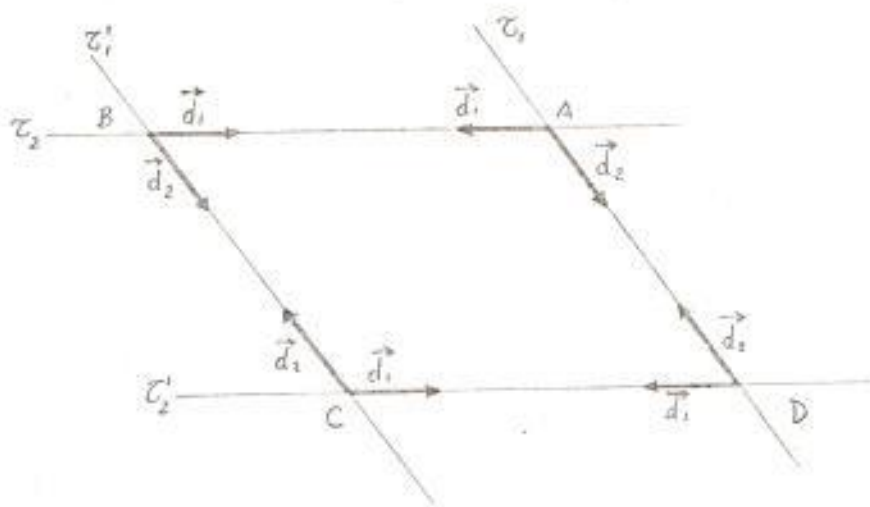


fig. (3-6)

Para hallar la magnitud del vector  $d\vec{P} = f(d\vec{P}_1, d\vec{P}_2)$  necesitamos hacer primeramente la siguiente consideración: Según la carta náutica; notamos que:

$$\tau_1 > \tau_1' \quad \text{y} \quad \tau_2 < \tau_2' \quad (3-5)$$

Por lo tanto; según el gráfico de la figura (3-6); al ir del punto a al punto B; estamos yendo de un valor  $\tau_1$  -

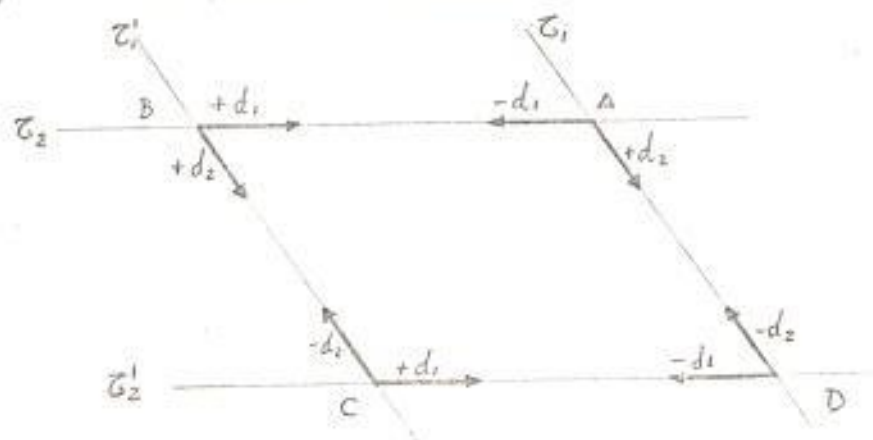


fig (3-7)

mayor a un valor  $\tau_1'$  menor y por lo tanto  $d\tau_1$  es negativo y el vector  $d_1$  es negativo.

Si nos vamos de la posición A a la posición D, nos vamos de un valor  $\tau_2$  menor a un valor  $\tau_2'$  mayor; por lo tanto  $d\tau_2$  es positivo y el vector  $d_2$  es positivo.

Continuando con el análisis, llegamos a agrupar lo di



cho según la figura (3-7).

Volviéndonos ahora a centrar nuestra atención en hallar la magnitud de  $\vec{dP}$ ; tenemos que volver a referir a la posición A de la Fig. (3-6) y a la posición D; ya que estas 2 posiciones nos ofrecen las variaciones  $dP$  máximas y mínimas, como lo vemos en el desarrollo siguiente:

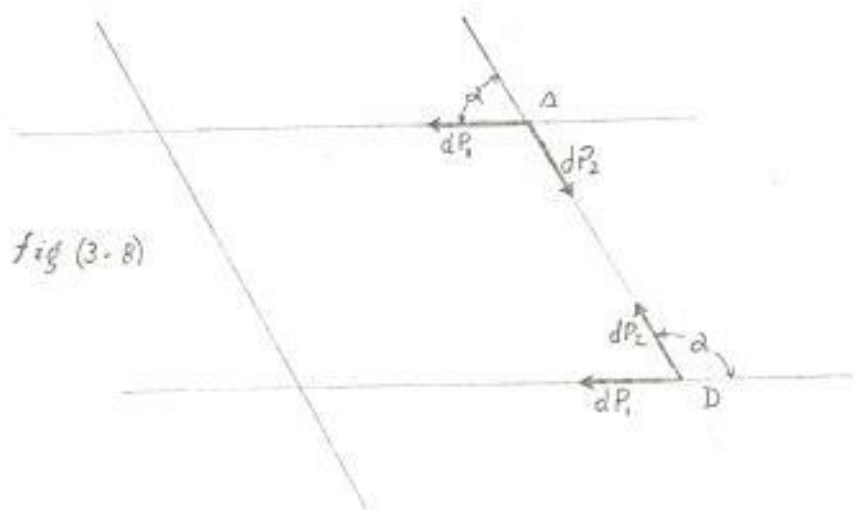


fig (3-9)

Según la fig. (3-9); la magnitud  $dP$  se lo puede calcular empleando la trigonometría, y en especial la Ley de los Cosenos.

Aplicando dicha ley en nuestro análisis, tenemos:

$$dP^2 = dP_1^2 + dP_2^2 - 2dP_1 dP_2 \cos \alpha \quad (3-6)$$

Reemplazando (3-1) y (3-2) en (3-6) se tiene:

$$dP^2 = \left[ \frac{d\tau_1^2}{(\tau_1' - \tau_1)^2} \right] d_1^2 + \left[ \frac{d\tau_2^2}{(\tau_2' - \tau_2)^2} \right] d_2^2 - 2 \frac{d\tau_1 d\tau_2 d_1 d_2}{(\tau_1' - \tau_1)(\tau_2' - \tau_2)} \cos \alpha \quad (3-7)$$

De la ecuación (3-7) nos damos cuenta de que las consideraciones de los signos según la figura (3-7) no tiene efecto en ella.

Si consideramos que:

$$d\tau_{1\max} = d\tau_{2\max} = d\tau_{\max} \quad (3-8)$$

se tiene, reemplazando (3-8) en (3-7) la ecuación siguiente:

$$dP_{\max} = d_{\max} \left[ \frac{d_1^2}{(\tau_1' - \tau_1)^2} + \frac{d_2^2}{(\tau_2' - \tau_2)^2} + \left| \frac{2 d_1 d_2}{(\tau_1' - \tau_1)(\tau_2' - \tau_2)} \cos \alpha \right|^{1/2} \right] \quad (3-9)$$

Simplificando se tiene:

$$dP_{\max} = d\tau_{\max} \phi_{\max} \quad (3-10)$$

donde el valor  $\phi_{\max}$  viene a ser:

$$\phi_{\max} = \left[ \frac{d_1^2}{(\tau_1' - \tau_1)^2} + \frac{d_2^2}{(\tau_2' - \tau_2)^2} + \frac{2 d_1 d_2 \cos \alpha}{(\tau_1' - \tau_1)(\tau_2' - \tau_2)} \right]^{1/2} \quad (3-11)$$

La ecuación (3-10) es aplicable para las posiciones D y B del paralelogramo, mientras que la ecuación (3-7) es la ecuación más general.

Los actuales sistemas de ayuda a la navegación permite una tolerancia de hasta una milla de error; al determinar la posición de una nave. Por eso; de la ecuación (3-10) obtenido en nuestro análisis, también vamos a considerar que el  $dP_{\max} = 1$  milla.

$$\therefore 1 = d\tau_{\max} \phi_{\max} \quad (3-12)$$

De la ecuación (3-12), el  $d\tau_{\max}$  se produce al realizar la medición de diferencia de tiempo entre 2 señales; pero el  $\tau_{\max}$  lo podemos calcular directamente de las curvas dibujadas en la carta náutica. Conociendo este  $\phi_{\max}$ , ya podemos entonces saber el valor de  $d\tau_{\max}$  permisible, que

es justamente el máximo error tolerable de diferencia de tiempo, que corresponde a un máximo error tolerable de posición.

Para ello se escoge arbitrariamente varios "paralelogramos" de la carta, originados por el cruce de las curvas de posición. Se ha hecho mediciones de los lados de los paralelogramos en centímetros, y de sus ángulos en grados. Además se puede convertir los valores dados en centímetros a valores en millas, siguiendo la escala de 5,5 cm: 60 millas marinas. Se tiene entonces los siguientes gráficos:

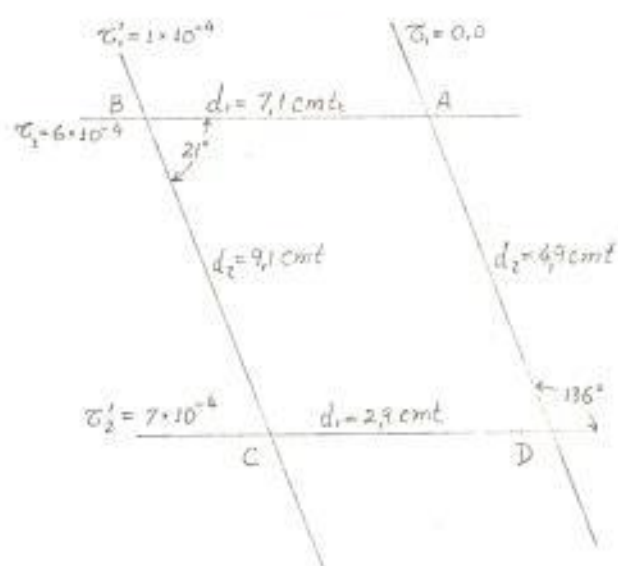
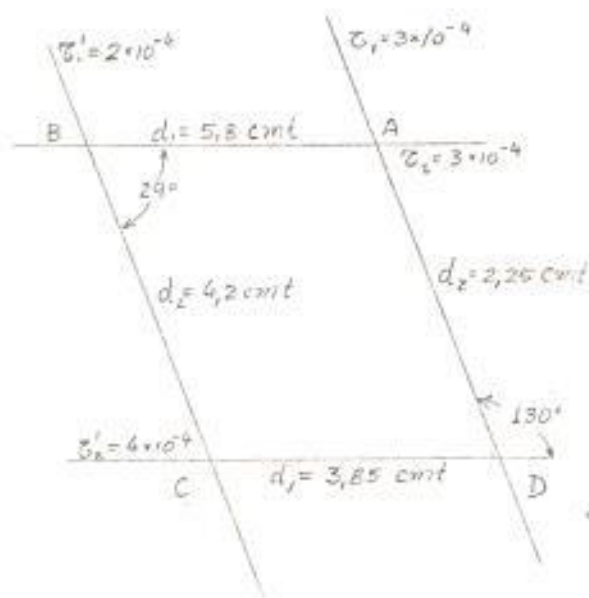
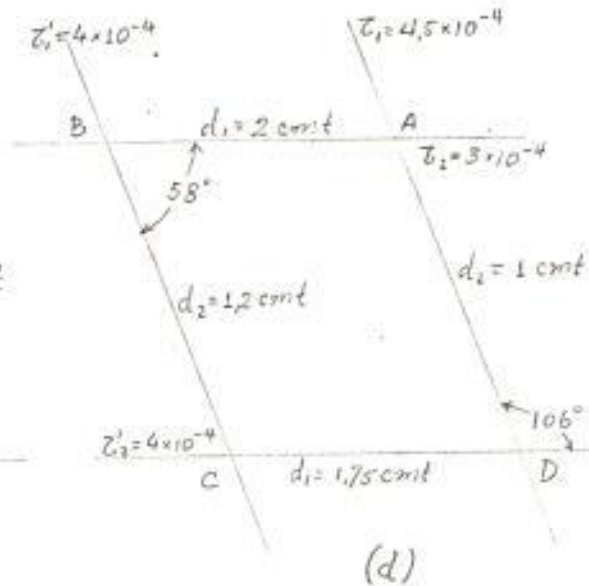
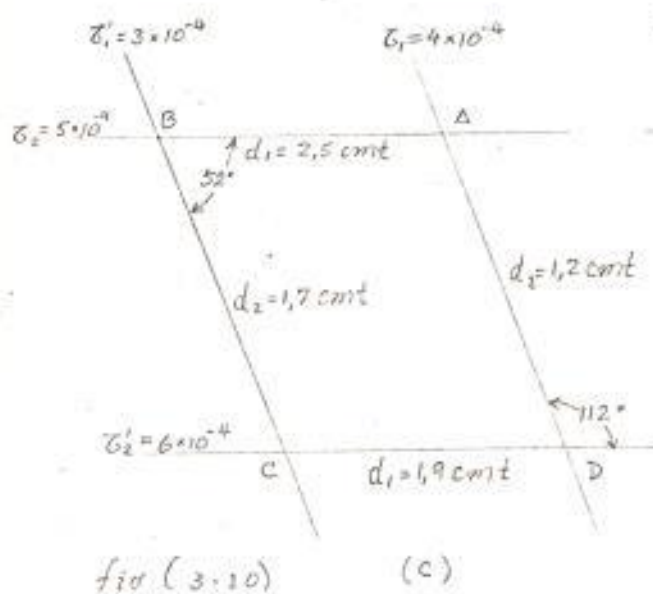


fig (3-10)

(a)



(b)



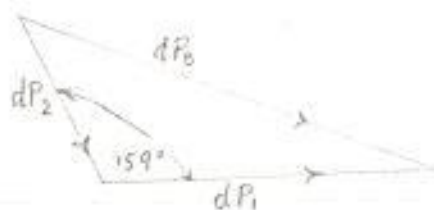
De la figura (3-10); vamos a aplicar en cada paralelogramo, la ecuación (3-11) y obtener en esa forma valores de  $\phi_{\max}$  en función de los datos señalados en la carta marina. Comenzaremos por la figura (a) tomando el vértice B; y aplicando los conocimientos ya expuestos en páginas anteriores, tenemos:

$$d_1 = + 7,1 \text{ cm.}$$

$$d_2 = + 9,1 \text{ cm}$$

$$d\tau_1 = + d\tau_1 \quad d\tau_1 = d\tau_2 = d\tau_B$$

$$d\tau_2 = + d\tau_2$$



$$|\tau_1' - \tau_1| = 1 \times 10^{-4}$$

$$|\tau_2' - \tau_2| = 1 \times 10^{-4}$$

$$\cos 159^\circ = - 0,93358$$

$dP_B = d\tau_B \phi_B$  aplicando la ecuación (3-11) se

obtiene:

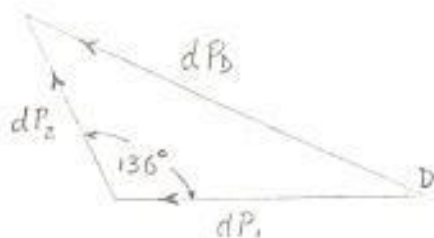
$$dP_B = d\tau_B \left[ \frac{50,41}{1 \times 10^{-8}} + \frac{82,81}{1 \times 10^{-8}} + \frac{120,637}{1 \times 10^{-8}} \right]^{1/2} \quad (3-13)$$

$$dP_B = d\tau_B \left[ (253,857 \times 10^8)^{1/2} \frac{\text{cm}}{\text{seg.}} \right] \quad (3-14)$$

$$\phi_B = 15,93 \times 10^4 \frac{\text{cm} \times 60 \text{ millas} \times \text{seg.}}{\text{seg} \times 5,5 \text{ cm} \times 10^6 \mu \text{ seg.}} \quad (3-15)$$

$$\phi_B = 1,7381189 \text{ millas}/\mu \text{seg. para la Fig. (a)} \quad (3-16)$$

Para el vértice D se tiene:



$$d_1 = 2,9 \text{ cm} \quad d\tau_1 = -d\tau_1$$

$$d_2 = -4,9 \text{ cm} \quad d\tau_2 = -d\tau_2$$

$$|(\tau_1' - \tau_1)| = 1 \times 10^{-4}$$

$$|(\tau_2' - \tau_2)| = 1 \times 10^{-4} \quad d_1 = d\tau_2 = d\tau_D$$

$$\cos 136^\circ = -0,71934$$

Aplicando la ecuación (3-11) tenemos:

$$dP_B = d\tau_B \left[ \frac{8,41}{10^{-8}} + \frac{24,01}{10^{-8}} + \frac{20,442}{10^{-8}} \right]^{1/2} \quad (3-17)$$

$$\phi_D = \left[ \frac{8,41}{10^{-8}} + \frac{24,01}{10^{-8}} + \frac{20,442}{10^{-8}} \right]^{1/2} \frac{\text{cm}}{\text{seg}} \quad (3-18)$$

$$\phi_D = 0,7931497 \text{ millas}/\mu \text{seg. para la fig. (a)} \quad (3-19)$$

Si repetimos el mismo razonamiento para las figuras (b), (c) y (d) de la fig. (3-10) vamos a obtener diversos valores de  $\phi$  que lo vamos a tabular en la siguiente tabla:

TABLA (3-1)

FIGURAS	VERTICES	$\phi_{\max}$ en milla / $\mu s$
3-10-a	B	1,7381189
	D	0,7931497
3-10-b	B	1,05704
	D	0,607598
3-10-c	B	0,41357
	D	0,28359
3-10-d	B	0,517763
	D	0,425014

De la tabla (3-1) los valores de  $\phi_{B\max}$  y  $\phi_{D\max}$  varían cada "paralelogramo", por supuesto. A mayor longitud de los lados del paralelogramo, los valores de  $\phi_{B\max}$  y  $\phi_{D\max}$  serán mayores también, como nos podemos dar cuenta de la fig. (3-10) y de la tabla (3-1).

Esta mayor o menor longitud de los lados del paralelogramo depende también de si esta se encuentra a una mayor o menor distancia de la costa. Los paralelogramos que arrojaron valores de  $\phi_{B\max}$  y  $\phi_{D\max}$  cercanos a 0,5 millas/ $\mu s$  se encuentran promedialmente a una distancia de has

ta 120 millas de la costa. Si se considera que un buque pequeño realiza navegación en alta mar hasta esa distancia de tierra firme, entonces podemos escoger un valor de  $\phi_{\max}$  igual a 0,5 milla/ $\mu$  seg. Este valor, reemplazado en la ecuación (3-12) nos dá lo siguiente:

$$1 \text{ milla} = d \tau_{\max} (0,5) \text{ milla}/\mu \text{ seg.} \quad (3-20)$$

$$d \tau_{\max} = 2 \mu \text{ seg.} \quad (3-21)$$

La ecuación (3-21) es muy importante, ya que nos condiciona a un diseño en el cual, para que el error de posición sea máximo de 1 milla, el error en la medición de diferencia de tiempo debe ser máximo de hasta 2  $\mu$  seg.

### 3.3. DISEÑO DEL SISTEMA: - DIAGRAMA DE BLOQUES

Se realizaron numerosas tentativas de diseño, con la finalidad de proporcionar el máximo de eficacia y el número de errores posibles; hasta llegar al diseño final, cuyo diagrama de bloques se dibujó en la Fig. (3-11).

Este sistema dispone de 3 estaciones receptoras localizadas en Puerto Bolívar, Manta y Esmeraldas.



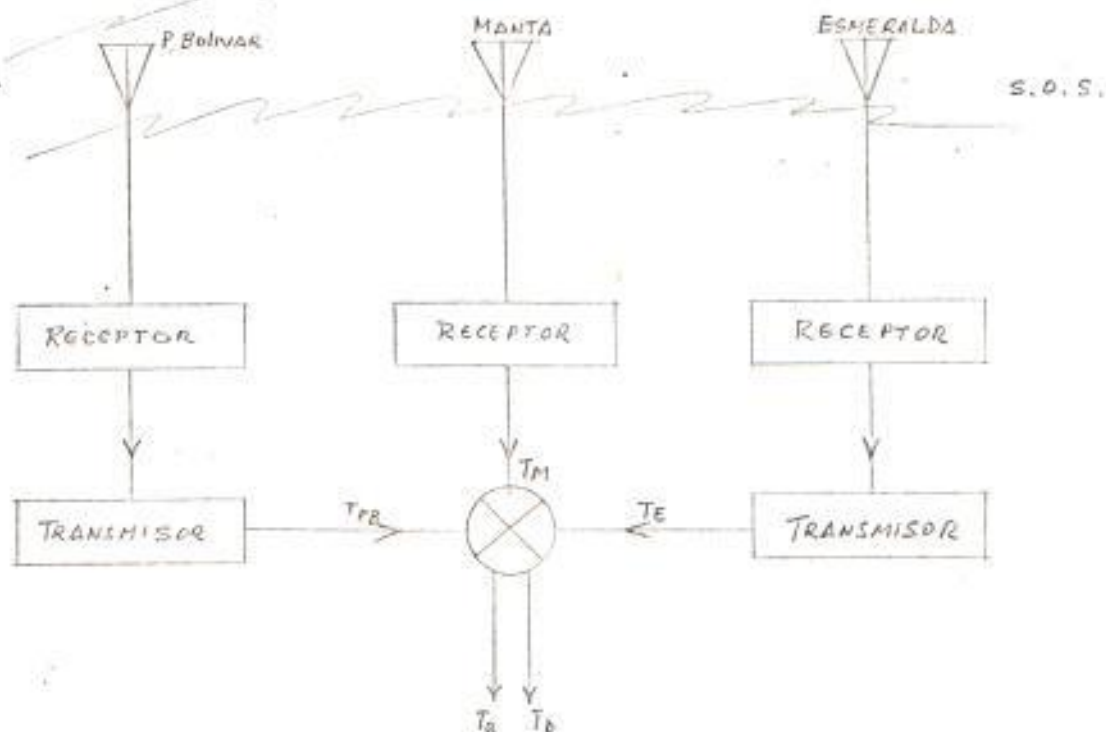


fig (3-11)

Siendo Manta la estación que forma parte integrante en ambas familias de curvas, tiene la denominación de Estación Maestra. Las otras restantes se llaman Estaciones Esclavas. Además, será en la estación Maestra donde se realizará las mediciones de diferencia de tiempo.

Al radiar el barco la señal de auxilio, esta llega a las antenas receptoras de las 3 estaciones. Las estaciones esclavas, al recibir dicha señal, van a retransmitirlo nuevamente a Manta. El tiempo de tránsito de estación a estación, así como la demora de los equipos en la retransmisión de la señal, constituyen retardos que lo llamaremos  $t_{PB}$  y

$t_{E\lambda}$ . Sea  $T_M$  el tiempo tomado por la señal para llegar a Manta, y sea  $T_{PB}$  el tiempo empleado por la señal para llegar a Puerto Bolívar, y de allí ser retransmitido a Manta. Además, sea  $T_E$  el tiempo empleado por la señal para llegar a Manta, pasando por Esmeraldas.

Si se dispone de un equipo para medir diferencia de tiempo, entonces se conocerá  $\tau_a = (T_{PB} - T_M)$  y también  $\tau_b = (T_E - T_M)$ . Si a  $\tau_a$  le restamos el retardo  $t_{PB\lambda}$  y a  $\tau_b$  le restamos  $t_{E\lambda}$ , los resultados corresponden a curvas que se encuentran ploteadas en la carta marina. La intersección de las curvas de valores  $(\tau_a - t_{PB\lambda})$  y  $(\tau_b - t_{E\lambda})$  nos da la posición de la nave.

Como nuestro objetivo es la de guiar el buque de rescate hacia el sitio donde se encuentra la nave en peligro, entonces una vez determinado la posición de la nave perdida con esta primera medición, se instruye a la nave de rescate de que se dirija hacia esas coordenadas.

Un tiempo después se ordena al buque perdido que emita otra vez los pulsos de auxilio, para hacer otra medición que fije nuevamente sus coordenadas. A continuación, se ordena al buque de rescate de que emita también pulsos de auxilio, para conocer su posición. Conociendo es-

tos nuevos valores se instruye a la nave de rescate sobre el nuevo rumbo que debe tomar. Esto se continúa hasta que finalmente el barco de rescate logre encontrar al barco perdido.

Una de las ventajas teóricas de este sistema con este tipo de operación, es de que los errores que se repiten, como por ejemplo los de calibración de equipos, ploteo de las curvas, etc. se cancelan mutuamente. Entonces solamente son los errores que no se repiten los que nos interesan.

#### 3.4. CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS EN EL DISEÑO TEÓRICO

Se realizó un estudio sobre las conveniencias e inconveniencias de usar determinado tipo de señal en las mediciones de diferencia de tiempo.

A pesar de que la señal senoidal es la más fácil de producir, sin embargo, el estudio que sobre ella se realizó nos convencieron de su total inutilidad en este tipo de mediciones.

Se ha escogido entonces la señal de pulso, cuyo período depende del siguiente análisis: supongamos que, hipo-

téticamente, tenemos una curva de posición de  $x$  diferencia de tiempo, graficado en la fig. (3-12).

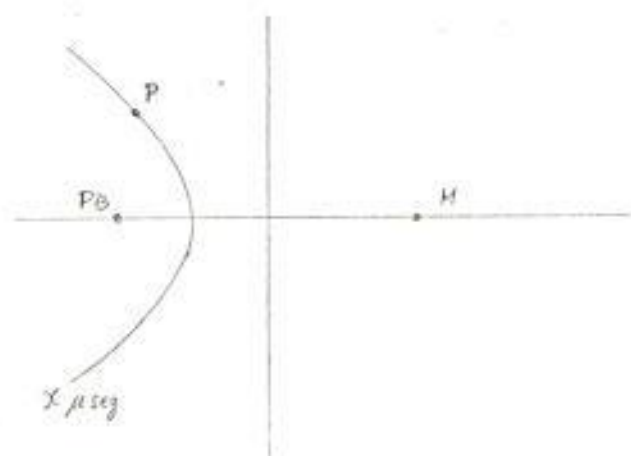


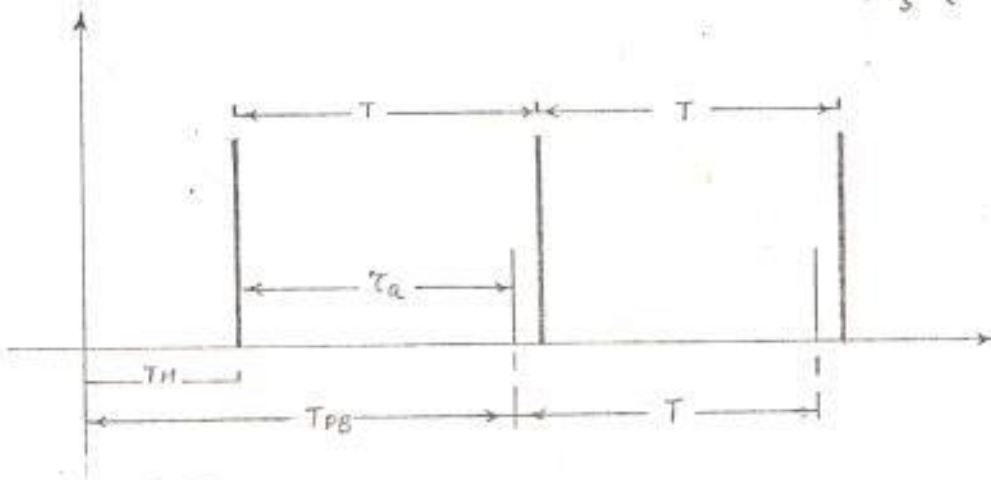
Fig (3-12)

Un barco en la posición  $P$  envía una señal de auxilio - que tiene un período, supongamos, de  $T$  unidades de tiempo.

La señal llega a Manta en  $T_M$  unidades de Tiempo; también llega a Puerto Bolívar, y de allí es retransmitido a Manta. Supongamos que  $T_{PB}$ , el tiempo total empleado, es menor que  $T$  unidades de tiempo.

Con un osciloscopio, estas señales aparecerán de la forma mostrada en la figura (3-13).

fig (3-13)



En cambio, si el período de los pulsos de auxilio fuese ahora  $T' < T$ , puede suceder el caso de que en un osciloscopio, las señales aparezcan como en la Fig. (3-14), donde  $T_{PG}$  es mayor que  $T'$  unidades de tiempo.

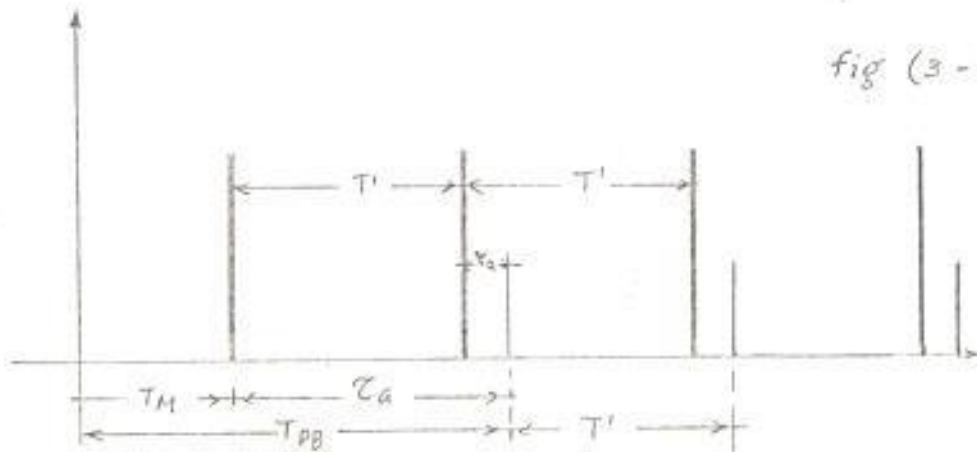


fig (3-14)

Vemos la fig. (3-14) que el pulso esclavo llega después del segundo pulso maestro. ¿Cuál de los valores  $\tau_a$  de la fig. (3-14) es la correcta? El operador no lo puede saber. Esta dificultad se supera, si logramos que en cualquier posición en que el barco esté, el pulso esclavo

vo siempre debe llegar antes del segundo pulso maestro.

Esto se logra con la condición de que el período entre los pulsos de auxilio que llegan a la estación maestra sea mayor que la máxima diferencia de tiempo entre el primer pulso de auxilio que llega a Manta y el primer pulso de auxilio retransmitido por la estación esclava.

Para escoger un valor de período de los pulsos de auxilio que cumpla la mencionada condición, tenemos primeramente que hacer el siguiente análisis: supongamos que una nave se encuentra en Manta. Al radiar su señal de auxilio, esta es detectado tanto por la estación maestra como por las estaciones esclavas. Concentrando por el momento nuestro interés por la señal detectado por Esmeraldas, esta que viaja a la velocidad de la luz llega a dicha estación en un tiempo que se lo puede calcular teóricamente, mediante la línea de base que une ambas estaciones. Para ello se tiene:

$$LB = (H_1^2 + H_2^2)^{1/2} \quad (3-22)$$

$$LB = \left[ (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 \right]^{1/2} \quad (3-23)$$

$$LB = \left[ (300 - 183)^2 + (102 - 162)^2 \right]^{1/2} \quad (3-24)$$

$$LB = 132 \text{ millas} \quad (3-25)$$

$$\tau = \frac{132}{0,161987 \times 10^6} \quad \tau = 815 \mu \text{seg} \quad (3-26)$$

La señal de auxilio llega a Esmeraldas en 815  $\mu$ seg. Como el diseño del sistema especifica que dicha señal debe ser retrasmítido nuevamente a Manta, entonces esta llega otra vez a la estación maestra en  $t_{E_2}$   $\mu$ seg.

Si hacemos el mismo análisis para el otro par de estaciones, entonces obtenemos el valor de la línea de base Puerto Bolívar. Manta, la misma que es de 910  $\mu$ seg.

Por lo tanto, para que en las mediciones de diferencia de tiempo no suceda como lo graficado en la fig. (3-14), entonces el período  $T$  de los pulsos de auxilio debe de ser:

$$T > (910 + t_{PB_2}) \quad \mu \text{seg.} \quad (3-27)$$

$$T > (815 + t_{E_2}) \quad \mu \text{seg.} \quad (3-28)$$

El valor de  $t_{E_2}$  es siempre mayor de 815  $\mu$ seg. ya que la demora de los equipos en la retrasmisión de la señal, y el medio en el cual ésta viaja otra vez a Manta originan retardos.

La señal de auxilio que es retrasmítido desde Puerto -

Bolívar llega a Manta en un tiempo  $t_{pBh}$  mayor de 910  $\mu$ seg.  
por las mismas consideraciones que en el caso anterior.



## CAPITULO CUARTO

### PRUEBAS SOBRE EL SISTEMA

#### 4.1. INTRODUCCION

No ha sido posible hasta ahora comprobar si este sistema de Radiolocalización funciona en la práctica.

Uno de los mayores problemas con que se ha tropezado es la falta de los equipos e informaciones necesarias para llevar a cabo las experiencias tendientes a colocar al sistema en condiciones de operación.

Las pruebas que se realizaron trataban de cumplir diferentes objetivos señalados en la teoría del diseño. Una de ellas se refería a la producción de pulsos que pudieran servir para hacer medición de diferencia de tiempo. Otra de las pruebas tenía por finalidad encontrar un método para hallar los valores de  $t_{PBk}$  y  $t_{Ek}$ .

Las señales de auxilio que llegaban a las estaciones esclavas podían ser retransmitidas a la estación maestra de diferentes formas teóricamente: por teléfono, por radio, por línea física, etc.

Se escogió, tentativamente, el método de retrasmisión de la señal de auxilio por medio del teléfono, por disponer a la mano de esos aparatos; y se realizaron las pruebas tendientes a encontrar la manera de medir  $t_{PBn}$  y  $t_{En}$  usando este método.

Las pruebas realizadas tuvieron lugar algunas de ellas, en el Instituto Oceanográfico de la Armada, otras en la Escuela Superior Politécnica del Litoral y también en la oficina comercial del autor de la presente obra.

#### 4.2. PRUEBAS REALIZADAS

##### 4.2.a. Cálculo de error de la traza del Osciloscopio

Una de las pruebas realizadas, aparentemente la que se suponía que debería de ser la más sencilla, ha sido la de efectuar una medición de diferencia de tiempo entre 2 señales, mediante un osciloscopio con doble base de tiempo.

Del diagrama de bloque de la fig. [3-11], se especifica que en la Estación Maestra se efectuará las mediciones para determinar la posición de un barco. Para realizar dichas mediciones vamos a usar un osciloscopio, y como la traza del osciloscopio tiene un ancho de una cantidad  $x$

de  $\mu$  seg. necesitamos saber si el error que se produce en la medición con la misma puede o no considerarse aceptable.

Como sabemos, una traza fina como el dibujado en la fig. (4-1), da una lectura de, supongamos, 8 cuadros que

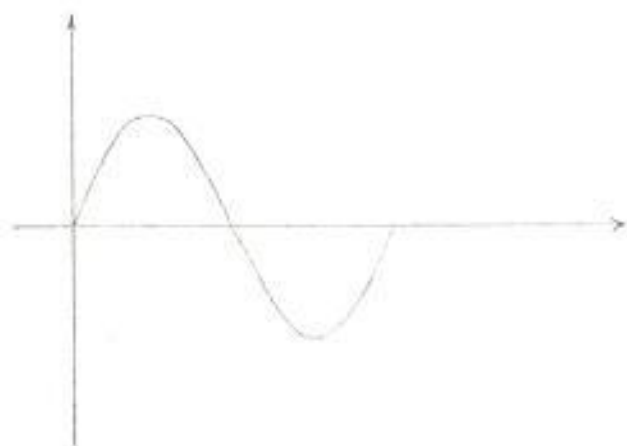


fig (4-1)

conforma el período. Pero si la traza fuera un poco más gruesa, como el dibujado en la fig. (4-2), entonces pode

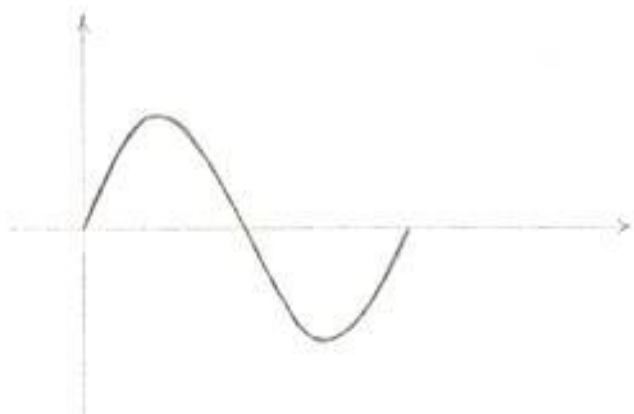


fig (4-2)

mos cometer un error en la lectura de su período, y en vez de leer 8 cuadros, podemos estar leyendo 8,05 u 8,1 cuadro.

Como se ha dicho, una de las pruebas que se va a efectuar consiste en realizar una medición de diferencia de tiempo entre 2 señales, usando un osciloscopio con doble base de tiempo. De los osciloscopios disponibles en el laboratorio de Electrónica, se tiene el modelo Tektronix 5103N. Esta tiene 3 casillas, en donde se instalan 3 unidades enchufables. Una de las unidades usadas tiene la referencia 5B12N, que es la base del tiempo doble. Las otras 2 unidades usadas son los amplificadores verticales.

Uno de los modos de la unidad 5B12N hace disparar el segundo barrido (barrido retardado) un tiempo después de haberse disparado el primero (barrido de retardo); ese tiempo depende de nuestra selección. Además el barrido de retardo tiene relación con la unidad amplificadora enchufada en el casillero izquierdo, y el barrido retardado lo tiene con la unidad amplificadora enchufada en el casillero central.

Una señal que llega al amplificador izquierdo hace dis

parar el barrido de retardo, mostrándose dicha señal en la pantalla por medio de la traza de este barrido. El otro barrido dispara después del primero, en un tiempo seleccionado de antemano.

Si hay otra señal aplicado al amplificador central, esta se muestra mediante la traza del barrido retardado. Si el tiempo de retardo seleccionado es igual al retardo de la segunda señal, entonces las dos señales aparecerán en la pantalla del osciloscopio en la misma posición, y se conoce entonces la diferencia de tiempo entre las 2 señales.

Mediante un dial se hace la superposición de ambas señales, y tratamos de que esta superposición sea lo mejor posible. Pero esto es muy difícil, por lo tanto, tenemos que considerar un error de media traza en la superposición, y así a partir de este dato veremos a cuanto  $\mu$  seg. equivale.

Con esa fecha, el Departamento de Ingeniería Eléctrica no disponía de osciloscopio con doble base de tiempo, y para saber si el error de superposición de 2 ondas puede considerarse aceptable en la lectura de medición de diferen-

cia de tiempo, se convino en hacer lo siguiente: usando un osciloscopio disponible en el laboratorio de Electrónica, se determina a cuanto  $\mu$  seg. ocupa el ancho de su traza. Conociendo dicho valor, se calcula para un ancho de  $1/2$  traza, y ese valor corresponderá el error. Dicha prueba se realizó de la siguiente forma:

Conectamos un generador de señal al osciloscopio HP-141A; y el período  $t$  de dicha señal es de 860  $\mu$ seg.

$$\therefore t = 860 \mu\text{seg.} = \frac{1}{f}$$

Usando una base de tiempo de 50  $\mu$  seg./cuadro; vimos que el ancho de una traza era la siguiente:

$$1 \text{ traza} \longrightarrow 0,05 \text{ partes de } 1 \text{ cuadro}$$

Como existe hasta un error de  $1/2$  traza en la superposición entonces:

$$1/2 \text{ traza} \longrightarrow 0,025 \text{ partes de } 1 \text{ cuadro.}$$

Siendo la base de tiempo de 50  $\mu$  seg./cuadro, entonces la  $1/2$  traza va a ocupar la siguiente cantidad de  $\mu$  seg.

$$0,025 \text{ cuadro} \times 50 \frac{\mu \text{ seg.}}{\text{cuadro}} = 1,25 \mu \text{ seg.}$$

Dicho valor de 1,25  $\mu$  seg. se encuentra dentro del rango aceptable de errores permisibles (que es de hasta 2  $\mu$ seg), y por lo tanto su efecto en la lectura se considera aceptable.

Ahora, si en vez de 50  $\mu$  seg./cuadro usamos una base de 1m seg/cuadro entonces la traza ocupa la siguiente cantidad de  $\mu$  seg.

$$0,025 \text{ cuadro} \times \frac{1 \text{ m seg.}}{\text{cuadro}} = 0,025 \text{ m seg.}$$

Como vemos, al efectuar la medición en esta otra base de tiempo, hay un error bastante grande en comparación con la anterior, y por lo tanto; de ser siempre posible, las mediciones lo efectuaremos con una base de tiempo la menor posible.

#### 1.2.b. Métodos de Producción de Pulsos

Las pruebas efectuadas en el Instituto Oceanográfico de la Armada tenía por finalidad producir pulsos que pu-

diesen servir para hacer medición de diferencia de tiempo.

Aunque a primera instancia la producción de pulsos presupone la existencia de un generador de los mismos, sin embargo, se razonó de que si una nave pequeña que sufrió un percance en alta mar no dispone sino solamente de un radio trasmisor a bordo, entonces ¿cómo podrá originar los pulsos necesarios solamente con este equipo?

Una primera idea de que si se golpeaba al micrófono del radiotransmisor, entonces era bastante probable de que ese golpe originaba impulsos. Las pruebas que se efectuaron con mira a lograr este propósito fueron las siguientes:

Primeramente, usamos para la producción de pulsos, una grabadora que tenía las siguientes características:

Tipo electrodinámico

model EL 3757/100

rango de frecuencias: 15 Hz - 15.000 Hz

marca: Phillips

110 volt/60 cps

Tipo de grabadora EL 3534/01 A

Serial 082334



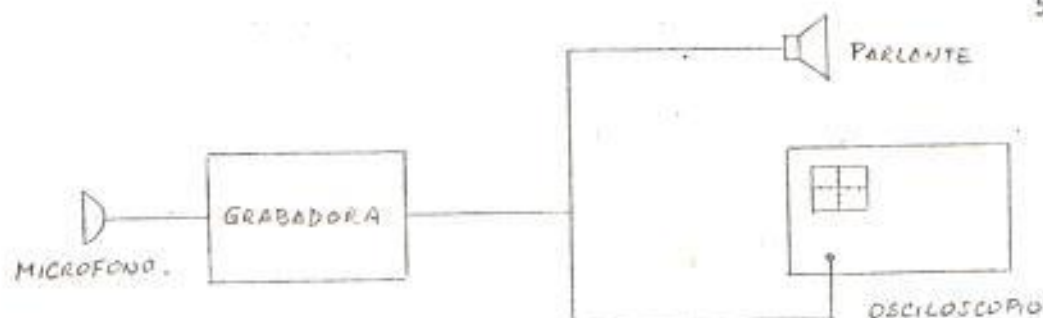


fig (4-3)

Con la base de tiempo de 10 m seg/cuadro y sin golpear todavía al micrófono no apareció en la pantalla una onda como la dibujada en la fig. (4-4)

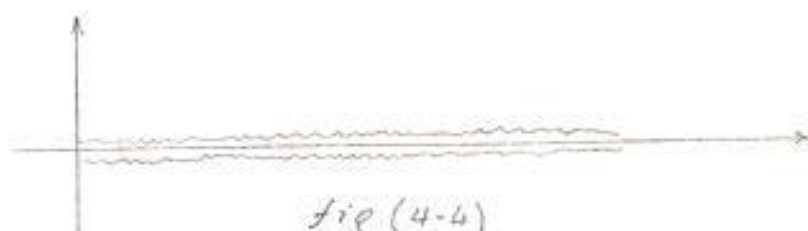


fig (4-4)

Bajo esas condiciones, al hablar por el micrófono, esa onda no varía casi nada; pero al golpear al micrófono apareció un pulso de la siguiente forma:

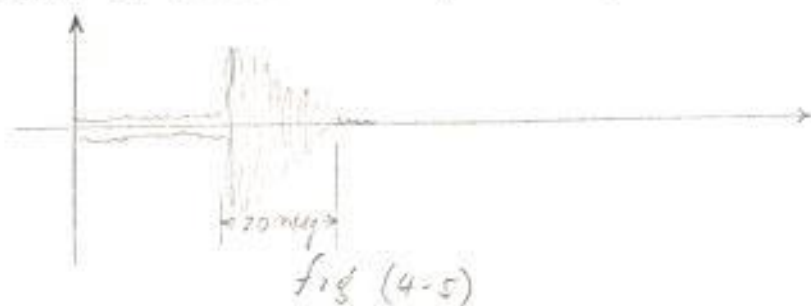


fig (4-5)

La duración aproximada del pulso fue de:

$10 \frac{\text{mseg}}{\text{cuadro}} \times 2 \text{ cuadros} \therefore t_d = 20 \text{ mseg.}$  que es el tiempo aproximado de duración.

La frecuencia aproximada del pulso ha sido de:

$12 \text{ ciclo} \rightarrow 20 \text{ mseg.} \therefore f = \frac{12 \text{ ciclo}}{20 \text{ mseg.}} = 600 \text{ Hz.}$

es la frecuencia de la onda que conforma el pulso.

Repetimos la experiencia de producción de impulsos pero en esta ocasión, en vez de usar la grabadora, usamos un equipo de radiotransmisión marca Thunderbird, igual a los usados en los barcos de la Armada Nacional. El sistema es así:

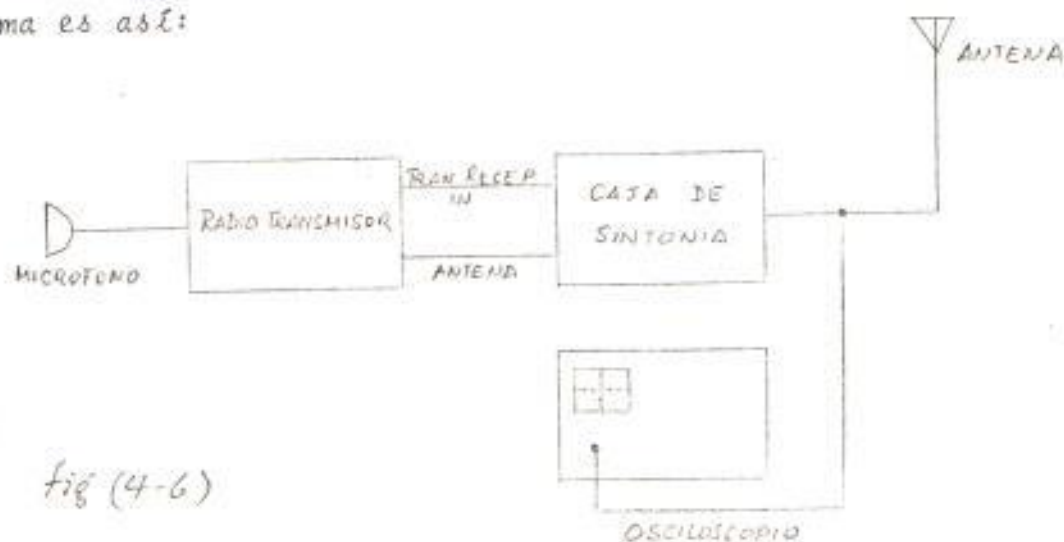


fig (4-6)

Trabajamos en el Canal 1 de 4420 KHz, VSB.

Usamos probador con un magnifier x 100

El osciloscopio se encuentra conectado a la antena, y al golpear al micrófono se producen pulsos modulados que son detectados por el osciloscopio. La base de tiempo empleado es 10 mseg/cuadro, y el vertical se lo colocó en 50 volts/cuadro.

Al golpear el micrófono, aparecieron una serie de pulsos con un sólo golpe, tal como lo vemos en la fig. (4-7).



fig (4-7)

Estos pulsos tienen duraciones de tiempo diferentes; y además, se repiten en intervalos desiguales. Pero su amplitud permanece constante cualquiera que sea la fuerza con que golpeamos al micrófono.

Con este caso, la amplitud A de los pulsos fueron de:

$$50 \frac{\text{volts}}{\text{cuadro}} \times 2,6 \text{ cuadro} \dots A = 130 \text{ volts pico a pico}$$

Estos son pulsos de radio frecuencia, a 4420 KHz de portadora, dentro de la envolvente. La duración promedio de estos pulsos ha sido más o menos:

$$3,5 \text{ cuadro} \times 10 \frac{\text{mseg}}{\text{cuadro}} \dots T_d = 35 \text{ mseg.}$$

Repitiendo la prueba, pero esta vez conectando el osciloscopio ya no a la antena, sino a la salida del micrófono:

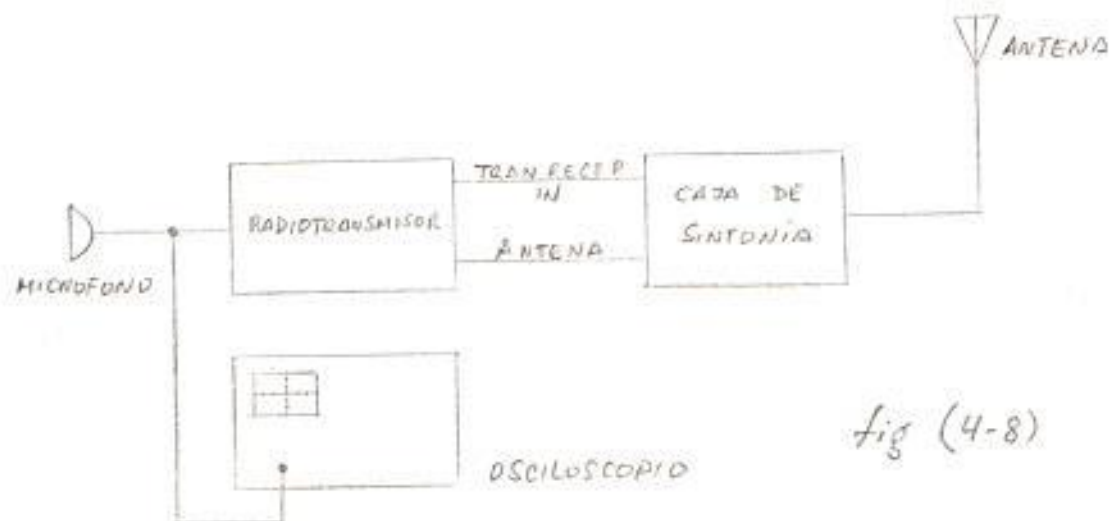


fig (4-8)

Se creyó necesario este cambio ya que en la práctica necesitamos recibir pulsos de radio frecuencia y demodularlo; una vez hecho eso conectarlo a la entrada del oscilós-

copio. Como no disponemos de un sistema de demodulación, por eso hacemos dicho cambio.

Bajo esta nueva situación, a cada golpe en el micrófono se produce un sólo pulso, de 2 volts de amplitud pico

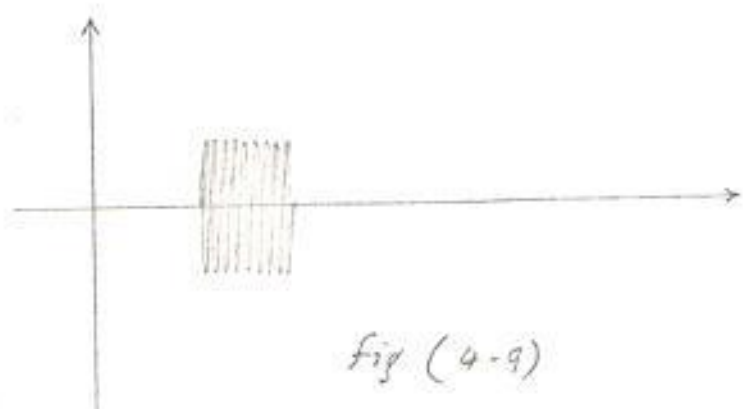


Fig (4-9)

a pico; ya no aparece una serie de pulsos como en el caso anterior.

Aproximadamente, la duración del pulso ha sido de:

$$10 \frac{\text{mseg}}{\text{cuadro}} \times 2,4 \text{ cuadro} \therefore T_d = 24 \text{ mseg.}$$

Al cambiar la base de tiempo, se ha podido notar algo interesante: este pulso tiene un contenido de radiofrecuencia de 1500 KHz; es la frecuencia de la onda contenida en la envolvente. Esta señal de radiofrecuencia era debida

al oscilador local de las etapas que seguían, y que debido a la gran sensibilidad se pudo detectarlo. Esa señal de radiofrecuencia entraba al micrófono, y por ende al osciloscopio donde fue detectado.

Con la base de tiempo de 2  $\mu$  seg, he tomado datos sobre la onda de radiofrecuencia:

3 ciclo  $\rightarrow$  2  $\mu$ seg.  $\therefore f = \frac{3 \text{ ciclo}}{2 \mu\text{seg.}} \quad f = 1500 \text{ KHz}$  la frecuencia de la onda contenido en la envolvente.

Variando más la base de tiempo se pudo apreciar la envolvente de ancho, sus datos son:

8 ciclos  $\rightarrow$  4000  $\mu$ seg.  $\therefore f_a = \frac{8 \text{ ciclo}}{4000 \mu\text{seg.}} \quad f_a = 2000 \text{ Hz}$

es la frecuencia de la envolvente de ancho.

El uso de los pulsos producidos de esa manera presentan dificultad para nuestro objetivo, cual es la de efectuar medición de diferencia de tiempo entre 2 señales, en  $\mu$  seg. La duración mínima de estos pulsos no dejan de ser por lo menos de 20.000  $\mu$ seg. Si la medición de diferencia de tiempo entre 2 pulsos de esas características se realiza con una base de 5 mseg/cuadro, entonces es muy

difícil apreciar el retardo de una señal con respecto a la otra en  $\mu\text{seg.}$  En cambio si se coloca para la medición con la base en  $\mu\text{seg.}$ , entonces el ancho de los pulsos ocuparía toda la pantalla, y aunque es posible variar la base de tiempo hasta que aparezca un período del impulso, sin embargo el procedimiento será muy laborioso, y no lo hemos realizado.

### 2.c. Medición de un retardo urbano entre dos señales.

Las pruebas realizadas en la Politécnica tenía por finalidad la de producir retardo en una señal con respecto a otra, y de efectuar una experiencia de medición de ese retardo con el osciloscopio. Cabe anotar que en la fecha en que se realizaron las pruebas en la Politécnica, el Departamento de Ingeniería Eléctrica todavía no disponía de osciloscopio con doble base de tiempo.

Se esperaba de estas pruebas, si se coronara con éxito, abrir el camino que nos conduzca a la obtención de los valores  $t_{PBK}$  y  $t_{EK}$ , y por ende de disponer de un método para la retrasmisión de la señal de auxilio de esta estación a estación.

Para lograr producir un retardo, hablamos razonado de

la siguiente manera: usando 2 teléfonos de diferentes números se ponían en comunicación el uno con el otro. La entrada a un canal del osciloscopio se lo conecta con la cápsula de habla del primer teléfono, y la entrada al otro canal se conecta con la cápsula de escucha del otro teléfono. Dando un golpe en la cápsula de habla del primer teléfono, se produce un impulso que es registrado en el canal del osciloscopio al cual se encuentra conectado dicho teléfono. El impulso llega a la cápsula de escucha del segundo teléfono, y es registrado en el otro canal del osciloscopio al cual se encuentra conectado el mismo.

Como el impulso ha tenido que recorrer una distancia cubierta por el servicio telefónico: desde el primer teléfono a la central telefónica y de allí al segundo teléfono, entonces llega con cierto retraso. En ese retraso que queremos medir, para así adquirir cierta experiencia en esta clase de medición.

En esta prueba usamos los teléfonos 303043 y 303044 - de la Secretaría de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, un osciloscopio Tektronix 5103N, con panel D15 de almacenamiento.



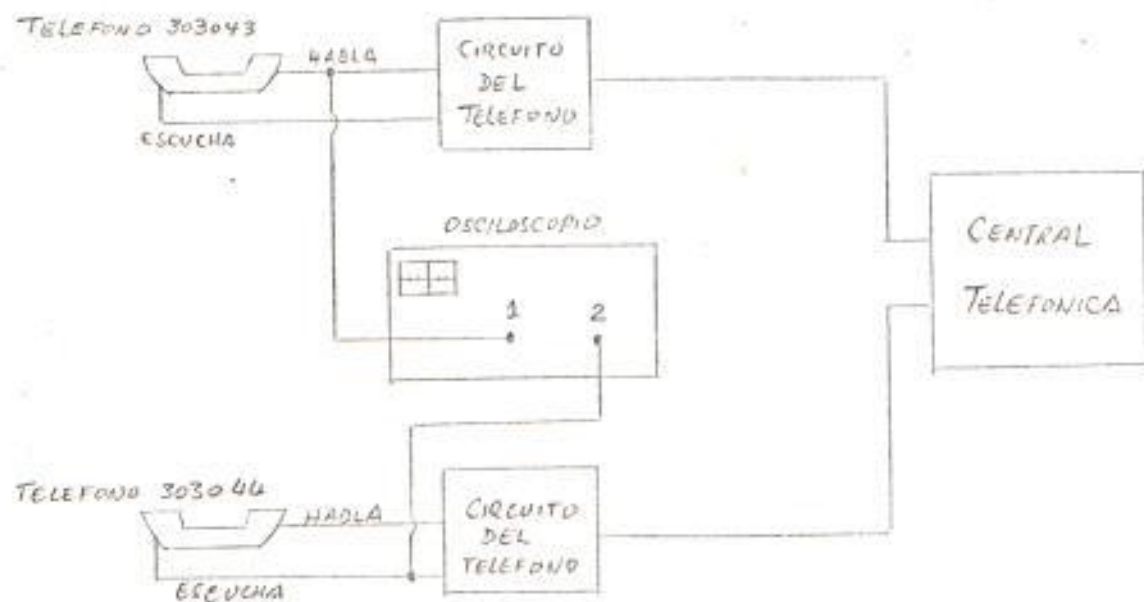


Fig (4-10)

La cápsula de habla del teléfono 303043 se encuentra conectado al canal 1 y la cápsula de escucha del teléfono 303044 se conecta con el canal 2.

La base de tiempo empleado fue de 0,1 mseg/cuadro. La vertical del canal 1 es de 5 volts/cuadro. La vertical del canal 2 es de 1 volts/cuadro.

Como en el trasmisor habla un voltaje continuo que variaba entre - 7 volts y - 5,6 volts, se conectó en el canal 1 el acoplamiento capacitivo para eliminar el valor continuo.

Al golpear al teléfono 303043; aparecieron en el osciloscopio las siguientes ondas:

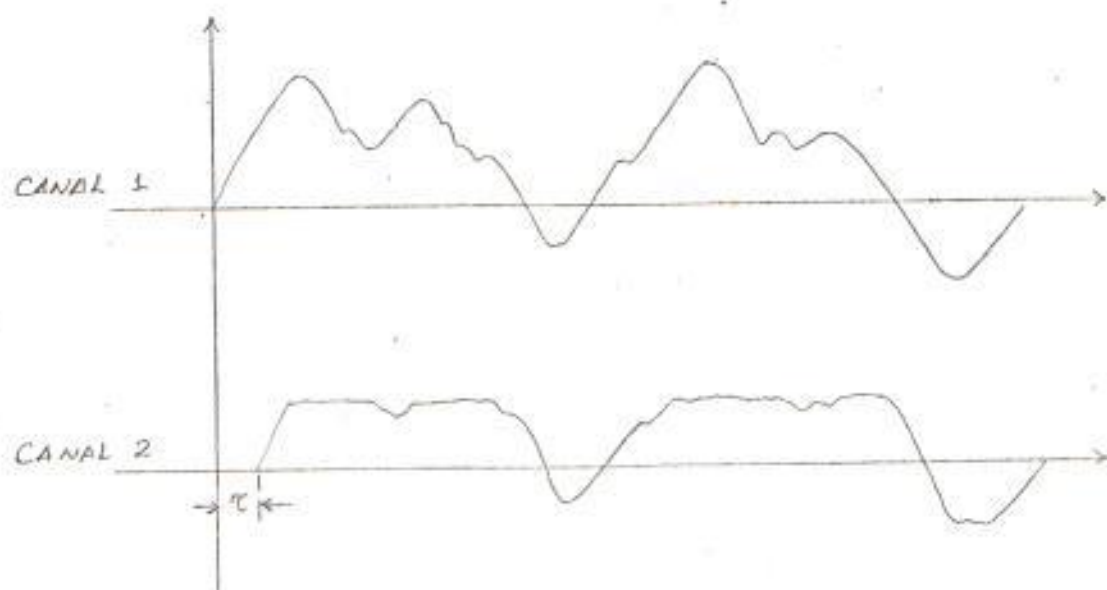


fig (4-11)

La diferencia de tiempo  $\tau$  ha sido de 25  $\mu$  seg. pero es un valor aproximado, porque la medición se realizó sin la doble base de tiempo. Además la onda de recepción tiene cierta limitación en la amplitud.

Al tratar de explicar las consecuencias de esta prueba, nos hemos encontrado ante un problema no imaginado: la falta de información sobre el circuito de teléfono; ya sea en lo referente a datos técnicos, ya sea en la falta de un diagrama explicativo de los componentes del circuito, etc.etc.

Ante tal situación se ha tenido que obtener los mayores

datos posible por cuenta propia: desmenuzado el circuito impreso del teléfono, seguir paso a paso cada componente y dibujar el diagrama del mismo. Realizar mediciones y pruebas con los componentes desconocidos para saber qué elemento es, etc. etc.

A pesar de que no ha sido posible descifrar la función de todos los elementos que componen el circuito impreso del teléfono, sin embargo se ha logrado obtener un circuito más detallado del mismo, cuyo diagrama se encuentra dibujado en la fig. (4-12). Se ha obtenido también, mediante un trazador de curvas, las gráficas correspondientes a varios elementos que conforman el circuito impreso del teléfono. Dichas curvas son las dibujadas en las figs. (4-13) (4-14) y (4-15).

fig (4-12)

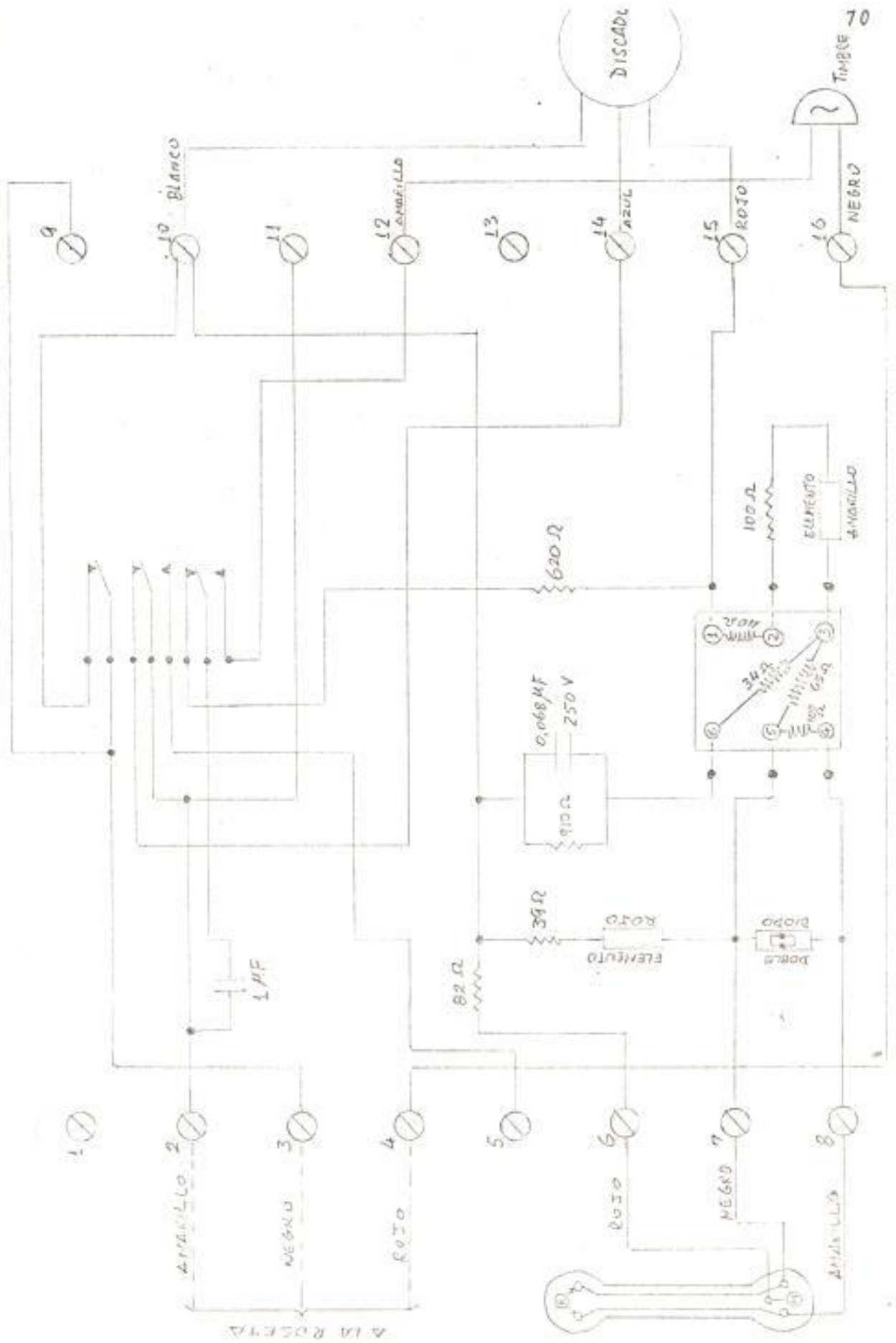


GRÁFICO DEL ELEMENTO ROJO

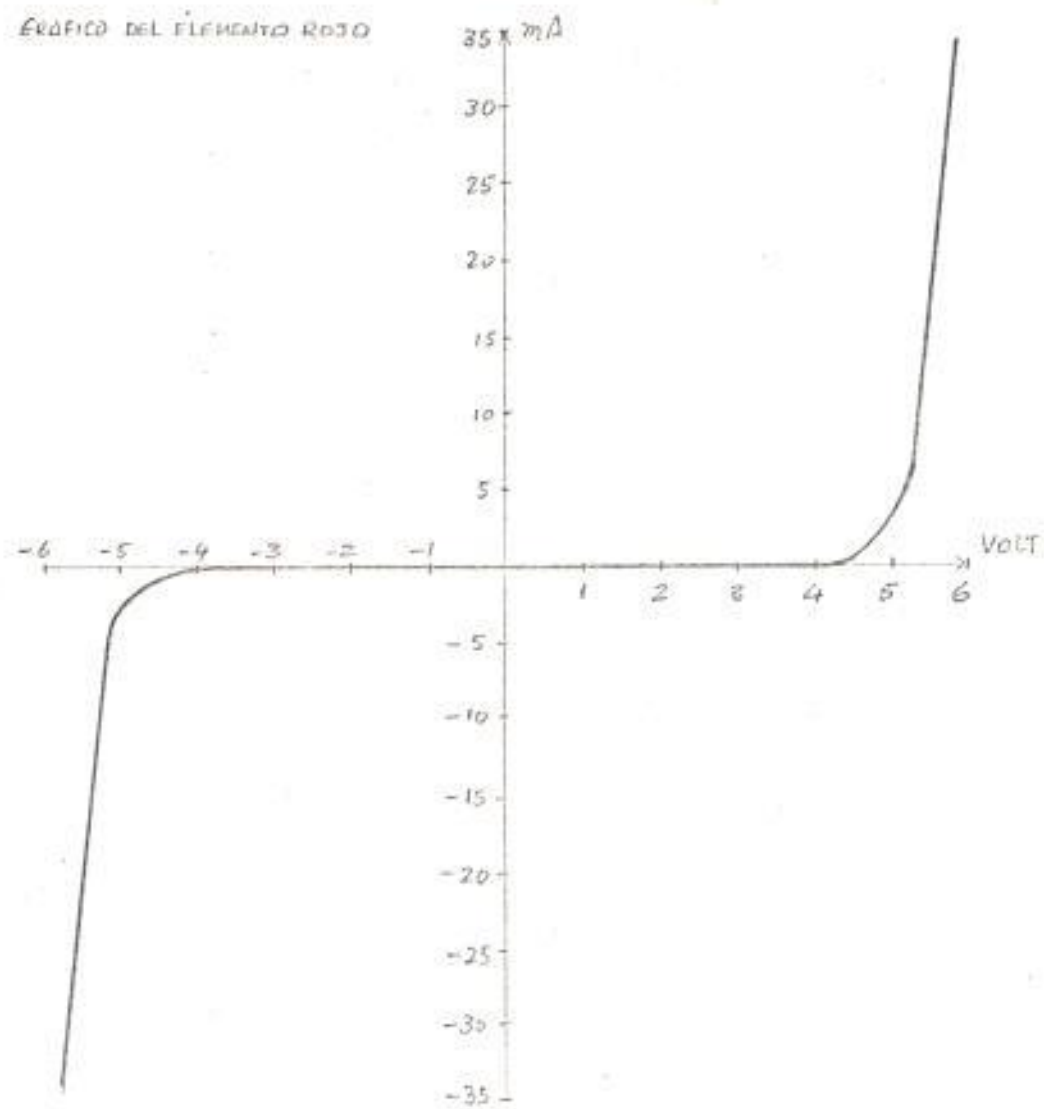


fig (4-13)

GRAFICO DEL ELEMENTO AMORILLO

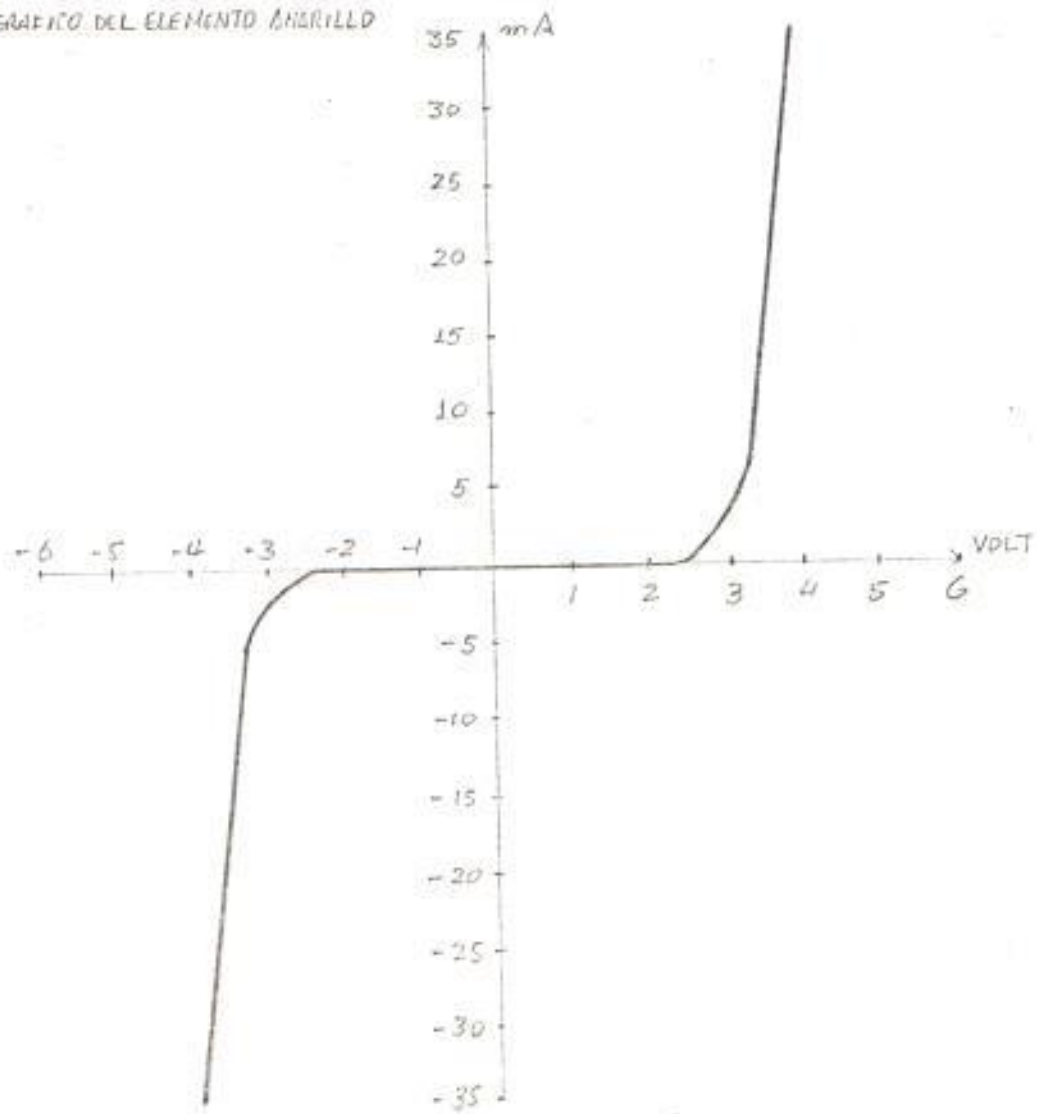


fig (4-24)

GRÁFICA DEL ELEMENTO DIDDO

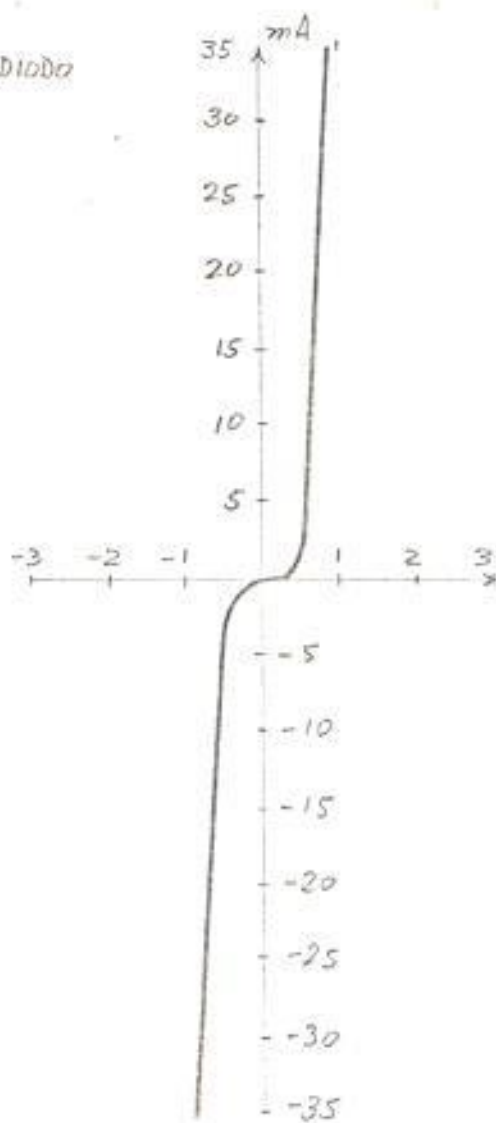


fig (4-15)

Aunque no entendemos bien el funcionamiento del circuito telefónico, sin embargo, lo que nos muestra el circuito de la fig. (4-12) satisface nuestra primera inquie tud: en la fig. (4-11) la onda de recepción tiene una limitación en su amplitud. Esto se debe a la presencia de un elemento "doble diodo" que es un limitador de amplitud, colocado en los puntos 7 y 8 ver fig. (4-12) donde es justamente las conexiones a la cápsula de recepción.

Además, vemos también en la fig. (4-12) una especie de transformador; pero no sabemos exactamente qué funcción desempeña este en el circuito, ni cómo trabaja. Nues tro esfuerzo desplegado con la finalidad de conseguir más información de otra fuente sobre este transformador, resultaron infructuosos.

Las pruebas y mediciones realizadas a este transforma dor no nos revela gran cosa: hemos hecho prueba de continuidad en todos los bornes, y encontramos la resistencia que existen entre ellos. Sus valores se encuentran dados en la fig. (4-12).

Además, medimos también la relación de transformación que hay entre sus bornes, empleando para ello una señal



de 1.000 Hz, que aplicado a los bornes 1 y 2, se mide el voltaje de salida  $V_{out}$  en todos los otros bornes. Los resultados obtenidos de la experiencia se encuentran tabulados en la siguiente tabla:

BORNES	$V_{in}$ (volts)	$V_{out}$ (volts)	Fase	R de $T_R$
1 - 2	2		$0^\circ$	1,6
6 - 5		3,2	$180^\circ$	
1 - 2	2		0	0,6
6 - 3		1,2	$180^\circ$	
1 - 2	2		$0^\circ$	1,05
3 - 5		2,1	$180^\circ$	
1 - 2	2		$0^\circ$	1,9
5 - 4		3,8	$0^\circ$	

TABLA (4-1)

Se obtuvo los mayores datos que han sido posible, con la esperanza de que estos nos sirvieran para entender mejor el funcionamiento del circuito telefónico, y de esa forma poder continuar con nuestros experimentos.

#### 4.2.d. Medición de un retardo interurbano entre dos señales

##### a) ANALISIS TEORICO

Para producir un retardo apreciable entre 2 señales, es

necesario que la distancia que tengo que recorrer una señal desde un teléfono al otro sea muy grande.

Localmente es muy difícil conseguir ese retardo; sin embargo, si enviamos la señal más lejos, por ejemplo a Salinas, y de allí que regrese nuevamente, entonces teóricamente se puede conseguir un retardo significativo.

El regreso de la onda desde Salinas a Guayaquil debe hacerse por el mismo recorrido que el empleado en su viaje de ida, y esto se logra si, teóricamente, conectamos en la roseta del teléfono de Salinas un capacitor que simula una especie de cortocircuito a la línea de transmisión telefónica.

Esta condición es muy importante, ya que en caso de tener éxito la prueba, podemos entonces medir  $t_{PB}$  y  $t_{ER}$  usando este método: 2 teléfonos, uno en Manta y el otro en Esmeraldas se encuentran en comunicación; se ordena colocar entonces un capacitor en la roseta del teléfono de Esmeraldas. Desde Manta se envía un pulso que viaja hasta Esmeraldas y al llegar al otro extremo de la línea se encuentra con el cortocircuito y se refleja, regresando por la misma línea al teléfono de Manta.

Midiendo el tiempo total empleado desde la emisión -

del pulso, hasta su recepción otra vez desde Esmeraldas, y dividiéndolo para dos obtenemos  $t_{ER}$ .

Además, otro beneficio en caso de éxito en esta prueba, era que se disponía ya de un método para la retrasmisión de la señal de una estación a otra.

Como los impulsos producidos al golpear la cápsula de habla del microteléfono no son los apropiados en esta prueba, entonces se ha decidido diseñar un circuito multivibrador que sea capaz de producir pulsos con las características adecuadas de período y duración. Dichas características depende del siguiente análisis.

Según estudiamos en líneas de transmisión, el cortocircuitar o al dejarlo en circuito abierto el terminal de la línea, se produce una onda reflejada.



Fig (4-16)

La impedancia de la línea es  $Z_0$ , es la impedancia ca

racterística. La impedancia al extremo de la línea es  $Z_u$ . El valor de esta impedancia es de:

$$Z_u = -j \times c = -j \frac{1}{\omega c}$$

Se supone que  $c$  es una constante.

El coeficiente  $\Gamma$  de reflexión es igual a:

$$\Gamma = \frac{Z_u - Z_0}{Z_u + Z_0} \quad (4-1)$$

Reemplazando  $Z_u$  en (4-1) se tiene:

$$\Gamma = \frac{-j \frac{1}{\omega c} - Z_0}{-j \frac{1}{\omega c} + Z_0} = - \frac{Z_0 + j \frac{1}{\omega c}}{Z_0 - j \frac{1}{\omega c}} \quad (4-2)$$

Sea:

$$Z_1 = Z_0 + j \frac{1}{\omega c} ; Z_1 = \Gamma e^{j\theta} \quad (4-3)$$

$$Z_2 = Z_0 - j \frac{1}{\omega c} ; Z_2 = \Gamma e^{-j\theta}$$

Por lo tanto:

$$\Gamma = - \frac{Z_1}{Z_2} = - \frac{e^{j\theta}}{e^{-j\theta}} \quad (4-4)$$

De donde:

$$\Gamma = - e^{2j\theta} \quad (4-5)$$

donde el valor de  $\theta$  es:

$$\therefore \theta = \operatorname{arctg} \frac{X_c}{Z_0} = \operatorname{arctg} \frac{1}{Z_0 w c} \quad (4-6)$$

Al reflejarse la onda, lo hace con una cierta fase  $\theta$ . Este valor angular es un retardo, un error. Deseamos saber a cuantos microsegundos equivalen dichos grados.

Para ello, sean:

$\theta_{\Gamma}$  = desfase de la onda debido a la reflexión en grados

$f$  = frecuencia de la señal

$x_{\tau}$  = retardo equivalente en unidades de tiempo debido a  $\theta_{\Gamma}$ .

De donde se tiene:

$$x_{\tau} = \frac{\theta_{\Gamma}}{360^{\circ} f} \text{ en unidades temporales} \quad (4-7)$$

Agrupando fórmulas obtenidas se tiene:

$$\Gamma = - e^{2j\theta}$$

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{1}{Z_0 w c} \quad (4-8)$$

$$x_{\tau} = \frac{\theta_{\Gamma}}{360^{\circ} f}$$

Con un canal telefónico, su frecuencia va desde los 300 Hz hasta 3400 Hz, y necesitamos saber los errores - que se producen bajo las distintas frecuencias.

Vamos a calcular dichos errores, y tenemos como dato que  $Z_0$ , la impedancia de la línea telefónica, vale 600  $\Omega$ . El capacitor  $C$ , que cortocircuita un extremo de la línea  $\mu F$ , porque en las pruebas vamos a usar uno de ese valor; y por disponer a la mano del mismo.

Comenzamos los cálculos para las 2 frecuencias extremos, de 300 Hz, y 3400 Hz, y analizamos sus resultados.

- Para:

$$Z_0 = 600 \Omega \quad f = 300 \text{ Hz}$$

$$C = 100 \mu F \quad \omega = 1884 \text{ radianes}$$

$$\frac{X_C}{Z_0} = \frac{1}{Z_0 \omega C} = 0,00884$$

$$\theta = \arctg 0,00884 = 0^\circ 30'$$

$$\therefore 2\theta = 1^\circ$$

y el coeficiente de reflexión  $\Gamma$  vale:

$$\Gamma = -e^{2j\theta} \quad \therefore \Gamma = -1 \quad \underline{11^\circ}$$

El error producido sería entonces de:

$$\therefore x_T = \frac{1^\circ}{360^\circ \times 300} = 9,2 \mu \text{ seg.}$$

- Para:

$$Z_0 = 600 \Omega \quad f = 3400 \text{ Hz}$$

$$C = 100 \mu\text{F} \quad \omega = 21.352 \text{ radianes}$$

$$\frac{X_C}{Z_0} = 0,00078$$

$$\theta = \text{arctg } 0,00078 = 0^\circ 2,5' \quad \therefore 2\theta = 0^\circ 5'$$

El coeficiente de reflexión vale:

$$\Gamma = -e^{2j\theta} \quad \therefore \Gamma = -1 \angle 0^\circ 5'$$

El error producido será entonces de:

$$x_T = \frac{5' \times 1^\circ}{360^\circ \times 3400 \times 60'} = 0,067 \mu \text{ seg.}$$

Vemos que el error producido por la reflexión de la señal se minimiza mientras se aumenta la frecuencia de la misma. Este análisis debe ser tomado muy en consideración.

Al principio, se deseó utilizar el teléfono del Departamento de Ingeniería Eléctrica (que tiene conectado 4 extensiones en la misma línea) para hacer la prueba de medición de retardo. Tenemos los siguientes datos:

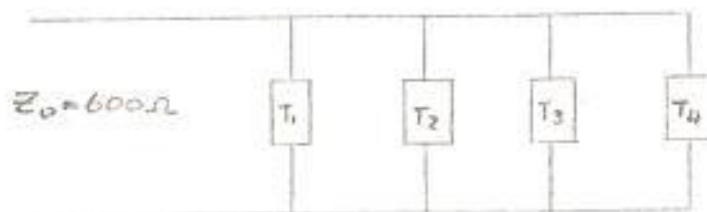


fig (4-17)

Se supone que los teléfonos  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  y  $t_4$  son de  $600 \Omega$ . El paralelo de los 4 teléfonos equivale a uno de  $150 \Omega$ .



fig (4-18)

Por lo tanto, la línea no está acoplada, y:

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{150 - 600}{150 + 600} = -0,6$$



es decir se refleja el 60% de la onda y con un desfase de  $180^\circ$ .

Si la amplitud de la onda reflejada es del 60% de la original, debemos tener cuidado de que esta onda no vaya a interferirse con el siguiente pulso que emita el multivibrador. Esto se logra haciendo que el multivibrador emita el siguiente pulso cuando ya la magnitud de la onda reflejada en sus continuas reflexiones valga solamente un valor igual al 1% de la amplitud de la onda original.

Para saber cuantos viajes se necesita para que la onda se atenúa hasta el 1% de su amplitud, tenemos que hacer el siguiente análisis:

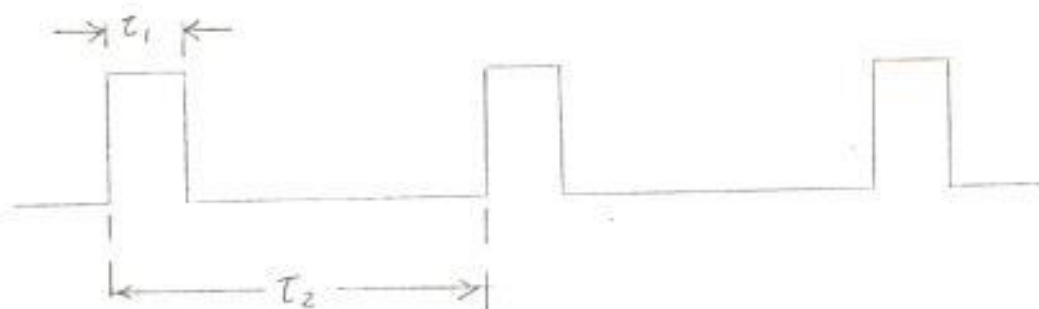
La onda de amplitud 100% parte desde Zu y llega a Salinas; encuentra un cortocircuito y regresa hasta Zu (1 viaje), y se refleja otra vez. La onda de amplitud 60% - sale nuevamente de Zu, llega a Salinas; encuentra un cortocircuito y regresa hasta Zu (segundo viaje). Se refleja otra vez. La onda de amplitud 36% sale otra vez de Zu y se repite lo mismo que en los casos anteriores.

Se continúa el desarrollo hasta que en el décimo viaje la onda tiene una amplitud de 1,08% de lo original.

Como nos es desconocido la distancia que cubre el servicio telefónico desde Guayaquil a Salinas, entonces se hizo necesario escoger un valor de tiempo que se toma la señal para llegar a Salinas, viajando desde Guayaquil.

Para ello hicimos la consideración de que la señal de auxilio viajaba por radio, en la línea recta que une a ambas ciudades. En ese caso se demora aproximadamente 800  $\mu\text{seg}$ . para llegar a su destino.

La duración de cada viaje sería de 1.600  $\mu\text{seg}$ ; siendo diez viajes se necesitaría 16.000  $\mu\text{seg}$ . para que la onda se atende al 1% de su valor original. Por lo tanto, necesitamos un generador de pulso de las características dadas en la fig. (4-19), para así evitar enmascara-



$$\tau_1 = 800 \mu\text{seg}$$

$$\tau_2 = 16000 \mu\text{seg}$$

fig (4-19)

miento de la señal reflejada y de la siguiente señal que se transmite.

El circuito multivibrador que sea capaz de producir pulsos de esas características es la dibujada en la fig. (4-20).

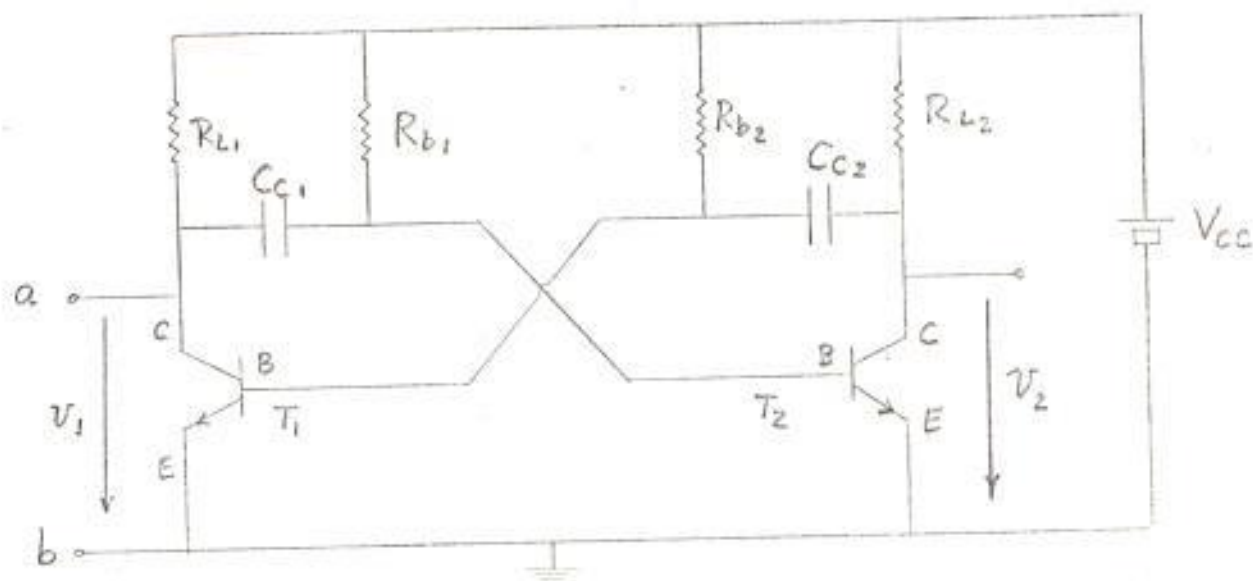


fig (4-20)

Los valores de los componentes son los siguientes:

Transistor  $T_1 = T_2$  marca Motorola A8D

$V_{cc} = 6$  volts.

$R_{L1} = R_{L2} = 1,2 \text{ K } \Omega$

$R_{b1} = R_{b2} = 41 \text{ K } \Omega$

$C_{c1} = 0,015 \mu\text{F}$

$C_{c2} = 1 \mu\text{F}$

Los pulsos que se obtuvieron tenían las siguientes características:

$$\tau_1 = 400 \mu \text{ seg.}$$

$$\tau_2 = 14000 \mu \text{ seg.}$$

Amplitud  $A = 6$  volts

## b) DESARROLLO EXPERIMENTAL

Por comodidad, las pruebas subsiguientes se realizaron en la oficina del autor de la presente obra.

Antes de realizar la experiencia de medición de retardo con una señal desde Salinas, mediante la emisión de pulsos del Multivibrador, se decidió una vez más repetir dicha prueba localmente, para ver qué resultado se obtenía.

Para ello, los 2 teléfonos del autor, 526448 y 527531 se ponían en comunicación el uno con el otro.

La señal  $v_1$  se lo conecta en los bornes 6 y 7 del teléfono 527531; según como es dibujado en la figura (4-21). En paralelo con esto se conecta la punta de prueba del osciloscopio 5103 N con doble base de tiempo.

La medición no mostró ningún pulso; solamente apareció en la pantalla un valor d-c de - 5 volts.

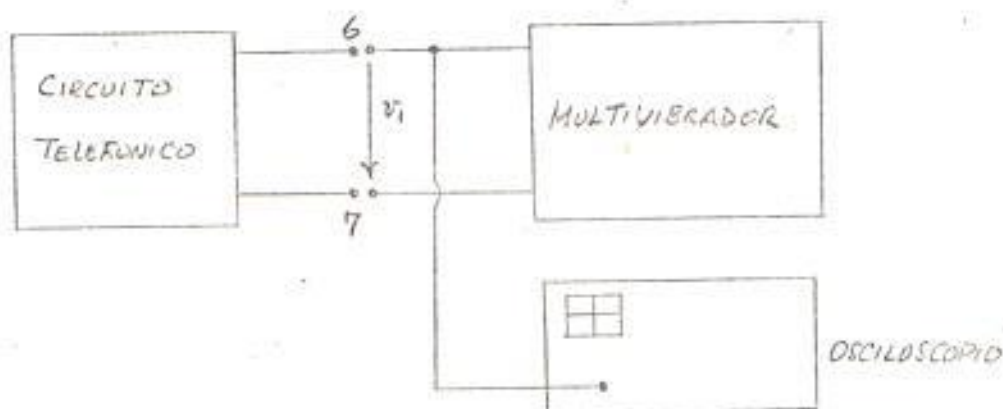


fig (4-21)

Sorprendidos por este resultado, se decidió averiguar la razón de ello. Se comenzó con realizar mediciones eléctricas en los bornes 1 - 8 del teléfono y además en la roseta de la misma.

Las mediciones realizadas en la roseta arrojaron los siguientes datos:

1) En la roseta, o a la entrada al teléfono:

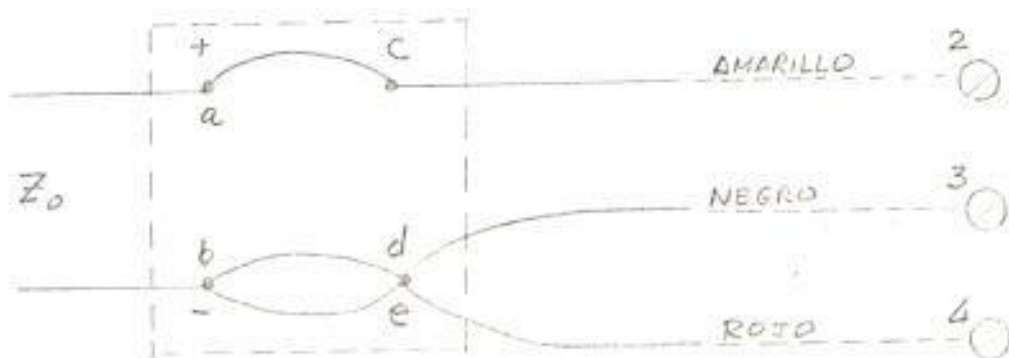


fig (4-22)

1-a) Sin comunicación con otro abonado:

voltaje (negro - rojo) = 0 volts

voltaje (negro - amarillo) = + 48 volts

1-b) Con comunicación con otro abonado:

voltaje (negro - rojo) = 0 volts.

voltaje (negro - amarillo) = de 6 a 7 volts, varía con la amplitud de la voz.

2) En el teléfono, puntos 6, 7 y 8 de fig. (4-12)

2-a) Sin comunicación con otro abonado:

voltaje en la cápsula de habla (negro-rojo) = 0 volts

voltaje en la cápsula de escucha (negro-amarillo) = 0 volts.

2-b) Con comunicación con otro abonado:

voltaje en la cápsula de habla (negro-rojo) =  
+ 4 volts a + 6 volts.

voltaje en la cápsula de escucha (negro-amarillo) =  
0 volts.

Los valores obtenidos en estas mediciones nos aclaran la presencia del valor d.c. de - 5 volts en la prueba anterior. Esto se debe a que existe en los bornes 6 y 7 del teléfono un voltaje de ese valor, y según la fig(4-21) a estos bornes se conecta la salida de colector del tran

sistor  $T_1$  del circuito multivibrador, y la medición hecha con el osciloscopio en esos puntos arroja justamente ese valor.

Es necesario encontrar la manera de poder transmitir los pulsos producidos por el multivibrador a través del teléfono.

Para ello, necesitamos aislar la acción que tiene el teléfono sobre el multivibrador de la fig. (4-20), colocando entre ambas conexiones una unidad de bloqueo; unidad que permite el paso de los pulsos producidos por el multivibrador al circuito del teléfono, pero que impide cualquier acción del teléfono al multivibrador.

Después de varias tentativas de diseño, se llegó al diseño mostrado en la fig. (4-23), cuyos valores de la unidad de bloqueo se detallan como sigue:

$$C_{C3} = 200 \mu F$$

$$C_{B3} = 100 \mu F$$

Transistor  $T_3$  marca Motorola A8D

$$R_{L3} = 1,2 K \Omega$$

$$R_{B3} = 41 K \Omega$$

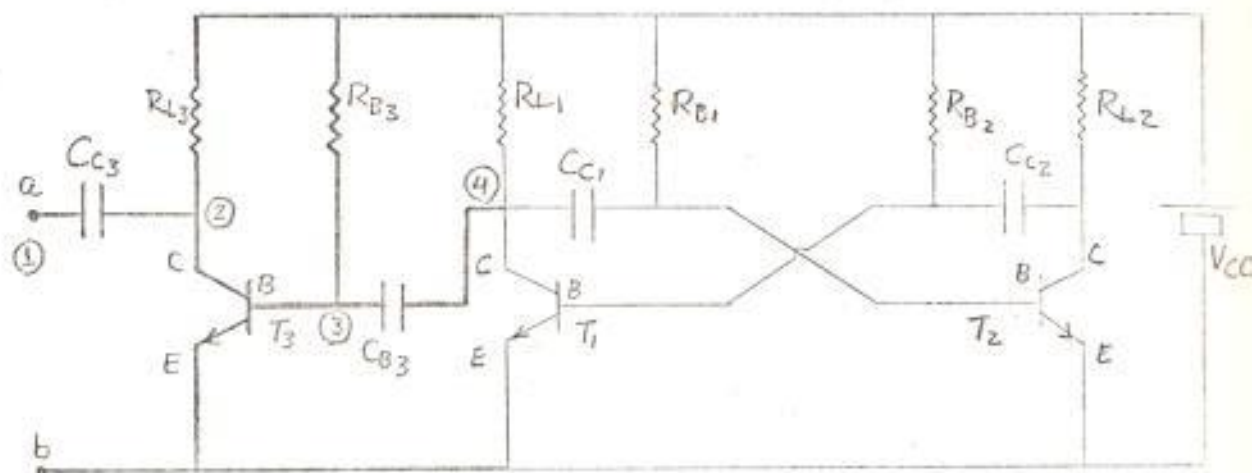


fig (4-23)

Los valores de los elementos del multivibrador no ha variado. Con el nuevo circuito repetimos nuevamente la experiencia, conectando los bornes a y b a los bornes 6 y 7 del teléfono. En paralelo a esta conexión se conecta la punta de prueba del osciloscopio.

De las pruebas, resumiendo tenemos:

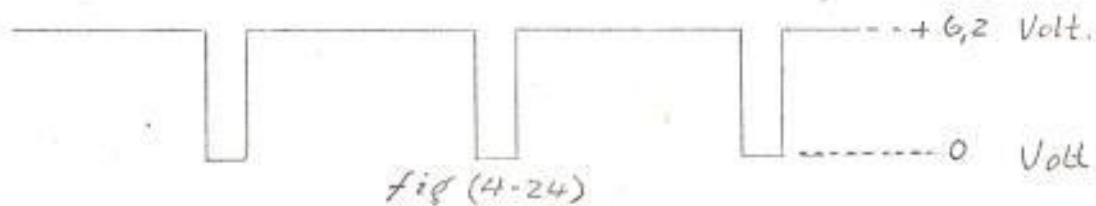
1) Para  $v_{cc} = 6,2$  volts.

1-a) Sin conectar la carga (el teléfono) obtuvimos las siguientes figuras:

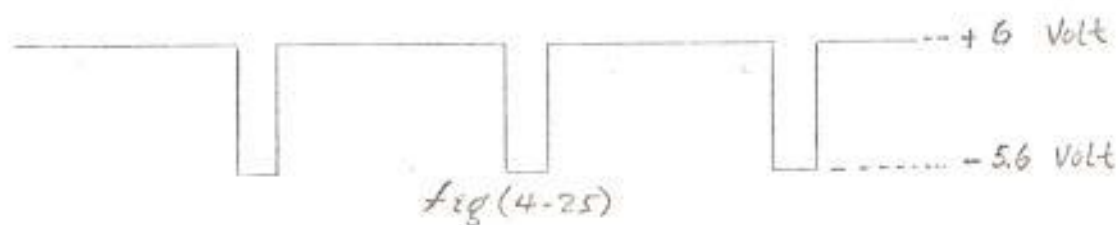


PUNTO DE PRUEBA ④

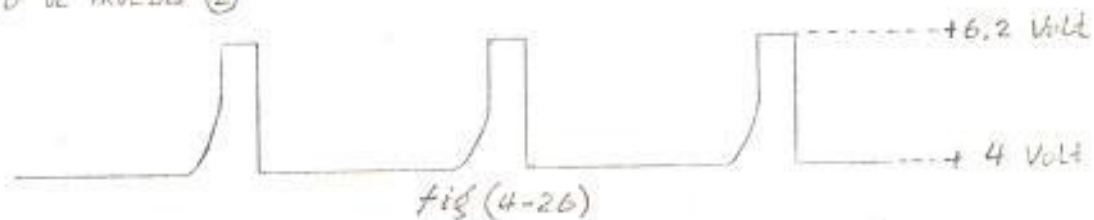
91



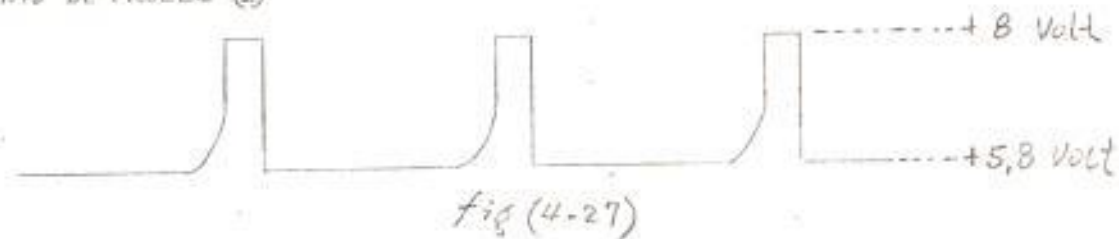
PUNTO DE PRUEBA ③



PUNTO DE PRUEBA ②



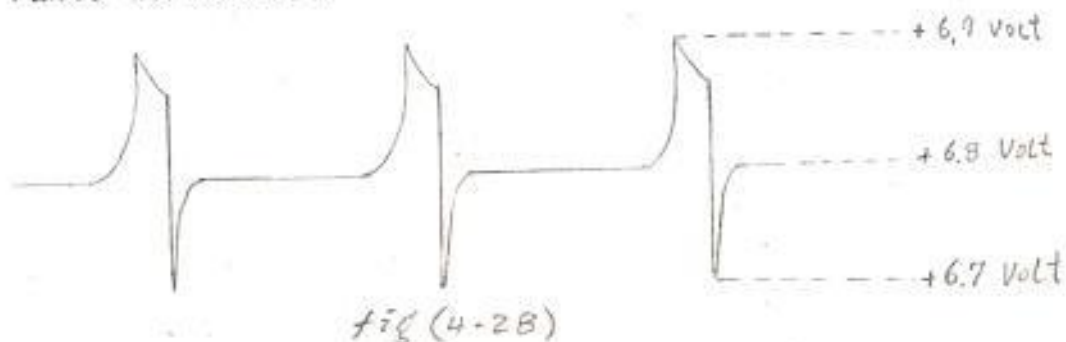
PUNTO DE PRUEBA ①



1-b) Con carga conectada (el teléfono) obtuvimos las siguientes figuras:

Punto de prueba 4 y 3 sin cambio

Punto de Prueba 1



aparece mucho ruido sobrepuesto a la señal.

Analizando los gráficos obtenidos en las pruebas, podemos darnos cuenta de que a pesar de que la unidad de bloqueo funciona bien; sin embargo, los pulsos que se transmiten al teléfono tienen una amplitud tan baja (en el orden de los 0,20 volts) que prácticamente son inservibles. El ruido sobrepuesto a él es de una magnitud aproximadamente igual a la del pulso.

Es necesario que el pulso llegue hasta un pico de por lo menos 8,8 volts para que en el osciloscopio se aprecie un pulso de 2 volts de amplitud, y quedar así el ruido minimizado en tal forma que su ampli-

tud respecto a la del pulso resulte despreciable.

Para ello ha sido menester realizar ciertos cálculos y mediciones previos, antes de escoger una magnitud determinada de pulso.

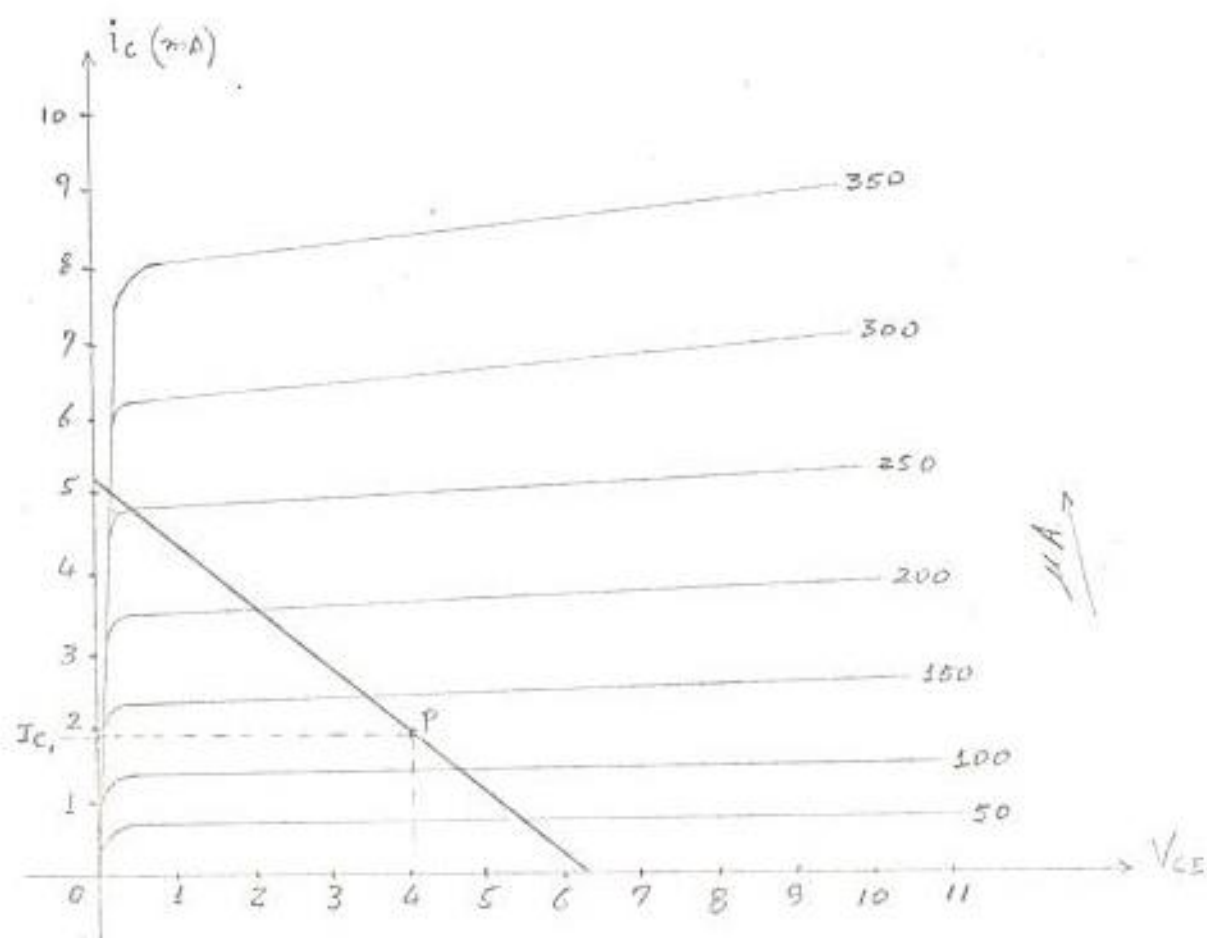
Primeramente, hemos obtenido las curvas características del transistor  $T_3$ , usando para ello el trazador de curvas que se encuentra en el laboratorio de Electrónica.

La fig. (4-29) ilustra las curvas obtenidas en el trazador y muestra así mismo la línea de carga. El punto P es el punto de operación, obtenido de la siguiente forma: de la fig. (4-26) muestra el valor  $V_{CE}$  medido en el osciloscopio, que corresponde a 4 volts. En ese caso la corriente  $I_{C1}$  sería igual a:

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_{L3}} = \frac{6,2 - 4}{1200} = 1,83 \text{ m A.}$$

La fig. (4-25) muestra que el valor  $V_{BE} = 0,6$  volts. por lo tanto la corriente  $I_{B1}$  será:

$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{B3}} = \frac{6,2 - 0,6}{41.000} = 127 \text{ } \mu\text{A.}$$



fig(4-29)

Con todos estos datos, localizamos el punto P en la fig. (4-29).

Según podemos apreciar, para lograr un aumento en la magnitud del pulso, necesitamos variar el punto de operación P a lo largo de la línea de carga. Esto se consigue cambiando los valores de  $R_{L3}$ , y de  $R_{B3}$ .

Para escoger los nuevos valores de  $R_{L3}$  y  $R_{B3}$  es menes ter primeramente descifrar el comportamiento del circui- to telefónico estudiando sus efectos. Sin conocer su cir- cuito se puede decir en genral que puede presentarse co- mo con efecto inductivo, o capacitivo, o resistivo. Nece- sitamos saber bajo qué efecto se muestra el circuito te- lefónico al Multivibrador.

Consideremos primeramente el efecto inductivo. De la fig. (4-28) observamos que existe un valor continuo de 6,8 volts. debido al teléfono. Esto nos hace suponer en el análisis como una fuente c-c del mismo valor, y el circuito sería como se muestra en la fig. (4-30).

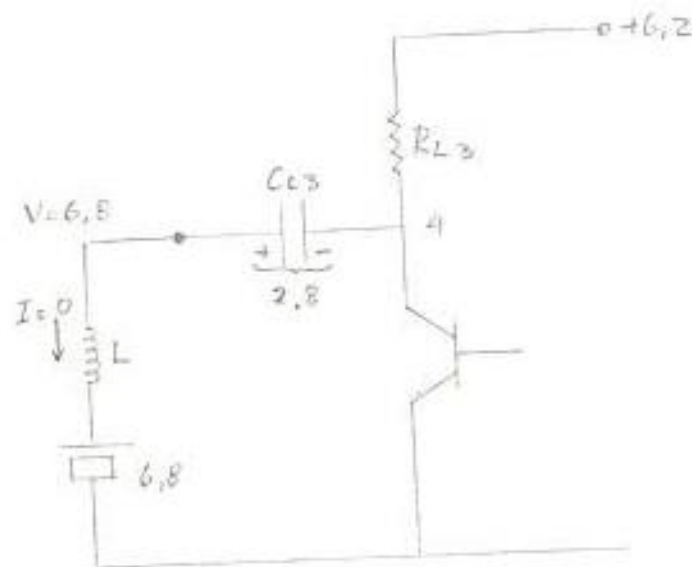


fig (4-30)

Cuando el transistor no conduce, se tiene este otro circuito dibujado en la fig. (4-31).

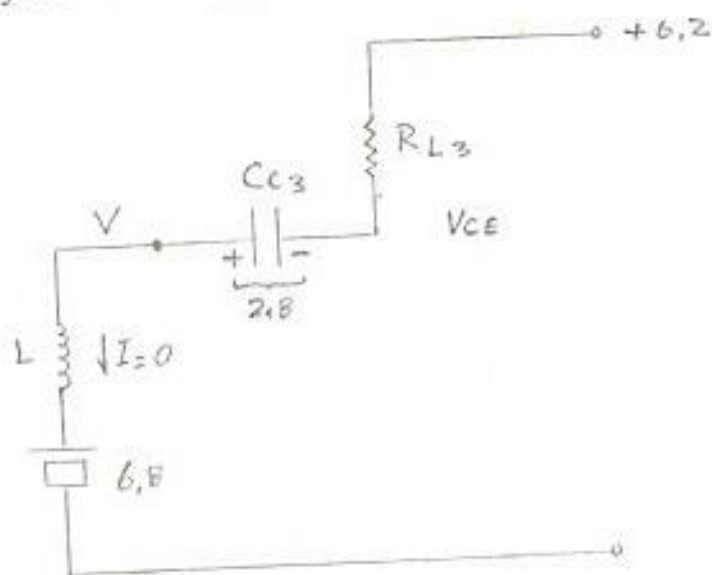


fig (4-31)

El inductor  $L$  no permite a la corriente variar instantáneamente; si en la fig. (4-30) la corriente en el inductor era cero, en la fig. (4-31) mantiene igual valor en el primer momento después del cambio. Como  $I = 0$  en el inductor es también cero a  $R_{L3}$ , por lo tanto  $V_{CE} = 6,2$  volts, y como el voltaje de  $C_{c3}$  no puede variar instantáneamente, también permanece igual al anterior. El valor de  $V$  es igual en este caso a 9 volts. Pero ese valor no es igual al medido, que es de 6,9 volts, según la fig. (4-28). Por lo tanto este análisis no corresponde a lo medido.

Si consideramos efecto capacitivo, se tiene:

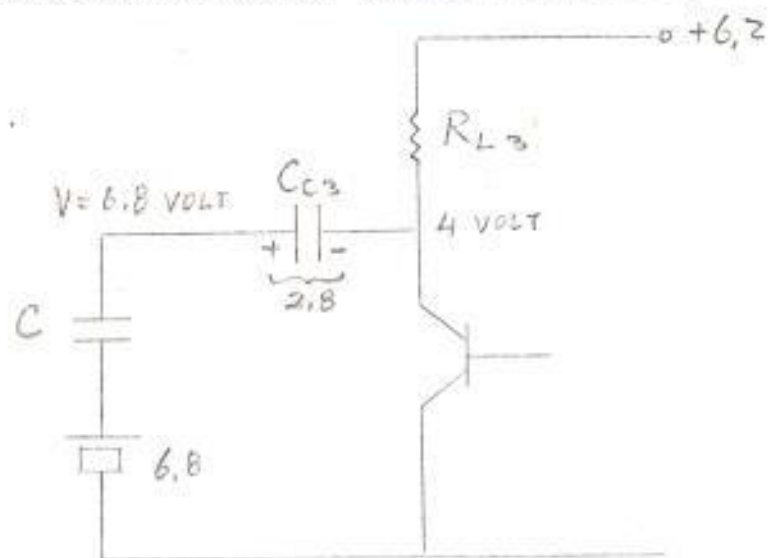


fig (4.32)

Cuando el transistor no conduce, se tiene este otro circuito.

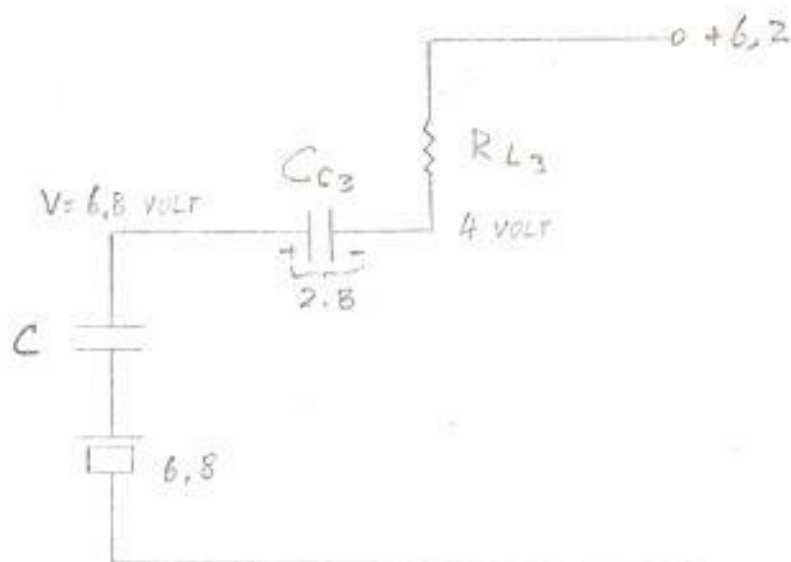
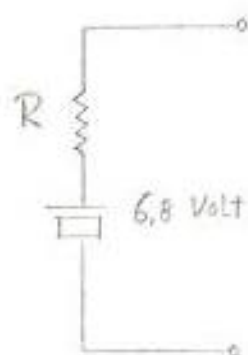


fig (4.33)

Vemos que el voltaje en C no puede variar instantáneamente, por tanto  $V = 6,8$  volts y  $V_{CE} = 4$  volts. Pero esto no es lo medido. Por tanto la suposición de un capacitivo tampoco es cierto.

Si consideramos ahora el efecto resistivo, entonces, el circuito del teléfono presenta un efecto al multivibrador semejante al circuito dibujado en la fig. (4-34).



fig(4.34)

La resistencia R en este caso, es una resistencia de un valor tal que determina que la amplitud del pulso sea como lo observado en la fig. (4-28).

Cuando el transistor  $T_3$  está conduciendo, el circuito teléfono-multivibrador tiene el siguiente comportamiento:



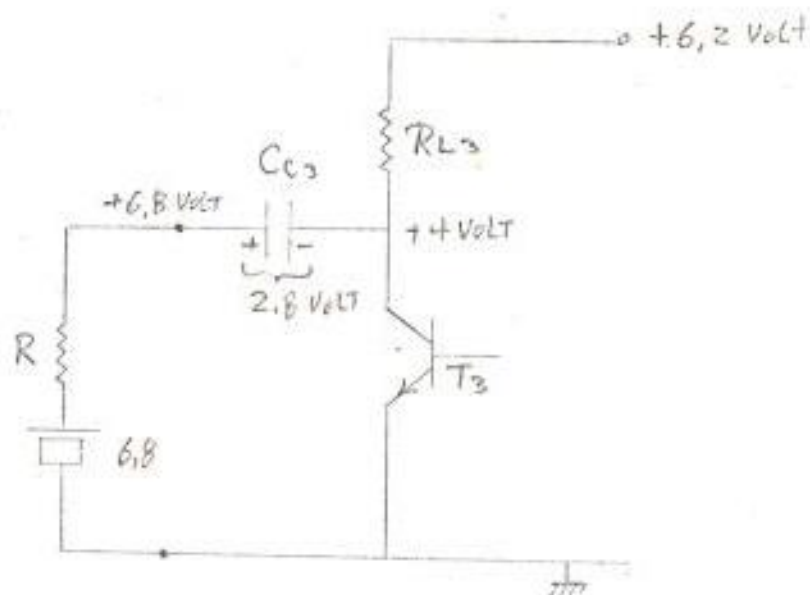


fig (4-35)

Los valores de voltajes son obtenidos de las mediciones, según se puede comprobar en las figs. (4-26) y fig. (4-28).

Cuando el transistor  $T_3$  no conduce se tiene la siguiente equivalencia en la fig. (4-36).

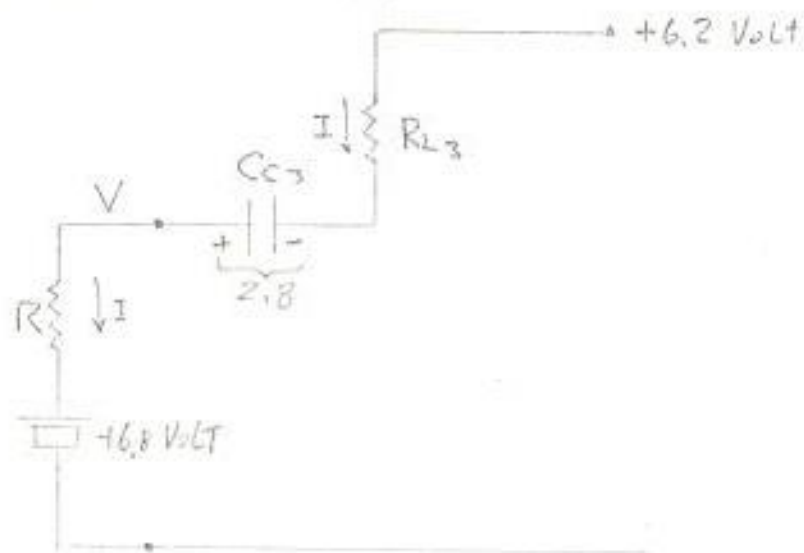


fig (4-36)

Como el voltaje del capacitor  $C_{C3}$  no puede variar instantáneamente, tenemos en ese momento los siguientes efectos: aplicando los conocimientos de análisis de circuito la corriente  $I$  tiene esa dirección, su valor es:

$$I = \frac{V - 6,8}{R} \quad (4-9)$$

Pero

$$I = \frac{6,2 + 2,8 - 6,8}{R_{L3} + R} \quad \cdot \quad I = \frac{2,2}{1300 + R} \quad (4-10)$$

Igualando (4-9) y (4-10) obtenemos:

$$\frac{V - 6,8}{R} = \frac{2,2}{1300 + R} \quad \cdot \quad V = \frac{2,2 R}{R + 1300} + 6,8 \quad (4-11)$$

Un instante después, el voltaje  $V$  llega al valor de 6,9 volts (referir a la fig. (4-28), por lo tanto el valor de  $R$  sería:

$$6,9 - 6,8 = \frac{2,2 R}{R + 1300} \quad \cdot \quad R = 61\Omega \quad (4-12)$$

Conociendo el valor de  $R$ , vamos ahora a escoger un valor de amplitud máximo de pulso. Esto es posible escogiendo nuevos valores de  $R_{L3}$  y  $R_{B3}$  con tal que satisfagan nuestros requerimientos.

Para ello, primeramente escogemos una amplitud de pulso igual a 2,5 volts; entonces el valor de  $V$  debe ser de 9,3 volts para que restado del valor d-c de 6,8 volts nos dé un pulso de 2,5 volts de amplitud.

Para lograrlo, necesitamos que el transistor  $T_3$  esté en saturación, y según las curvas características de la fig. (4-29), esto se consigue para una corriente  $I_B = 300 \mu A$ , o tal vez mayor.

El nuevo valor de  $R_{B3}$  será entonces:

$$R_{B3} = \frac{6,2 - 0,6}{300 \times 10^{-6}} \quad \therefore \quad R_{B3} = 1.9 \text{ K}\Omega \quad [4-13]$$

Con este nuevo valor de  $R_{B3}$  el transistor  $T_3$  está en saturación, con  $V_{CE} = 0$  volts. En ese estado el circuito sería de la siguiente forma:

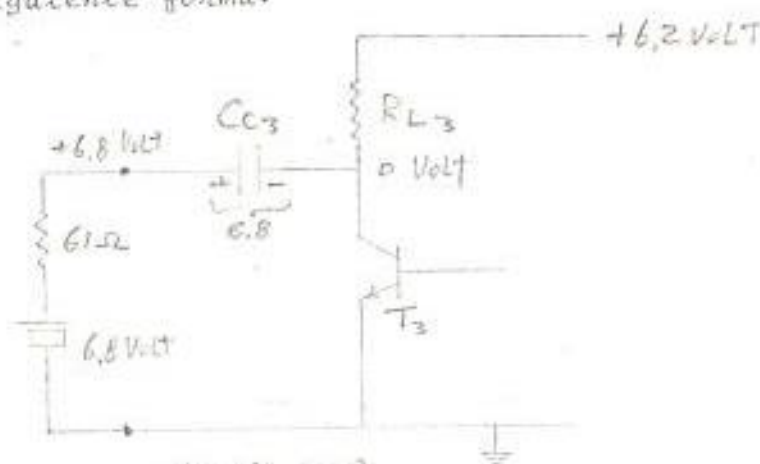


fig (4-37)

Cuando el transistor  $T_3$  está en corte, se tiene la siguiente equivalencia en la fig. (4-38).

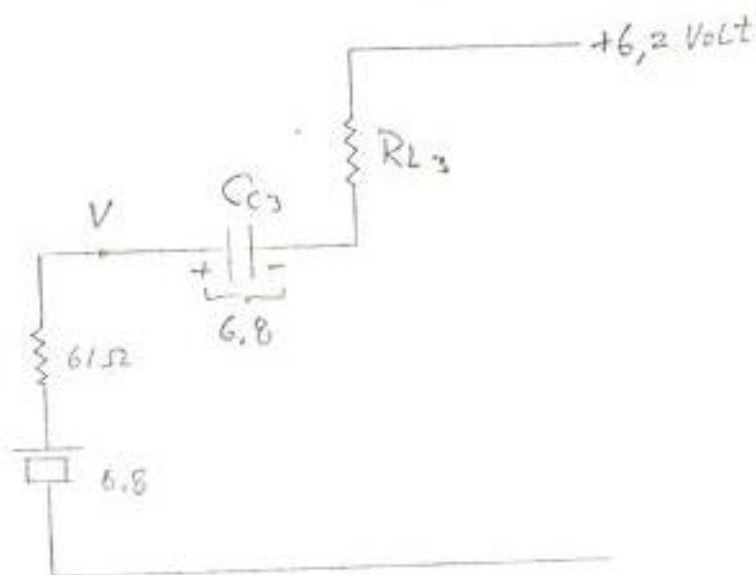


fig (4-38)

El potencial de 6,8 volts en los extremos del capacitor  $C_{c3}$  se debe a que cuando  $T_3$  está en saturación, el voltaje en  $C_{c3}$  no cambia instantáneamente.

Resolviendo el circuito de la fig. (4-38) se tiene:

$$\frac{V - 6,8}{61} = \frac{6,2 - 6,8 + 6,8}{R_{L3} + 61} \quad (4-14)$$

$$\therefore V - 6,8 = \frac{61 \times 6,2}{R_{L3} + 61} \quad (4-15)$$

Deseo que el valor de  $V$  sea aproximadamente igual a 9,3 volts; por tanto el valor de  $R_{L3}$  deberá ser de:

$$9,3 - 6,8 = \frac{378,2}{R_{L3} + 61} \quad \therefore \quad R_{L3} = 90 \Omega \quad (4-16)$$

De este análisis, hemos escogido los valores de  $R_{L3} = 100 \Omega$  y  $R_{B3} = 750 \Omega$  porque, primeramente disponíamos a la mano de  $R_{L3} = 100 \Omega$  y además siendo muy cercano con  $90 \Omega$ , no hace gran diferencia. Con  $R_{B3}$  en cambio lo es cogimos de  $750 \Omega$  porque queríamos asegurarnos de que el transistor estuviera en "super cut off".

Hechas las modificaciones necesarias repetimos la experiencia una vez más, para comprobar si nuestro análisis ha sido correcto o no. Los datos arrojados fueron - los siguientes:

$$V_{bc} = 6,2 \text{ volts. } R_{L3} = 100 \Omega \quad R_{B3} = 750 \Omega$$

### 1) Sin carga conectada

PUNTO DE PRUEBA (2)



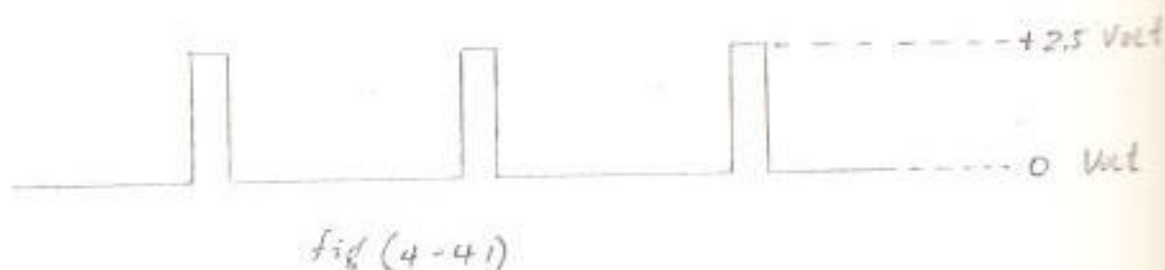
fig (4-39)

PUNTO DE PRUEBA ①



2) Con carga conectada (el teléfono) se obtuvo lo siguiente:

Punto de prueba 2:

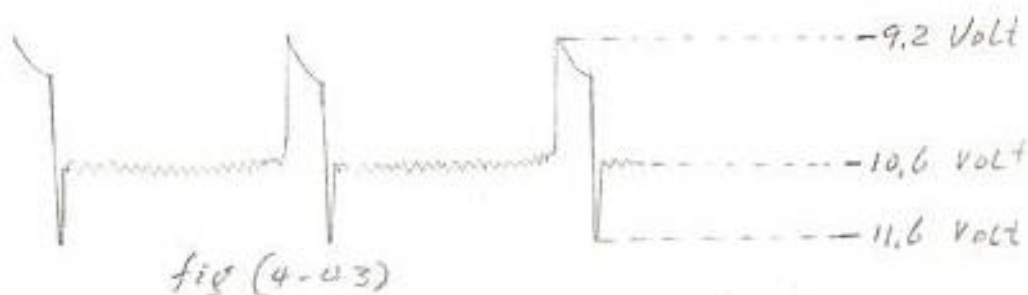


Punto de prueba 1:



Los resultados obtenidos nos convencieron de que nuestro razonamiento ha sido lo correcto.

Los pulsos que se transmitían a través del teléfono - 527531 tenían la forma y amplitud como lo dibujado en la fig. (4-42). Con el teléfono receptor, numerado 526448 se recibieron dichos pulsos, que tenían las siguientes formas:



Estos pulsos de la fig. (4-43) se obtuvieron directamente de la roseta del teléfono 526448.

Si ahora colocamos un capacitor en los puntos a-b de la roseta (referir fig. (4-22) del teléfono 526448; entonces por lo desarrollado en líneas de transmisión, el pulso que llega al teléfono 526448 debe ser reflejado, y retorna al teléfono 527531 donde sería posible detectar su presencia colocando las puntas de pruebas del osciloscopio en los bornes 7-8 del teléfono (referir fig. (4-12)).

Eso se hizo, y obtuvimos el siguiente resultado:



fig (4-44)

Pero si quitamos el capacitor de la roseta del teléfono 526448, y aplicamos las puntas de prueba del osciloscopio en los bornes 7 y 8 del teléfono 527531, entonces obtuvimos una señal, dibujado en la fig. (4-45).



fig (4-45)

Si no sabemos de antemano si está o no colocado el capacitor en la roseta del teléfono 526448, no nos será posible identificar cual de los pulsos de las figs. (4-44) y (4-45) corresponde a cada caso.

En estas condiciones, no será posible realizar localmente mediciones de retardo. Pero en cambio, si la señal se refleja desde Salinas, entonces teóricamente el pulso reflejado debe de aparecer delante del transmitido, - con un retardo apreciable, con tal de poder hacer la me-



dición.

Después de estas pruebas, se decidió enviar el pulso a Salinas. Por supuesto que en la roseta del teléfono localizado en Salinas también se cortocircuitaba con un capacitor.

El teléfono 527531 se puso en comunicación con un teléfono de esa ciudad. Se envió instrucciones de que se colocara un capacitor de 100 F en la roseta de la misma y se procedió a enviar pulsos.

Por muy cuidadoso que se hizo la experiencia, sin embargo no ha sido posible detectar el regreso de ninguno de ellos a Guayaquil. La no recepción de los pulsos que teóricamente debía de ser reflejado desde Salinas, pone de manifiesto las dificultades cada vez mayores con que tropieza esta experiencia.

Los pulsos sí llegaron a Salinas; ya que antes de colocar el capacitor en la roseta, el interlocutor que se encontraba en ese teléfono manifestó que recibía unos sonidos audibles (en ese momento se estaba enviando los pulsos). Sin embargo, no podemos explicar porqué no se

detectó el regreso de ningún pulso que teóricamente debían de ser reflejados desde allá.

Este fracaso puso término a las pruebas de este primer intento en colocar el sistema en condiciones de trabajo. Las innumerables dificultades que encontró el autor a lo largo de las experiencias realizadas, revela la enseñanza de que un trabajo de investigación puede concluir en un éxito o en un fracaso.

Al dar por concluido esta primera fase de prueba sobre el sistema; el autor aspira, una vez graduado de Ingeniero, continuar con la ayuda de Dios, desarrollando las pruebas que puedan por fin convertir este estudio teórico en un sistema útil.

## CAPITULO QUINTO

### RECOMENDACIONES

*Aspira el autor, de que el presente estudio pueda derivar en una optimización del mismo; existiendo la posibilidad de que este sistema llegue a formar parte integrante en los actuales sistemas de navegación y alcance.*

*Es menester de que la ESPOL considere la importancia de este estudio, realizado por 1 alumno de su seno; que a más de ser un requisito esencial para graduarse de Ingeniero, espera trazar nuevos surcos en las tesis de grado, al dedicarse esta a la investigación científica y tecnológica de necesidades con miras de beneficiar al País.*

*De allí que se hace imprescindible contar con el interés y el apoyo oficial de la ESPOL en este estudio, para continuar con las pruebas tendientes a llevar a este sistema a demostrar sus bondades en posibles percances marítimos.*

## BIBLIOGRAFIA

1. SHRADER. *Comunicación Electrónica*. New York. 1968.
2. LEHMANN. *-Geometría Analítica*. New York. 1956.
3. U.S. NAVY, Bureau of Naval Personnel, Training Publications Division - *Curso Completo de Electrónica*. Washington, 1968.
4. ALLEY Y ATWOOD. *Ingeniería Electrónica*. New York. 1962.
5. *Apuntes de Teoría de Líneas de Trasmisión* por el Dr. Victor Mandini Crosara. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 1973.



A.F. 141815