

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA ELECTRICA

INSTALACION DE UN SISTEMA DE
RADIONAVEGACION LORAN C EN
LAS AGUAS TERRITORIALES ECUA-
TORIANA, COBERTURA CONTINENTAL
E INSULAR

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO EN ELECTRICIDAD
ESPECIALIZACION ELECTRONICA

Presentada por:

CARLOS E. GUZMAN BUSTOS

GUAYAQUIL - ECUADOR
1982

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería Eléctrica
BIBLIOTECA

Inv. No. EIEC-008

INSTALACION DE UN SISTEMA DE RADIONAVEGACION LO -
RAN C EN LAS AGUAS TERRITORIALES ECUATORIANA, CO-
BERTURA CONTINENTAL E INSULAR.

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIZACION ELECTRONICA

Prentada por:

CARLOS E. GUZMAN BUSTOS

GUAYAQUIL-ECUADOR

1982

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería Eléctrica
BIBLIOTECA
Inv. No. EIEC-008

AGRADECIMIENTO

Al Ing. FREDDY VILLAO Q.
Director de Tesis y al -
cuerpo Docente de la -
ESPOL.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería Eléctrica
BIBLIOTECA

Inv. No. ELEC.-008

Freddy Villao Q

Ing. Freddy VILLAO Qezada

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACION EXPRESA

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

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

Carlos B. Guzmán B.
Carlos Guzmán Bustos.

RESUMEN

Considerando el notable incremento del tráfico, tanto marítimo como aéreo por nuestra Soberanía Territorial, expongo la presente obra, en la cual dejo establecido los diferentes aspectos que deben cumplir para la instalación del sistema hiperbólico de Radionavegación Loran C. Esta Radioayuda de elevada precisión facilitará una navegación confiable por áreas peligrosas como la entrada al Golfo de Guayaquil, así como también por toda la región comprendida desde la costa continental hasta las islas Galápagos.

En la presente Tesis analizo el actual servicio de Radioayudas que proporciona el Instituto Oceanográfico de la Armada, El mismo que a más de estar incompleto, permite posicionamientos de limitada precisión.

Se incluye también un estudio de factibilidad, mediante

el cual se determinó los sitios más apropiados para la -
instalación de las estaciones maestra y esclavas que cons-
tituyen la cadena Loran C para el Ecuador.

Las informaciones y datos que permitieron la elaboración-
de esta Tesis, se las obtuvo en su mayor parte por medio-
del Instituto Oceanográfico de la Armada, del cual quedo-
muy agradecido.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería Eléctrica
BIBLIOTECA

Inscr. No. _____

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	1
I. INTRODUCCION	1
1.1 Radioayudas a la Navegación	1
1.2 Sistemas hiperbólicos de Radionavegación	5
1.3 Sistema de Radionavegación Loran A	8
1.4 Sistema de Radionavegación Loran C	24
1.5 Radioayudas a la Navegación Marítima	41
1.6 Necesidades de disponer de un sistema de Ra - dionavegación mas exacto y de mayor cobertu - ra	45
II. DISEÑO DE LA CADENA ECUATORIANA DE ESTACIONES LO - RAN C Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.	
2.1 Requerimiento de cobertura	50
2.2 Usuarios	50
2.3 Requerimientos comunes de los usuarios	51
2.4 Requerimiento del sistema operacional	52
2.5 Configuración preliminar del sistema Loran C	54
2.6 Selección de los sitios óptimos para las esta - ciones y diagrama de cobertura.	55

Pág.

2.7 Parámetros de las estaciones 59

2.8 Estimación de la potencia requerida de la -
señal radiada 60

2.9 Selección del G.R.I..... 63

III. EQUIPOS.

3.1 Descripción del equipamiento de las estacio-
nes transmisoras que conformarían la cadena-
ecuatoriana Loran C 67

3.2 Facilidades de monitoreo y control comando . 77

3.3 Características y operación del equipo recep-
tor 78

3.4 Costo del sistema 85

IV. VARIOS.

4.1 Construcción de las curvas hiperbólicas 87

4.2 Determinación de las radiomarcaciones 95

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 111

BIBLIOGRAFIA 113

I. INTRODUCCION

1.1 RADIOAYUDAS A LA NAVEGACION

Hasta las primeras décadas del siglo XX, el hombre sólo poseía la práctica de la navegación celestial para sus travesías en el mar. Debido a la relativamente baja velocidad de las embarcaciones de aquella época, para condiciones de climas desfavorables sobre parte de la ruta, éstas no peligraban si mantenían una buena apreciación de la trayectoria. Aún, si transcurrían varios días navegando con cielo nublado, la embarcación no podía desviarse una distancia excesiva de su ruta planeada debido a su baja velocidad.

Para 1930 ya se contaba con embarcaciones más ligeras, así como también se incrementaba el intercambio mercantil marítimo. En esta época tuvo su aparición los RADIOFAROS, que fue la primera ayuda electrónica para la navegación.-

Estas ayudas consisten básicamente de transmisores localizados a lo largo de la costa que dan radiomarcaciones, las cuales pueden ser utilizadas en vez de las marcaciones visuales en el mar y para cualquier estado del tiempo. El posicionamiento de las embarcaciones por estos RADIOFAROS es conocido como Radionavegación. El término Radionavegación se aplica a otros sistemas electrónicos de navegación que emplean ondas de radio.

Los sistemas electrónicos de navegación normalmente se clasifican por sus rangos y alcances. Las clasificaciones de rangos más generalmente usados son; rango corto, intermedio o medio y largo.

Los sistemas de rango corto son comunmente usados e incluyen: Radiofaros, Radar, y Decca.

Los sistemas de rango medio incluyen: Decca, Loran A y cierto tipo de Radar.

Los sistemas de largo rango incluyen: Loran C, Consol, Omega y navegación por satélite.

La exactitud con que se requieren las Radioayudas, varía con la región en la cual se navega. Normalmente se consideran tres áreas de navegación, cubriendo cada una de ellas una región diferente y con cierto error máximo adm

sible. Estas áreas son las siguientes:

1.- Región Oceánica.- Consiste de manera general, de todas las regiones en las cuales no se dispone de las observaciones visuales de objetos fijos sobre tierra o flotantes, generalmente se considera a partir de 50 millas náuticas del accidente geográfico más cercano. Las ayudas de radio en esta área pueden ser usadas en la determinación del rumbo más aceptable para alcanzar el destino del barco y en ciertos casos, en pesca e Hidrografía para mantener el rumbo establecido.

En esta área no es necesario obtener posicionamiento continuos, pero se los debe obtener periódicamente en intervalos en las cuales pueden ser determinadas con gran exactitud. Es generalmente aceptado que el tiempo requerido para obtener un posicionamiento no debe exceder de 15 minutos. La precisión aceptada de un posicionamiento obtenido depende de la distancia al punto geográfico más cercano y se supone que sea el 1% de dicha distancia. - Esto significa que en medio Océano, por ejemplo, con una distancia de 1000 millas náuticas a la costa, una precisión de 10 millas náuticas será aceptable, pero conforme nos acercamos a la costa la precisión debe incrementarse.

2.- Región Costera.- Incluye la navegación costanera y aproximación a puertos. Esta región se la considera como la comprendida desde 3 millas náuticas del Accidente Geográfico más cercano (costa).

La navegación en esta área es usualmente de punto a punto a lo largo de la costa. En partes de esta región, donde no existen objetos fijos para las observaciones visuales las ayudas de radio son de extremada importancia.

El límite entre la Región Oceánica y la Región Costanera es algo indeterminado, pero usualmente se asume que es de 50 millas náuticas desde la costa. Este límite puede variar dependiendo de los peligros que involucra la aproximación a tierra y de la densidad de pesqueros. Es por lo tanto esencial que las Radioayudas que cubren esta área de navegación sean capaz de proveer a las embarcaciones un posicionamiento lo suficientemente preciso para que pueda acoderar (arribar a tierra), sin peligro de encallar y para mantener una trayectoria precisa, especialmente en los sistemas de separación de tráfico.

3.- Región de los Estuarios o aguas interiores.- Esta región consiste de todas las áreas que incluyen entrada a puertos, estuarios, áreas de terminal marítimo y todas las áreas de las desembocaduras de los ríos

Para esta región se requieren Radioayudas de elevada exactitud, ya que las embarcaciones tropiezan con obstrucciones de varias clases. Los riesgos de colisión con otros barcos es también alto debido a la congestión, requiriéndose de esta manera una información continua de los movimientos propios y de otros barcos. Esto puede ser obtenido con ayudas visuales, Radioayudas y otros sistemas tales como Sonar Doppler el cual es extremadamente útil como ayuda de acoderamiento.

1.2 SISTEMAS HIPERBOLICOS DE RADIONAVEGACION

Los sistemas de Radionavegación hiperbólicos son llamados así, debido a que la línea de posición que ellos originan es un segmento de una hipérbola en vez de una línea radial como en el caso de los Radiofaros.

Supongamos que dos estaciones de transmisión designadas M (maestra) y S (esclava), localizadas a una cierta distancia entre ellas, transmiten ambas simultáneamente un pulso corto de onda de radio a intervalos fijos de tiempo. Si se asume que la velocidad de propagación de las ondas terrestres es constante, una serie de círculos concéntricos igualmente espaciados podrían dibujarse rodeando cada una de las estaciones para representar la dis

tancia que un solo pulso viajaría durante un intervalo de tiempo fijo; el espacio entre cada círculo es constante, ya que el pulso viajaría una distancia uniforme durante cada intervalo de tiempo. La Fig. N° 1 indica una serie de círculos mencionados. Los círculos M1, M2, M3 etc, son unidades de distancia desde la maestra y los círculos S1, S2, S3 etc, son unidades de distancia desde la esclava (S).

La línea que une las estaciones M y S es llamada línea base; si se traza una perpendicular AB sobre la mitad de la línea base, los pulsos transmitidos simultáneamente desde las estaciones M y S, arribarán a lo largo de la línea AB al mismo tiempo. Esto es, la línea AB representará el lugar geométrico de todos los puntos en el cual la diferencia de tiempo en recibir las señales desde M y S es igual a cero.

En el punto P de la Fig. N° 1, la señal de la esclava va arribar una unidad de tiempo antes que la señal de la maestra. El lugar geométrico de todos los otros puntos en los cuales una idéntica diferencia de tiempo podría medirse, formará la hipérbola CD según indica la Figura antes-mencionada.

De manera similar podrían ser construidas otras hipérbo -

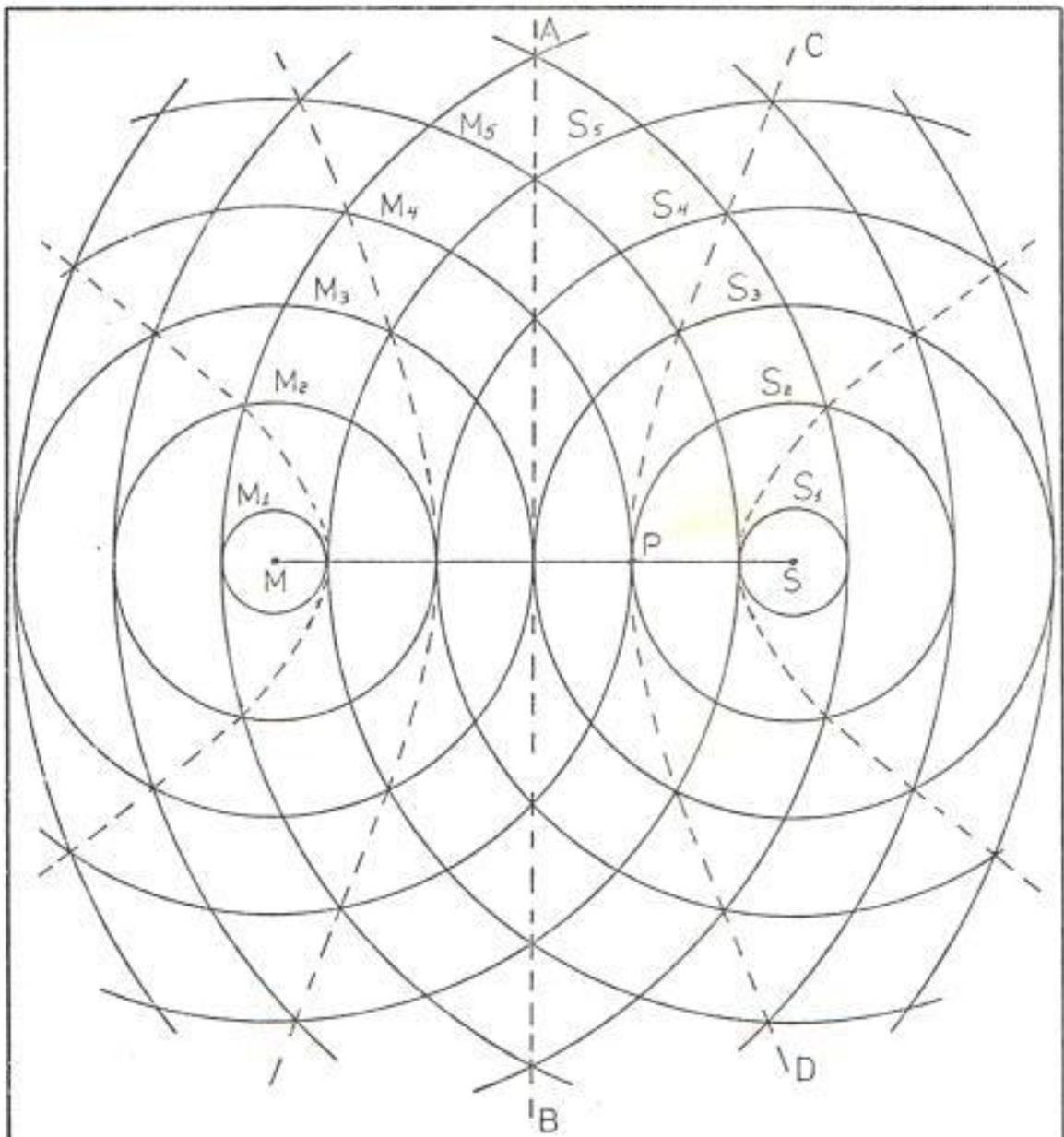


FIG. N° 1

Patrón hiperbólico de Radionavegación

las y cada una de ellas representará el lugar geométrico de todos los puntos para los cuales la diferencia de tiempo de arribo de señales desde dos transmisores fijos, es una constante.

1.3 SISTEMA DE RADIONAVEGACION LORAN A

Loran es la designación para un sistema de posicionamiento que tiene como principio de operación la medición de la diferencia de tiempo de arribo de señales pulsantes desde varias estaciones transmisoras. Un par de estaciones transmisoras Loran produce una familia de líneas de posicionamiento únicas determinadas en el espacio. Estas líneas de posicionamiento, o líneas de igual diferencia de tiempo son hipérbolas. El nombre Loran se deriva de las palabras Long Range Navigator.

Se conocen varios sistemas Loran, entre los que podemos mencionar:

Loran A es el sistema Loran standard que opera a frecuencias de 2000 Khz. Las diferentes lecturas se obtienen de las envolventes de los pulsos transmitidos y la determinación de la posición requiere de 2 a 3 minutos. Las transmisiones Loran en estas frecuencias no viajan solamente como onda de tierra, sino también como ondas ionosféricas.

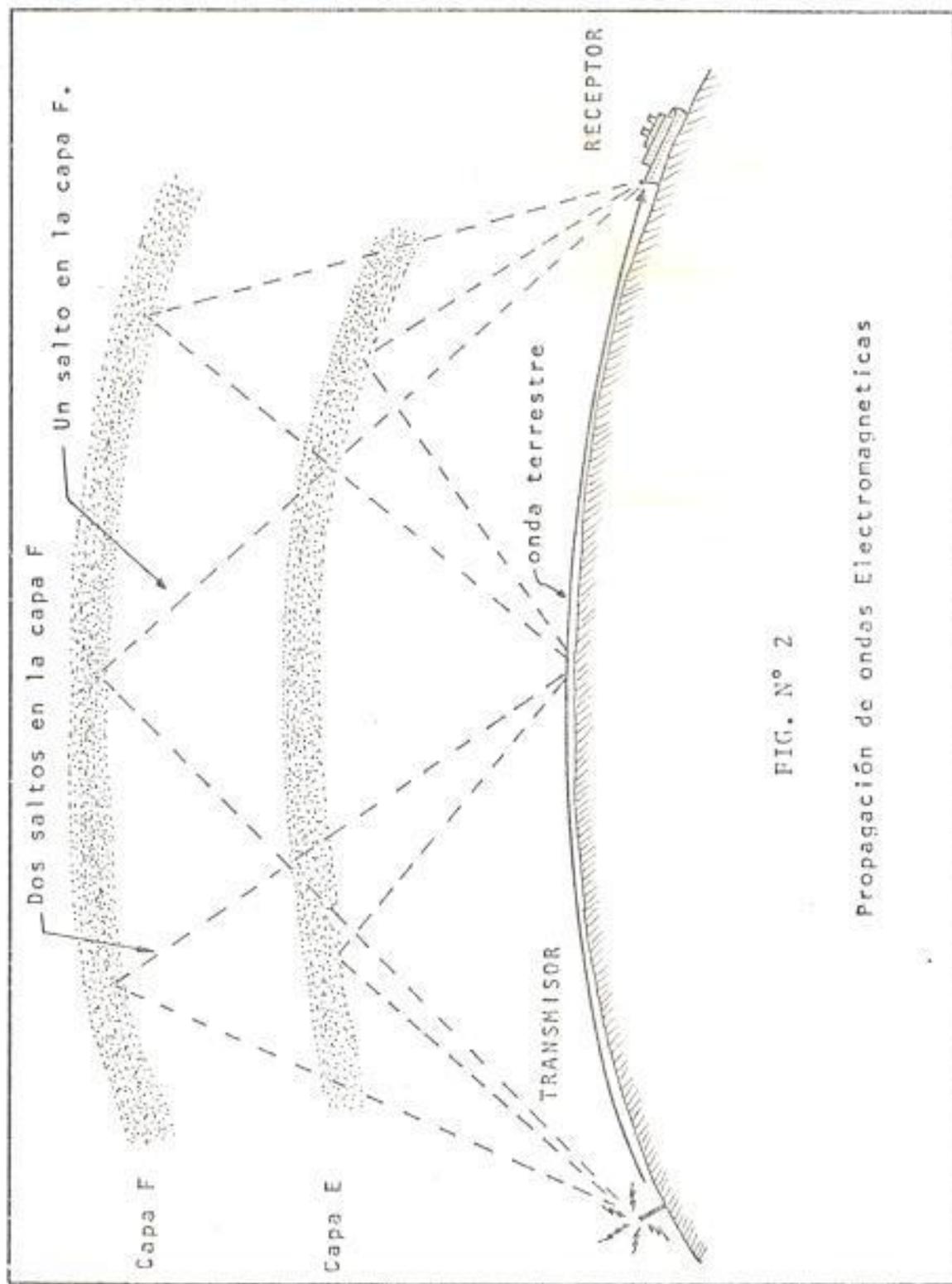


FIG. N° 2

Propagación de ondas Electromagneticas

con las que cubren distancias de cientos de millas desde la antena transmisora, ver Fig. N° 2. Su alcance es de - 1400 millas náuticas por las noches y de 600 a 900 millas náuticas en el día, dependiendo de la potencia del transmisor.

Loran B, este sistema opera a la misma frecuencia del Loran A y su exactitud es muy elevada. En la actualidad no existen cadenas de Loran B en funcionamiento. El futuro - de este sistema dependerá de la demanda de posicionamientos de elevada precisión tales como puertos o para uso en aguas costeras.

Loran C es una nueva edición de la familia Loran. Este - sistema opera en una frecuencia de 100 Khz, durante el - día su alcance es de aproximadamente 2300 millas náuticas y hasta 3000 millas náuticas durante las noches. A más de su cobertura, Loran C tiene mejor exactitud que el Loran A; aproximadamente 500 metros para distancias de 1000 millas náuticas desde las estaciones transmisoras. Para el posicionamiento se efectúan mediciones de fase de los pul - sos de radiofrecuencia recibidos en el receptor.

Loran D opera a bajas frecuencias en el rango de 90 a - 110 Khz, su cadena está formada por 3 o 4 estaciones - transmisoras que suministra señales de onda terrestre de-

elevada exactitud para rangos de hasta 500 millas. La señal Loran D emplea grupos de 16 pulsos espaciados a 500 - microsegundos.

La característica principal de este sistema es de que sus estaciones transmisoras pueden fácilmente ser movilizadas, lo cual hace que sea extremadamente útil cuando las áreas de operación sean cambiadas rápidamente.

El sistema Loran opera bajo los siguientes principios:

- a) Las señales de radio consisten de pulsos cortos, emitidos desde un par de estaciones transmisoras.
- b) Las señales citadas en el punto a. Son recibidas en la embarcación por un receptor de radio diseñado especialmente.
- c) La diferencia de tiempo de arribo de las señales, desde dos estaciones de radio es medida con un indicador especial.
- d) La medición de la diferencia de tiempo, es utilizada para determinar directamente la línea de posición, en cartas especiales de la superficie de la tierra.
- e) Dos líneas de posición determinadas por dos pares de estaciones transmisoras son trazadas para obtener un posicionamiento Loran. Así, el sistema Loran es enteramente diferente a los Radiofaros, por su medición del-

tiempo de arribo de las ondas de radio, en vez de la dirección de la onda que arriba. Por tal motivo el sistema Loran puede usar una antena receptora de alambre recto, en vez de complicados arreglos de antena direccionales.

Loran difiere del radar en que las transmisiones no se efectúan desde barcos o aviones y en su recepción no existe la presencia de ecos, sino que el barco o avión recibe las señales de radio desde estaciones transmisoras situadas cerca al mar.

1.3.1 Principio de operación del sistema Loran A:

Un transmisor Loran emite pulsos de radiofrecuencia al espacio en todas las direcciones. La duración de cada pulso es de aproximadamente 40 microsegundos. Los pulsos se repiten en intervalos regulares, pero el transmisor permanece inactivo por un período relativamente largo, (por ejemplo 40.000 microsegundos) entre pulsos, tal como se muestra en la Fig. N° 3. Los pulsos emitidos viajan desde el transmisor a la velocidad aproximada de 162.000 millas náuticas por segundos o 300 metros por microsegundos, de esta manera se puede medir distancias mediante el viaje de la onda de radiofrecuencia.

1.3.1.1 Estaciones Loran Simplificadas:

Pulsos transmitidos

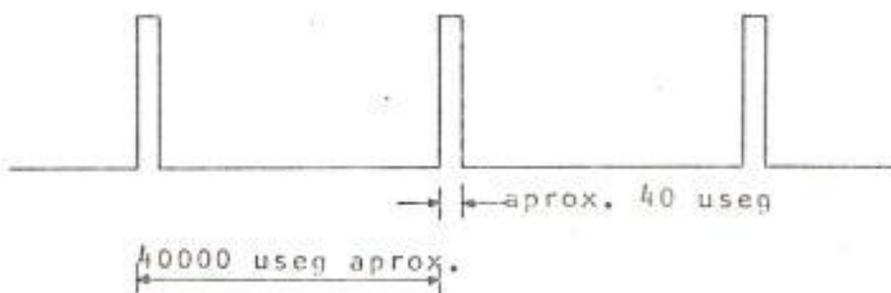


FIG. N° 3

Representación gráfica de los pulsos Loran A

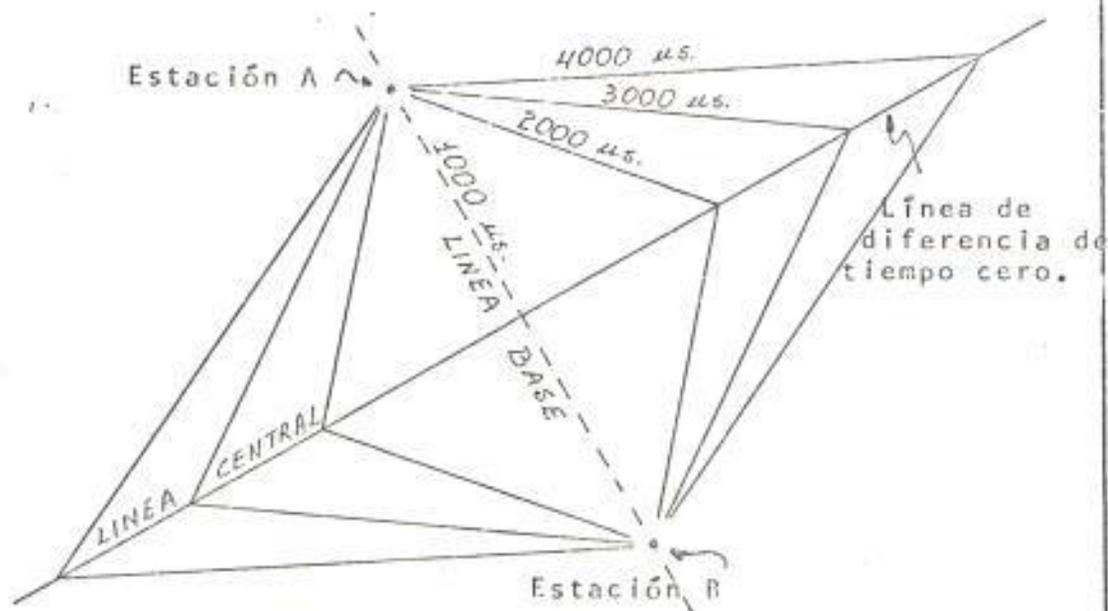


FIG. N° 4

Estaciones Loran A simplificadas

Consideremos dos estaciones transmisoras (A y B) separadas una distancia de 324 millas náuticas (2.000 us entre ellas), como se muestra en la Fig. N° 4.

La línea entre las dos estaciones es llamada línea base. La línea que pasa por el centro de la línea base, y que forma ángulo recto con ella se denomina línea central. Para propósito ilustrativo solamente consideremos que dos transmisores están enviando sus pulsos simultáneamente, es decir, la estación B transmite un pulso en el mismo instante que la estación A. Luego en algún punto a lo largo de la línea central las dos señales arribarán al mismo instante, entonces todos los puntos de la línea central son equidistantes para las dos estaciones. Es decir, si se determina que dos señales arribaron al mismo tiempo, un observador sabría que estuvo en algún lugar de la línea central. Si el observador estuviera más cerca de la estación B, que de la A, el pulso desde B le arribará primero. En cualquier punto habrá una diferencia definida del tiempo de arribo, pero una diferencia de tiempo constante se encontrará en un número de puntos como indica la Fig. N° 5. Todos estos puntos en los cuales existen la misma diferencia de tiempo, conforman una línea con diferencia de tiempo constante o línea de posición Loran. Así, una medición de una diferencia de tiempo, indica que el observador se encuentra a lo

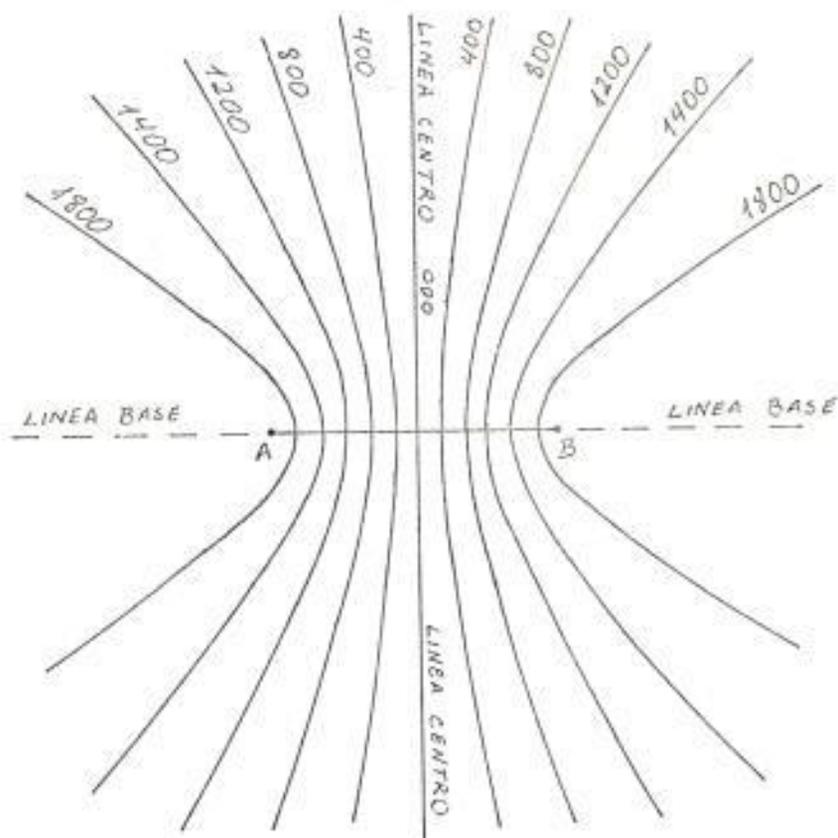


FIG. N° 5

Líneas con diferencia de tiempo constante de un par de estaciones Loran simplificadas con transmisiones de pulsos simultáneos, para una diferencia de tiempo específico hay dos líneas de posición posible

largo de una línea pero no su posición en la línea. La línea de posición ha sido determinada solamente conociendo la diferencia en distancias (diferencia del tiempo de viaje de la onda de radio) desde las dos estaciones, sin conocer la distancia real a ella.

1.3.1.2 Par de Estaciones Loran Reales :

El par de estaciones Loran simplificadas con transmisiones simultáneas descrito anteriormente tiene algunos inconvenientes en la práctica.

- 1) Cerca de la línea centro, las señales desde las dos estaciones arribarán casi al mismo tiempo ocurriendo algunas veces la superposición de los dos pulsos, teniendo como inconveniencia la dificultad en hacer la medición de la diferencia de tiempo con exactitud.
- 2) Es necesario eliminar la ambigüedad de dos líneas de posición con la misma diferencia de tiempo, para identificación de la señal desde cada estación del par.

Para eliminar estas dificultades en el sistema Loran Real se introduce en la transmisión un retardo de las emisiones de la estación esclava con relación a la maestra como se indica la Fig. N° 6. Inicialmente la estación maestra transmite un pulso; luego de la recepción de éste la esta-

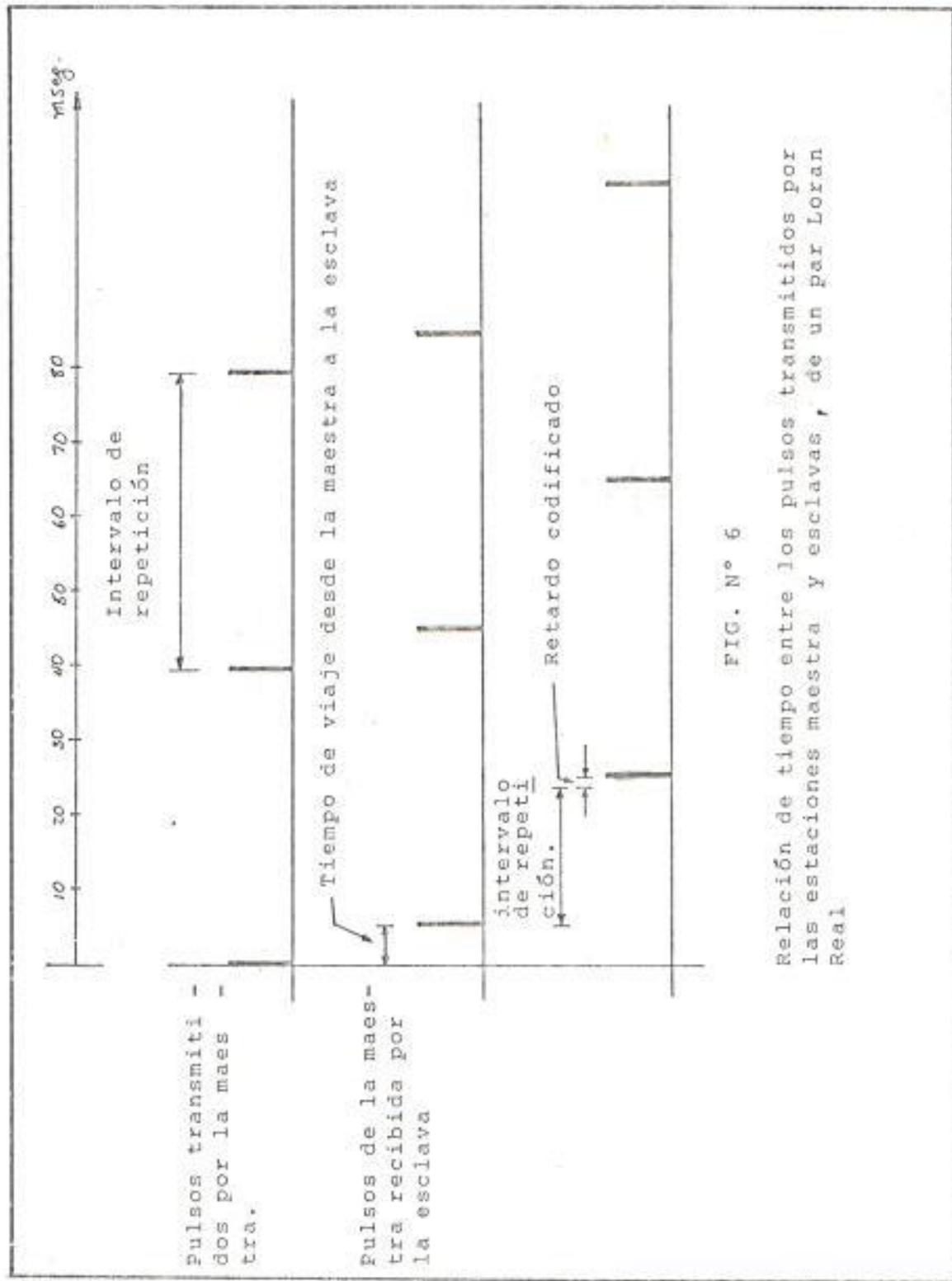


FIG. N° 6

Relación de tiempo entre los pulsos transmitidos por las estaciones maestra y esclava, de un par Loran Real

ción esclava antes de transmitir su pulso espera un tiempo fijo igual a medio intervalo de repetición de pulso más un tiempo adicional conocido como retardo codificado. El intervalo de tiempo desde un pulso transmitido de la estación maestra al próximo pulso transmitido de la estación esclava es mayor que el intervalo desde un pulso de la estación esclava al próximo pulso de la estación maestra. Esta diferencia en intervalos provee un método positivo para identificar cuál señal proviene de cada estación, aún cuando las señales parezcan exactamente iguales por lo que el intervalo entre pulsos transmitidos es constante y el principio básico del sistema simultáneo de pulsos no ha sido alterado. En el proceso de la medición, la diferencia de tiempo es siempre medida desde el pulso de la estación maestra al pulso de la estación esclava. De ésta manera se obtiene una familia de líneas de posición Loran para cada par de estaciones, que tienen forma idéntica a las obtenidas con pulsos simultáneos; pero ahora la mínima lectura ocurre en la proximidad de la estación esclava e incrementándose continuamente a lo largo de la línea base hacia la estación maestra según ilustra la Fig. N° 7, teniéndose de esta forma una sola línea para cada diferencia de tiempo. Las líneas de diferencia de tiempo constante para cada par de estaciones son pre-computadas teniendo en cuenta la cur

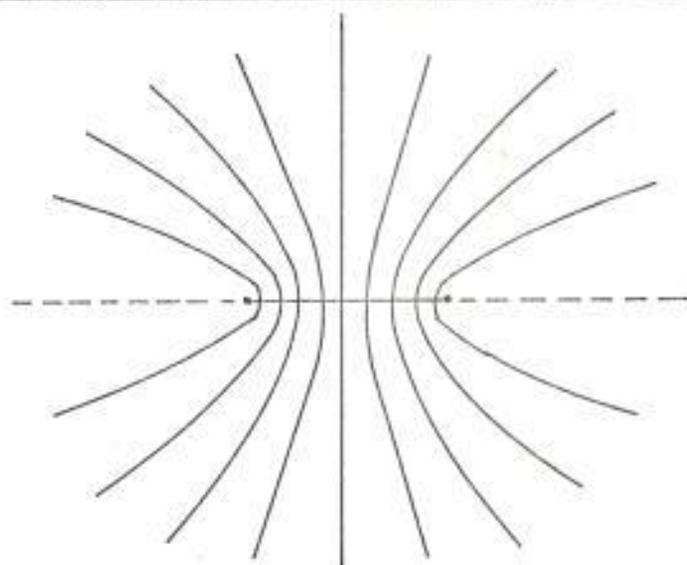


FIG. N° 7
 Líneas de posición para un par
 de estaciones Loran Real

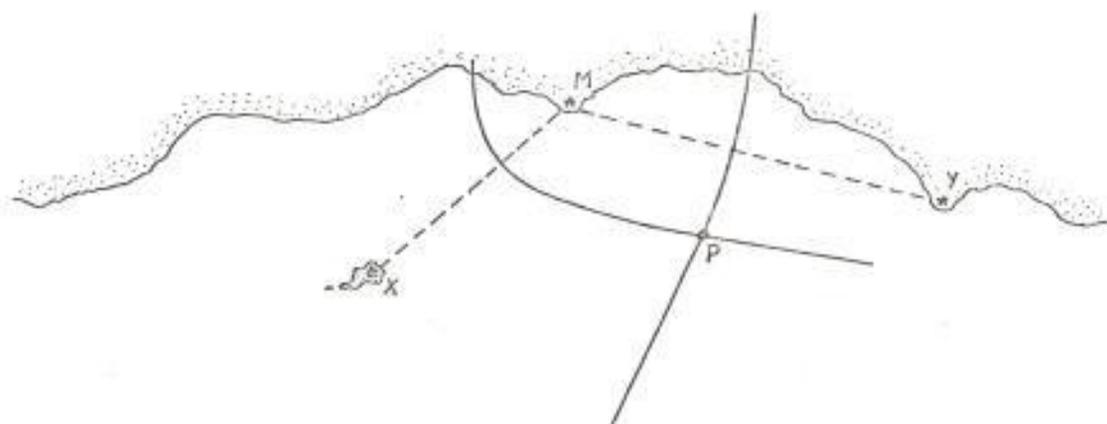


FIG. N° 8

Dos líneas de posición de dos pares Loran -
 determina el posicionamiento de una embarca-
 ción, M es la estación maestra doblemente
 pulsada y común para ambos pares, X y Y son
 esclavas

vatura y excentricidad de la tierra y se facilitan al navegante en forma de tablas y cartas Loran, de esta manera no se necesita conocer con detalles la teoría del método para establecer la diferencia de tiempo de las estaciones o el cálculo de las líneas. Solamente se sigue un metódico procedimiento de medición a bordo del barco, luego se va directamente a las cartas o tablas e interpola entre las líneas de posición tabuladas o graficadas para determinar la línea exacta, correspondiente a la diferencia de tiempo medido.

1.3.1.3 Arreglo del Sistema de un par de Estaciones :

Las estaciones Loran son usualmente dispuestas de manera que dos estaciones de un par estén separadas de 200 a 400 millas náuticas, pero bajo situaciones geográficas desfavorables la separación puede ser desde 100 millas náuticas hasta 600 millas náuticas. Las señales desde dos o más pares de estaciones Loran pueden ser recibidas en ciertas áreas y así, una determinación Loran (de posición) es obtenida por el cruce de dos o más líneas de posición como muestra el punto P en la Fig. N° 8.

En regiones donde es geográficamente imposible colocar más

de un par de estaciones Loran, se puede instalar un único par sólo para proveer líneas de posición para propósitos de aproximación o para intersección con líneas de posición obtenidas de otra forma.

Con el objeto de economizar la instalación de una estación, se hace a menudo una estación común para dos pares, cuando esto ocurre se dice que son estaciones doblemente pulsadas; esto es, envía dos juegos de pulsos enteramente distintos. Así, desde el punto de vista de operación, una estación doblemente pulsada puede ser considerada como dos estaciones separadas en la misma localización.

Las estaciones Loran que constituye una cadena, operan a la misma frecuencia de radio, pero el número de pulsos transmitidos cada segundo (intervalo de repetición) difiere para cada par.

1.3.2 Características de las Señales Loran A :

La identificación de un par de estaciones se obtiene completamente mediante dos características: el canal de radiofrecuencia y el intervalo de repetición de pulsos.

Para economizar canales de radiofrecuencias, un número de pares de estaciones Loran operan en el mismo canal, pero -

cada par transmite con una razón de repetición de pulso - diferente.

Cada par de estaciones Loran A para su identificación posee tres caracteres, donde el primer caracter es el canal, el segundo la razón básica de repetición de pulsos (intervalo entre pulsos) y el tercero la razón específica de repetición de pulsos. Estos símbolos son usados en tablas y cartas Loran A.

Las observaciones y símbolos usados en el sistema Loran A son:

Canales de frecuencia.

1.....	1950 Khz
2.....	1850 Khz
3.....	1900 Khz
4.....	1750 Khz

Razones básicas de repetición de pulsos.

S	(grupo especial).....	20 pulsos por segun dos.
L	(grupo bajo).....	25 pulsos por segun dos.
H	(grupo alto).....	33 1/3 - pulsos - por segun dos.

TABLA I

RAZON DE REPETICION

Designación de la estación (razón-específica). Repetición de pulsos (pulsos por segundos). Intervalo de repetición (milisegundos).-

S razón

0	20	50.000
1	20 1/25	49.900
2	20 2/25	49.800
3	20 1/8	49.700
4	20 1/6	49.600
5	20 1/5	49.500
6	20 17/64	49.400
7	20 9/32	49.300

L razón

0	25	40.000
1	25 1/16	39.900
2	25 1/8	39.800
3	25 3/16	39.700
4	25 1/4	39.600
5	25 5/16	39.500
6	25 3/8	39.400
7	25 7/16	39.300

H razón

0	33 1/3	30.000
1	33 4/9	29.900
2	33 5/9	29.800
3	33 2/3	29.700
4	33 7/9	29.600
5	33 8/9	29.500
6	34	29.400
7	34 1/9	29.300

La razón básica se subdivide en razones específicas por cada intervalo de repetición de pulso en pasos de 100 microsegundos (ver Tabla I) dando mayor flexibilidad al sistema. Por ejemplo la lectura 1H5, nos indica canal = 1, razón básica = H y razón específica 5; este par opera en los Estados Unidos en la región comprendida entre Massachusetts y New Jersey.

1.4 SISTEMA DE RADIONAVEGACION LORAN C :

En los inicios de la década del 50 se incrementó la necesidad de un sistema de navegación electrónica de mayor alcance que el sistema Loran A standard. Los intentos iniciales para extender el alcance de Loran A simplemente bajando sus frecuencias portadoras, fueron abandonadas debido a las dificultades encontradas en la sincronización de la estación y en reconocer entre las ondas terrestres y celestes como resultado del tiempo de reflexión más corto de la onda celeste a más baja frecuencia. Para vencer estas dificultades, se desarrolló un sistema que emplea grupos de pulsos sincronizados para las medidas de diferencia de tiempo y comparación de fase. Este sistema vino a ser conocido como Loran C. (la C indica la tercera versión de la familia Loran). Este sistema, a diferencia del Loran A, transmite grupos de pulsos.

Loran C utiliza como estación maestra un transmisor principal en combinación hasta con cuatro estaciones esclavas remotas; cada grupo de estaciones asociadas esclavas y maestra se conoce como una cadena. Todas las estaciones en el sistema transmite una señal en una frecuencia portadora común de 100 Khz (banda LF) con un ancho de banda que se extiende 10 Khz a ambos lados. Debido a que esta frecuencia es relativamente baja comparada con la frecuencia básica de 1900 Khz de Loran A, el alcance tanto de ondas celestes como terrestres en Loran C se extiende considerablemente mas allá de alcance de ondas similares de Loran A. El alcance de la onda terrestre de Loran C es aproximadamente 1200 millas náuticas; las ondas celestes de un salto o reflexión tienen un alcance de 2300 millas náuticas y las señales de dos saltos o reflexiones han sido recibidas hasta una distancia de 4000 millas náuticas desde las estaciones de transmisión. Las ondas celestes de un salto se producen tanto de día como de noche mientras que las de dos saltos se forman solamente de noche. El mayor alcance de la onda terrestre del sistema Loran C permite que las distancias de línea base entre una estación maestra y sus asociadas estaciones esclavas se extiendan entre 500 y 1000 millas náuticas.

Para hallar la frecuencia de un sistema de Radionavega -

ción que proporcione gran cobertura y elevada exactitud, - se debe considerar lo siguiente: la limitación básica de exactitud es la velocidad de propagación de la energía de radio, aproximadamente 0.3 metros por nanosegundos, esto es, para exactitud del orden de decenas a cientos de metros las mediciones deben ser efectuadas a decenas o cientos de nanosegundos.

La propagación de señales de muy baja frecuencia (VLF) - se efectúa principalmente por onda ionosférica y las predicciones de su propagación, se dificulta por el desconocimiento de las condiciones atmosférica de la región en que transitan.

Las señales de baja frecuencia (LF) poseen los requerimientos para la medición del tiempo con exactitud y la facilidad de predecir las condiciones de propagación de la onda terrestre, aunque está sujeta a interferencias de ondas ionosféricas en largos rangos.

Las señales de frecuencias medias y altas (MF-HF) poseen la capacidad de efectuar mediciones de tiempo, pero sufren elevadas pérdidas de propagación sobre el suelo, reduciendo así su rango. También sufren pérdidas de propagación debido a los objetos físicos naturales o creados por el hombre cuyo tamaño es una fracción significativa -

de una longitud de onda.

Las señales de elevada frecuencia (VHF) y más, son de rango limitado a la línea de vista. Así, la frecuencia 100 Khz fue escogida para Loran C, teniendo como ventaja su característica de propagación estable y gran rango de la banda LF.

1.4.1 Formato de las Señales Loran C :

Con el objeto de minimizar los efectos de interferencia de onda ionosférica, se utilizan señales pulsadas y codificadas. Las ondas ionosféricas son ecos de los pulsos transmitidos las cuales se reflejan desde la ionósfera. Las condiciones de la onda ionosférica varía desde el día hasta la noche y en diferentes partes del mundo. Una onda espacial puede arribar a un receptor en apenas 35 microsegundos o también en 1000 microsegundos después de la onda de tierra; en el primer caso, la onda ionosférica puede superponerse con su propia onda de tierra, mientras que el segundo caso, la onda ionosférica puede superponerse con la onda de tierra del siguiente pulso. Ambos casos causan distorsión de la señal recibida en forma de desvanecimiento, la estructura del pulso cambia si estas condiciones no son minimizadas mediante una selección apropiada para el formato de la señal y po-

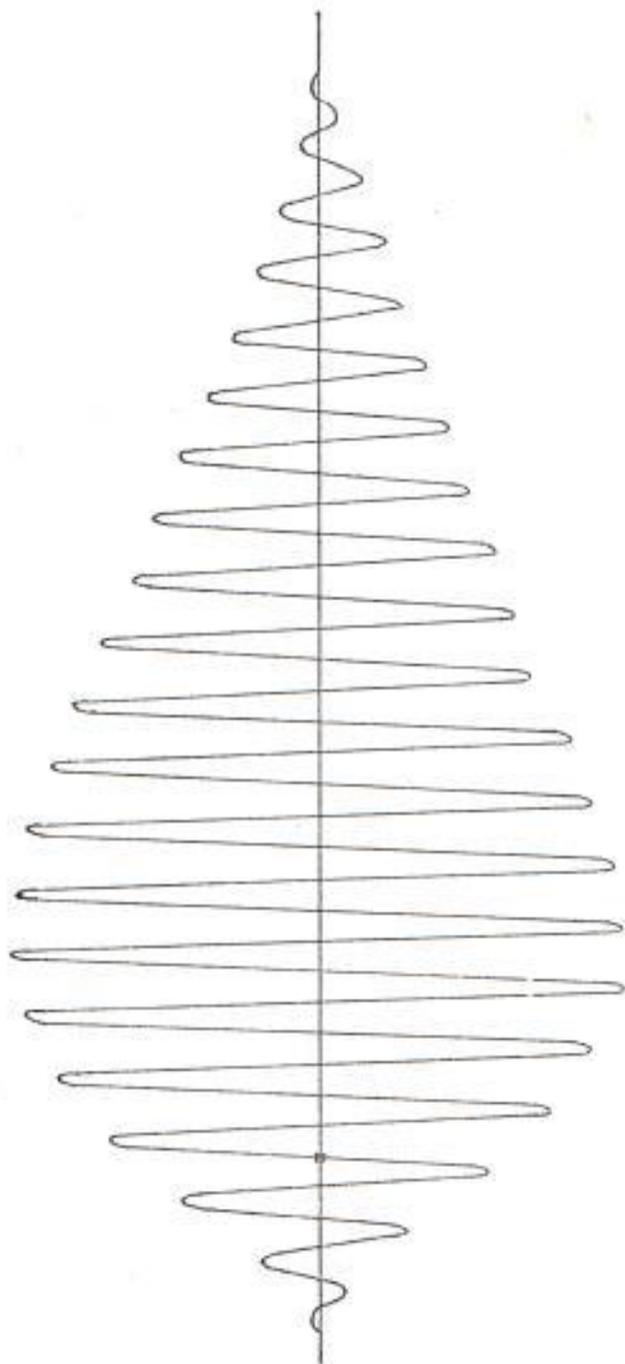


FIG. N° 9

Pulso Loran C. Está constituido de aproximadamente 20 ciclos de 10 useg cada uno. Punto de muestreo para medir la diferencia de tiempo se encuentra al final del tercer ciclo

drían resultar graves errores en el posicionamiento. El problema causado por el pronto arribo de las ondas ionosféricas se puede evitar, haciendo la medición del tiempo de arribo en la primera parte del pulso. Ver Fig. N° 9.

Para prevenir el tardío arribo de las ondas ionosféricas que afecta las mediciones de diferencia de tiempo, la fase de la portadora de 100 Khz es cambiada en ciertos pulsos de un grupo de acuerdo con una norma predeterminada. Los códigos de fase para Loran C se muestra en la tabla II. El código de fase es diferente para las señales de la maestra y esclava, por lo que un receptor automático puede utilizar el mencionado código para la identificación de las estaciones.

Las estaciones transmisoras de una cadena Loran C, transmiten grupos de pulsos, ver Fig. N° 10, en un intervalo específico de repetición de grupo (GRI).

Para cada cadena, un GRI mínimo se selecciona lo suficientemente largo, de manera que contenga el tiempo adecuado para la transmisión del grupo de pulso desde cada estación (10 milisegundos para la maestra y 8 milisegundos para cada esclava) más el tiempo entre cada grupo de pulsos, de modo que las señales de dos o más estaciones no puedan superponerse en ningún momento dentro del área de

TABLA II

	Maestra	Cada secundaria
Loran C		
A.	GRI. ++-+-+ +	++++-+
B.	GRI. +----- +	+--+---

Nota; (+) Indica fase de la portadora en 0 grados
 (-) Indica fase de la portadora en 180 grados.

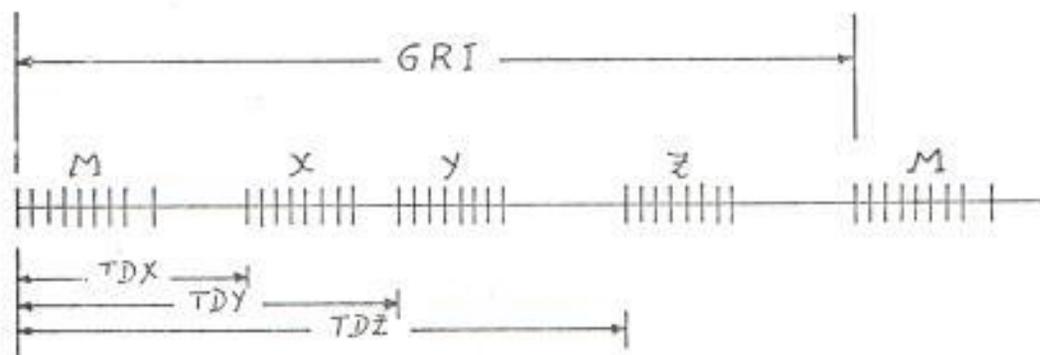


FIG. N° 10

Formato de las señales Loran C

cobertura. El GRI mínimo es una función directa del, número de estaciones y de la distancia entre ellas. Un GRI para la cadena se selecciona entonces de modo que las cadenas adyacentes causen un mínimo de interferencia mutua. El GRI está definido como el intervalo comprendido entre el primer pulso de la maestra de un grupo dado y el primer pulso de la maestra del siguiente grupo. Normalmente los GRI están comprendidos entre 40.000 y 99.990 microsegundos y la identificación de una determinada cadena está dada por el GRI (en microsegundos) dividido para 10.

Cada estación transmite un grupo de pulsos por GRI, el grupo de pulsos de la maestra consiste en 8 pulsos de 200-useg de duración espaciados 1000 useg y un noveno pulso 2000 useg después del octavo. Los grupos de pulsos de las esclavas contienen 8 pulsos espaciados de 1.000 useg, ver Fig. N° 11. El noveno pulso es sólo transmitido por la estación maestra.

La transmisión de grupos de pulsos en vez de uno solo es debido a la enorme potencia que se requeriría, lo cual significa grandes sumas de dinero, para asegurar la transmisión de señales de baja frecuencia a grandes distancias sobre la superficie de la tierra; la misma que es reducida si cada estación transmite una serie de pulsos y el re-

X= 200 useg
Y= 1000 useg
Z= 2000 useg.

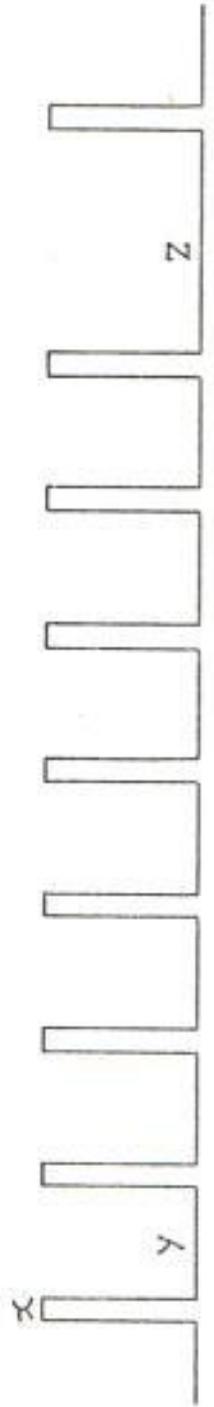


FIG. N° 11

Composición del grupo de pulsos de la estación maestra

ceptor (integrador) suma todos los voltajes de cada pulso permitiendo que cada estación transmisora pueda disminuir grandemente su potencia, mejorando de esta manera la relación señal/ruido significativamente sin un incremento de la potencia de pico radiado.

1.4.2 Características de las Señales Loran C:

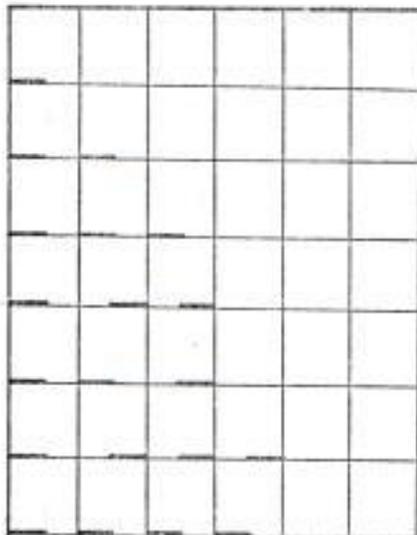
Razón de repetición de pulsos: Las estaciones Loran C pueden ser identificadas por medio de la razón de repetición de pulsos. Los grupos de pulsos son transmitidos en seis razones básicas de repetición, estas es: 10(SS), 12 1/2(SL), 16 2/3(SH), 20(S), 25(L) y 33 1/3 (H) grupos por segundos. Además ocho razones específicas adicionales se pueden generar por cada razón básica para proveer un total de 48 razones de repetición diferentes. Cada estación de una cadena transmite sólo una señal por cada razón de repetición de pulso desde su correspondiente transmisor. Normalmente se transmite primero la señal de la maestra con un retardo fijado en el comienzo del ciclo Loran, luego le siguen las señales de las esclavas en un orden arbitrario.

Símbolos de identificación de la estación: Cada par de estaciones Loran C; esto es, la estación maestra y una de las estaciones esclavas X, Y ó Z, inicialmente se las

identificaban por un símbolo que consistía en lo siguiente: primeramente una o dos letras, indicando la razón básica de repetición de pulso, seguido de un número indicando la razón específica de repetición de pulso y finalmente una letra indicando el tipo de la estación esclava. Por ejemplo en la denominación SO.Y, la S significa la razón básica de repetición de pulso, de 20 pulsos por segundo, el O indica la razón específica de repetición de pulso y la Y indica la estación esclava Y. En la actualidad todavía existen receptores que utilizan esta designación, mientras que otras utilizan la nueva designación como indica la tabla III.

Código del noveno pulso: Cuando ocurren errores en la sincronización de una estación en una cadena, se ha estandarizado una norma para avisarles a las otras estaciones y a los receptores, que operan en el área de servicio. Cuando la maestra detecta un error en una de las esclavas, ejecuta un código del noveno pulso en una de las formas mostradas en la Fig. N° 12. Los receptores automáticos Loran C tienen la capacidad de sensar el código del noveno pulso y proveer un aviso audible al operador; luego de observar el código del noveno pulso, se debe proceder a chequear el funcionamiento de las estaciones y reportar la corrección de algún defecto operacional encontrado.

a) Procedimiento preferido



Normal

X línea base no usual

Y línea base no usual

Z línea base no usual

X y Y línea base no usuales

X y Z líneas base no usuales

Y y Z líneas base no usuales

X, Y y Z líneas base no usuales

b) procedimiento alterno



Intervalo de repetición (15 seg.)

Nota: el noveno pulso es solamente transmitido durante los períodos indicados por las líneas gruesas.

FIG. N° 12 CODIGO DEL NOVENO PULSO

TABLA III

CADENAS LORAN- C EN FUNCIONAMIENTO

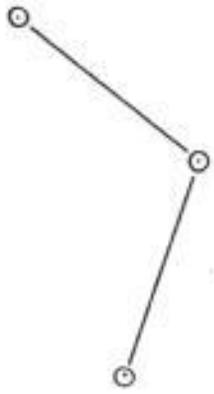
Nombre de la cadena.	Nueva designación GRI/10	Antigua de signación.
Pacífico Norte	9990	SS1
Pacífico Noroeste	9970	SS3
Costa este. USA.	9960	SS4
Costa Oeste USA.	9940	SS6
Grandes Lagos	8970	Ninguno
Mar Mediterráneo	7990	SL1
Suroeste. USA	7980	SL2
Norwegian sea	7970	SL3
Golfo de Alaska	7960	SL4
Atlántico Norte	7930	SL7
Costa oeste Canadá	5990	SH1
Costa este Canadá	5930	SH7
Pacífico Central	4990	SL

Las observaciones de los navegantes, sobre operación defectuosa sin destello o retardo del código del noveno pulso se debe comunicar a la estación monitora. En esta notificación debe indicarse: si se utilizaron ondas terrestres o ionosféricas, posición, lectura Loran C observada, la fecha y tiempo de observación.

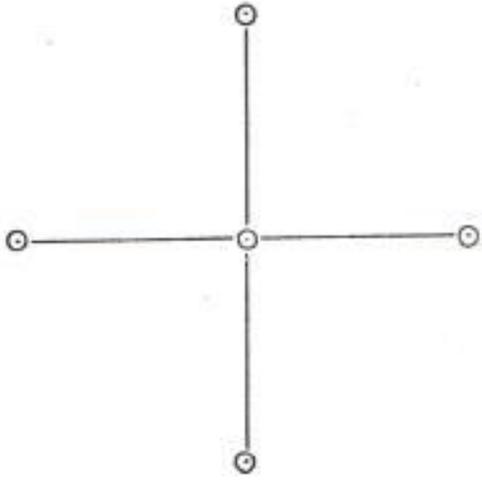
1.4.3 Arreglo de las Estaciones Loran C :

Cada cadena Loran C consiste de dos o más estaciones secundarias en operación con una sola estación maestra. La localización de una estación con respecto a las otras en la cadena , está determinada por los requerimientos de cobertura. Las configuraciones básicas usadas son: triada, Y y estrella, mostrada en la Fig. N° 13.

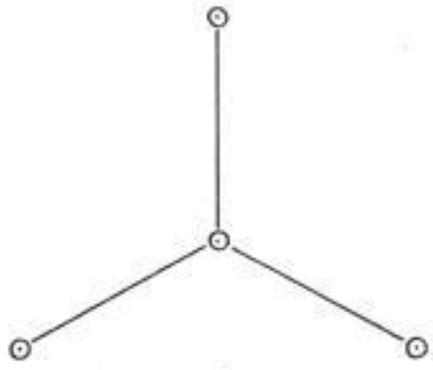
La configuración específica escogida para una cadena de pende de la disponibilidad de los sitios donde se ubica rán las estaciones y del área de cobertura deseado, En algunos casos una estación puede ser localizada en un sitio que permita operar como parte de dos cadenas adyacentes. Esto es, una estación esclava lo puede ser de dos maestra a la vez como indica la Fig. N° 14. La figura en mención nos muestra las cuatro únicas cadenas de estaciones Loran C que operan actualmente en la costa Occidental del Continente Americano.



TRIADA



ESTRELLA



Y

FIG. N° 13

Configuraciones de cadena Loran C

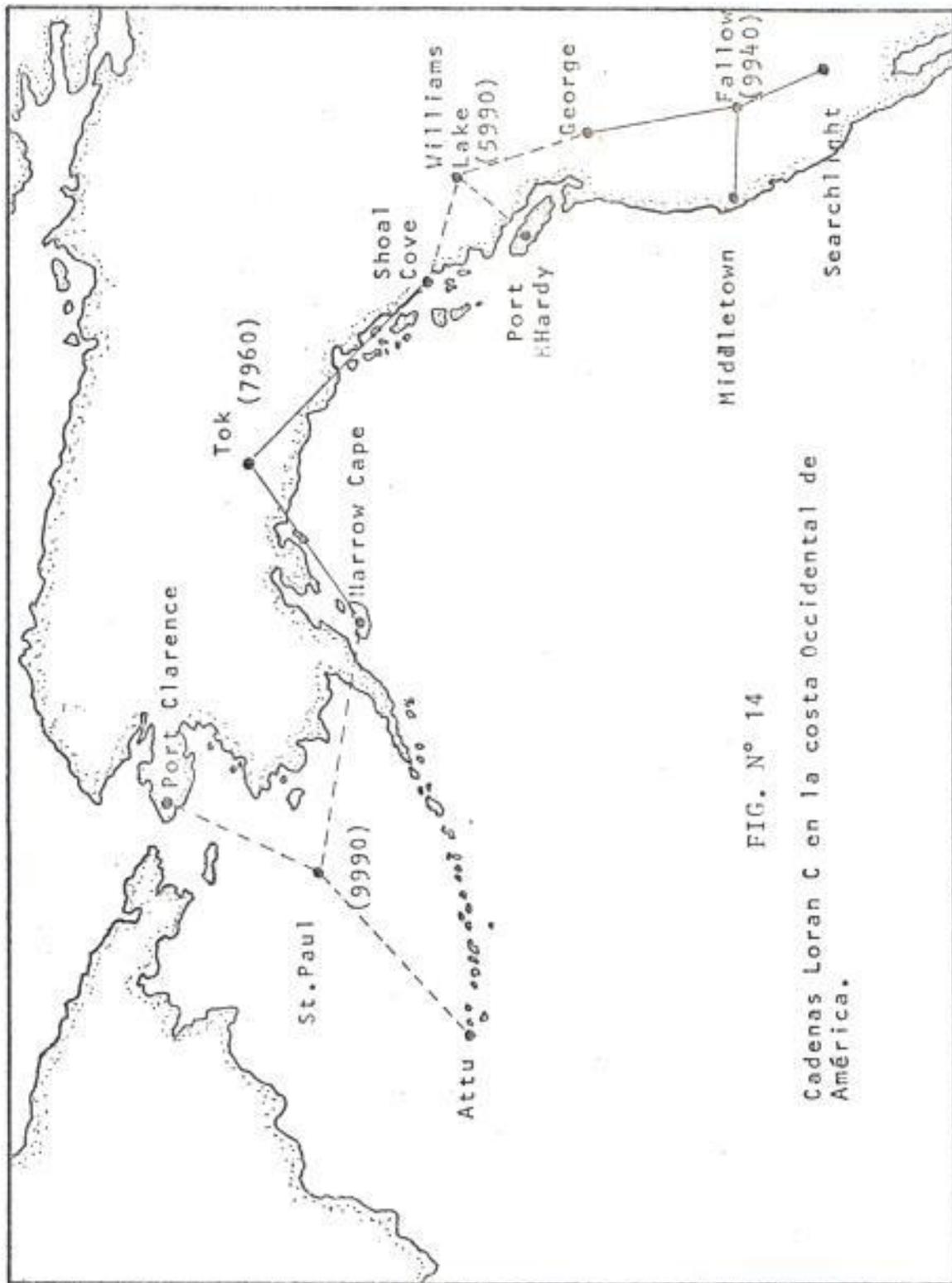


FIG. N° 14

Cadenas Loran C en la costa Occidental de América.

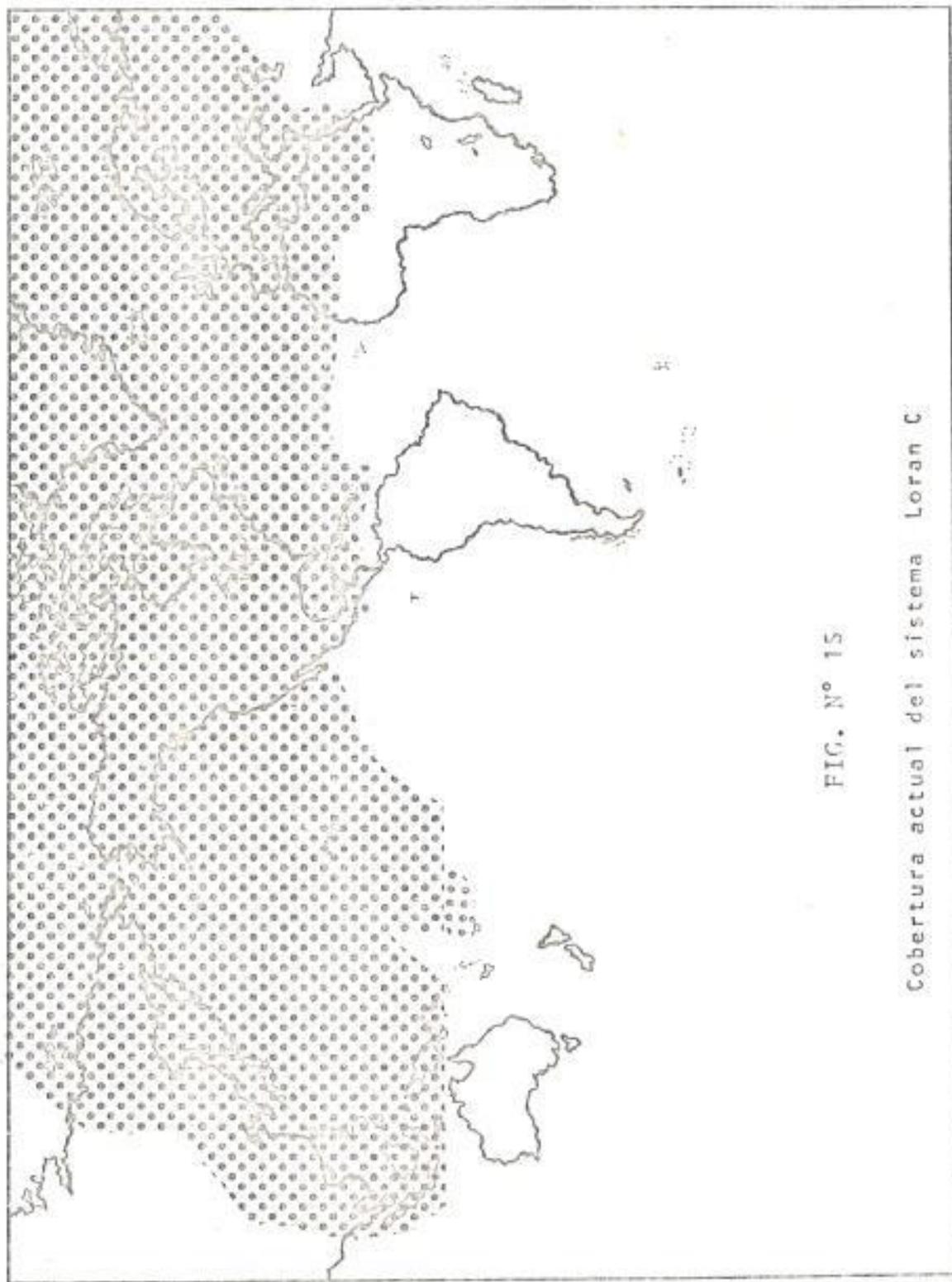


FIG. N° 15

Cobertura actual del sistema Loran C

La Fig. N° 15 muestra la cobertura mundial de todas las estaciones Loran C, que han sido instaladas hasta la presente fecha (Enero/81).

1.5 RADIOAYUDAS A LA NAVEGACION MARITIMA INSTALADAS EN EL ECUADOR.

Con el objeto de mejorar las Ayudas a la Navegación en el país, el Instituto Oceanográfico de la Armada instaló la primera Radioayuda en Esmeraldas a comienzos de 1974. y a fines del mismo año se incorporó dos nuevos Radiofaros que conforman hasta la presente fecha, la cadena de Radiofaros Marítimos del Ecuador.

Los Radiofaros marítimos operan en banda LF (292 KHz para nuestra cadena), la frecuencia asignada es común para todos los transmisores de la cadena y cada uno de ellos transmite solamente durante un lapso de un plan de distribución de tiempo. Las señales transmitidas son ondas continuas moduladas por caracteres del código Morse para identificación, siendo su potencia de salida relativamente baja (300 wattios a la salida del transmisor) y su modo de emisión es AOA2, portadora constante con modulación manipulada.

La cadena de Radiofaros del Ecuador está compuesta por -

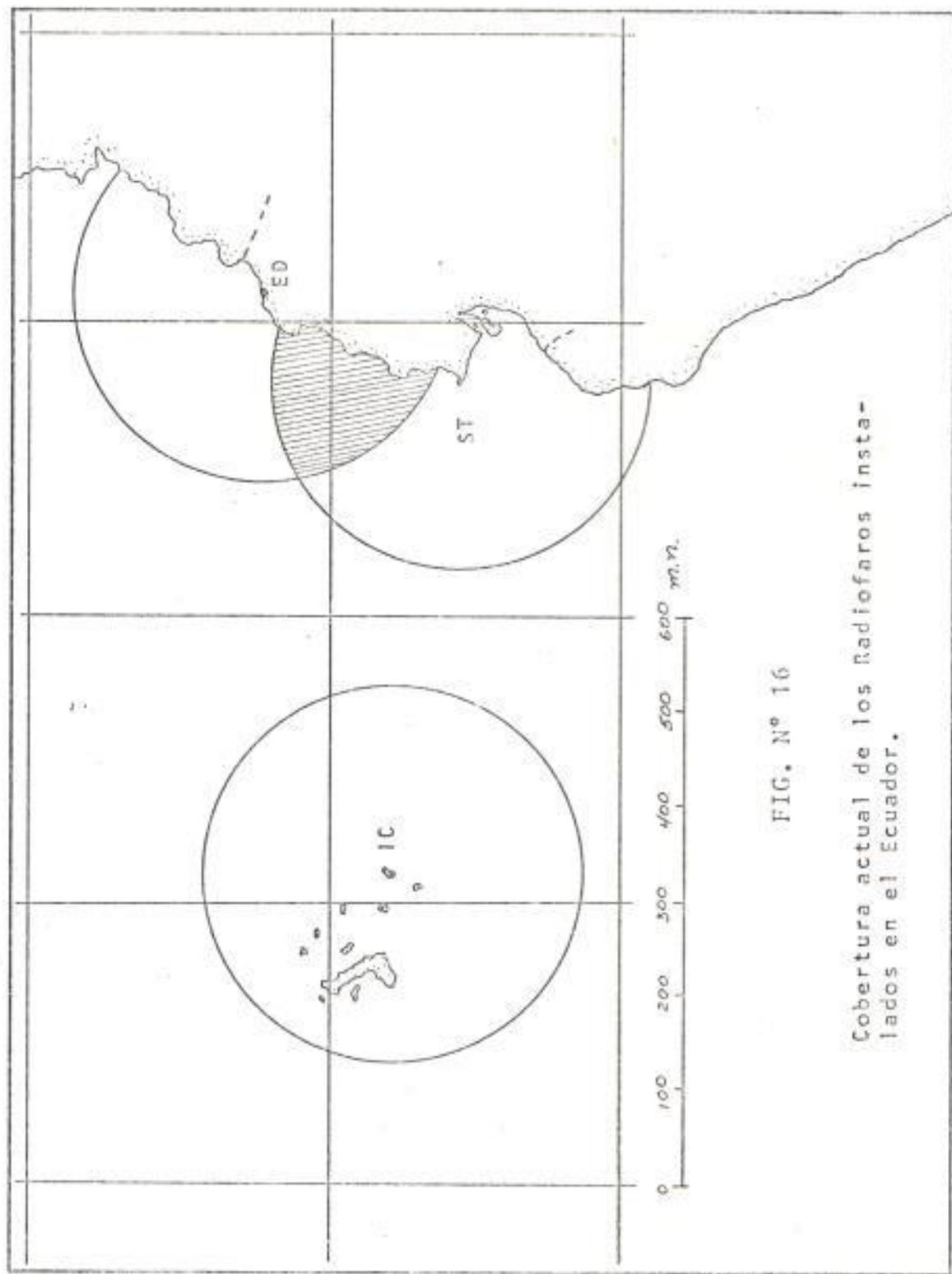


FIG. N° 16

Cobertura actual de los Radiofaros instalados en el Ecuador.

las siguientes estaciones.

Radiofaro de Santa Elena.....(ST)

Radiofaro de Esmeraldas.....(ED)

Radiofaro de San Cristóbal.....(IC)

Cada uno de estos Radiofaros tienen un alcance nominal de 200 millas náuticas. Las dos primeras estaciones permiten el posicionamiento de los buques frente a la costa continental del Ecuador (ver Fig. N° 16), mientras que la tercera estación ubicada en el Archipiélago de Colón sólo sirve para recalada.

Los Radiofaros que conforman nuestra cadena transmiten en forma alternada, primero lo hace el de Santa Elena (ST) - durante 50 segundos, dejando 10 segundos de silencio como margen de guarda. En el minuto siguiente transmite el de Esmeraldas (ED) durante 50 segundos con 10 segundos de silencio y de manera similar lo hace el Radiofaro de San Cristóbal (IC) durante el tercer minuto, funcionando de esta manera toda la cadena durante las 24 horas del día - (ver Fig. N° 17).

La Fig. N° 18, muestra la composición de la señal del Radiofaro de Santa Elena. La señal ST en código Morse tiene una duración de aproximadamente 5 segundos, lo cual se repite 4 veces durante los primeros 20 segundos, a continua

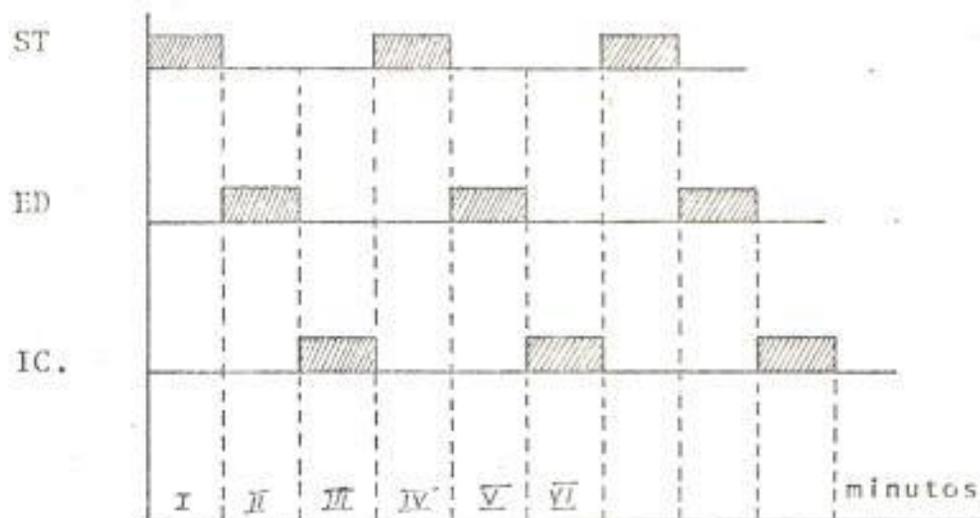


FIG. N° 17

Disposición de las transmisiones de la cadena Ecuatoriana de Radiofaros.

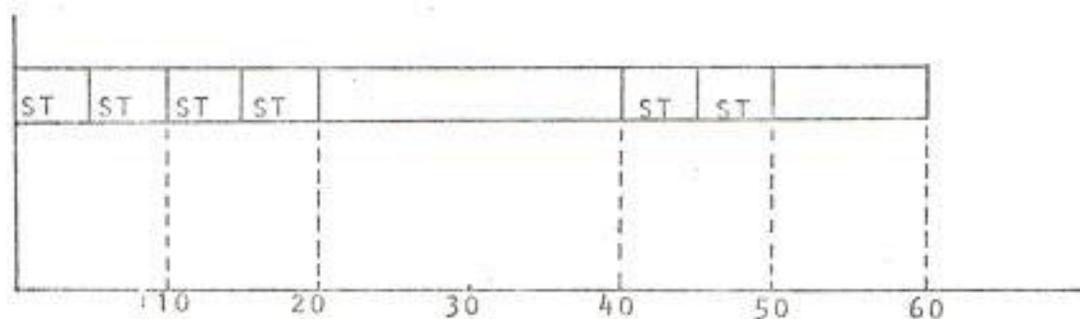


FIG. N° 18

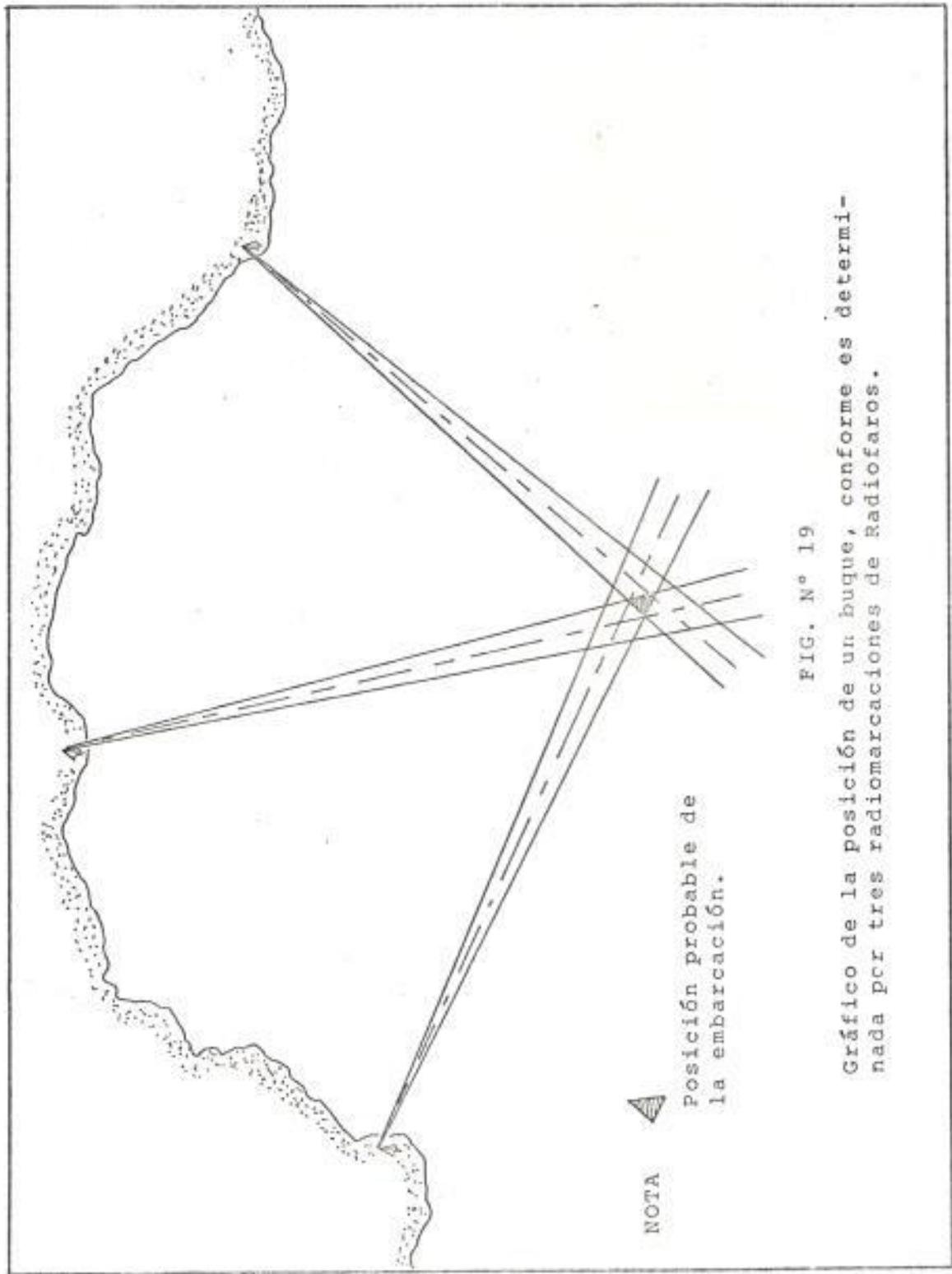
Composición de la señal del Radiofaro de Santa Elena (ST).

ción emite la señal con modulación continua (raya larga) - durante 20 segundos, luego nuevamente se repite la señal - ST por dos veces más para dejar los últimos 10 segundos - de silencio como banda de guarda.

Para la obtención de las radiomarcaciones es indispensable dotar al buque con un radiogoniómetro el cual opera - durante la raya larga emitida por el Radiofaro correspondiente. Esta Unidad requiere por lo menos recibir emisiones desde dos Radiofaros para obtener el posicionamiento de la nave. Ver Fig. N° 19.

1.6 NECESIDADES DE DISPONER DE UN SISTEMA DE RADIONAVEGACION MAS EXACTO Y DE MAYOR COBERTURA.

Las señales transmitidas por los Radiofaros de la cadena ecuatoriana son omnidireccionales, esto es, las ondas de radio se desplazan a lo largo de grandes círculos - por lo que sus marcaciones no pueden ser leídas directamente de un receptor ni graficadas en una carta náutica. - Todas las radiomarcaciones deben primero ser convertidas - a línea de rumbo antes de ser graficadas, usando una tabla de conversión. Las marcaciones corregidas de los Radi - ofaros se grafican en una carta náutica, efectuando un - trazo desde el Radiofaro a la posición aproximada del buque; dado que las radiomarcaciones determinadas no pueden



NOTA



Posición probable de la embarcación.

FIG. N° 19

Gráfico de la posición de un buque, conforme es determinada por tres radiomarcaciones de Radiofaros.

considerarse precisas a más de uno o dos grados se trazan líneas adicionales representando los límites de error probables como se indica en la Fig. N° 19. La intersección de uno o más sectores de marcación indica la más probable posición del buque así como el área dentro de la cual puede estar localizado el buque, dados los posibles errores de marcación.

Es importante mencionar que la cadena de Radiofaros con que se dispone actualmente se encuentra incompleta, ya que para cubrir solamente la región comprendida por la costa continental hace falta dos Radiofaros más, uno en Cabo Pasado (provincia de Manabí) y otro en Puerto Bolívar (provincia del Oro) con lo que el área de cobertura se ampliaría como indica la Fig. N° 20, obteniéndose con ello radiomarcaciones para una área comprendida hasta las 200 millas náuticas pero de limitada precisión.

Considerando el creciente tráfico marítimo y aéreo tanto nacional como internacional por nuestro Mar territorial así como también la rápida expansión de la flota pesquera nacional, resulta de mucha importancia dotar al país de una RADIOAYUDA LOCAL, de mayor exactitud y que cubra la región comprendida entre la costa continental y la región Insular. El sistema hiperbólico Loran C materia de estudio en la presente tesis sirve tanto para fines comercia-

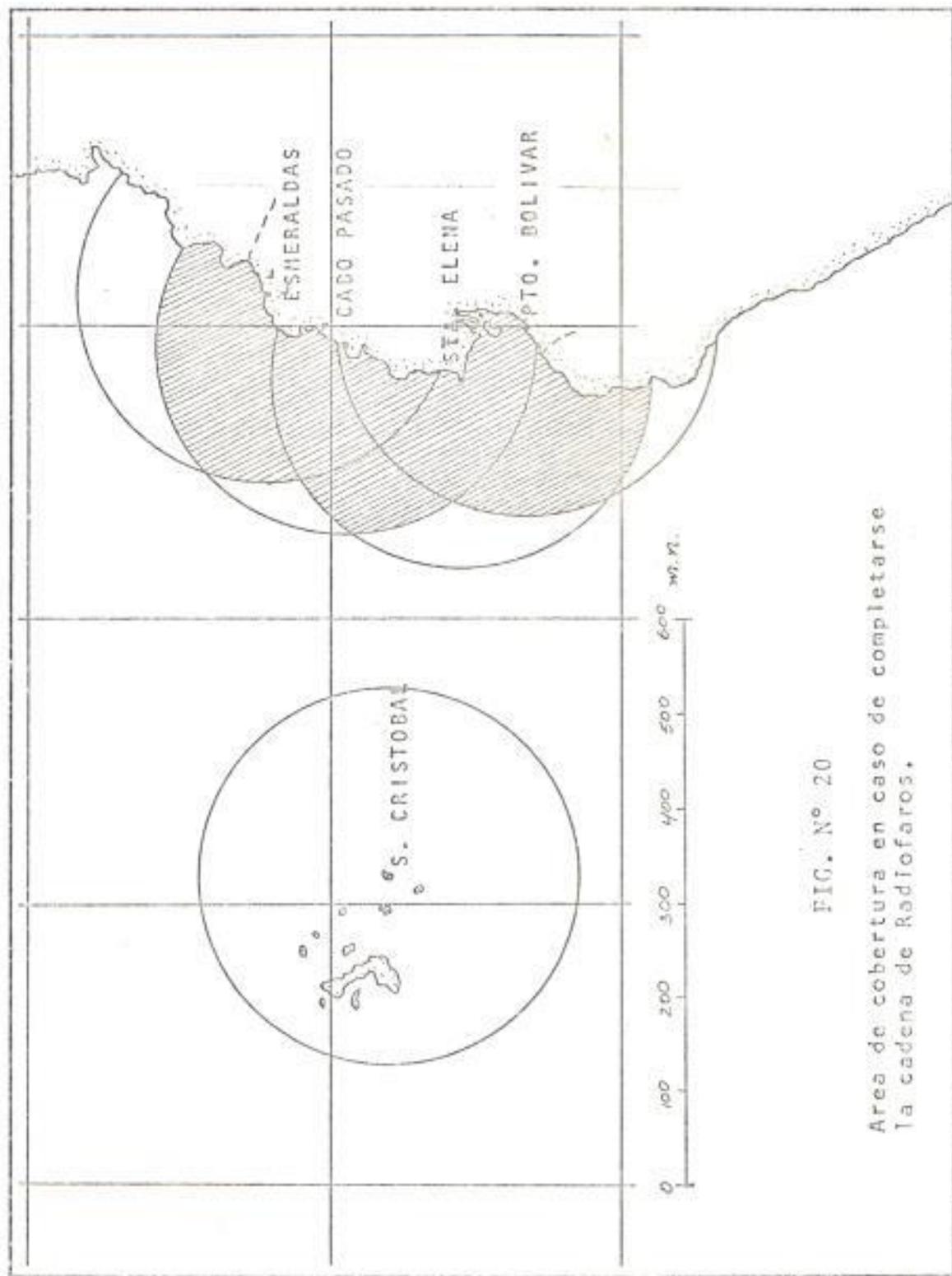


FIG. N° 20

Area de cobertura en caso de completarse
 la cadena de Radiofaros.

les como para militares, siendo de gran importancia para las Fuerzas Armadas contar con esta nueva Radioayuda para el posicionamiento confiable de los navíos a fin de salvar guardar nuestra soberanía Nacional.

Con el sistema Loran C se cubrirá el área entre la costa continental y la región Insular con una precisión elevada (ver cap. N° 2), lo que proporciona mayor facilidad para la navegación lo cual asegura un confiable tráfico naviero evitando de esta forma accidentes que podrían poner en peligro la flora y fauna de nuestro territorio en una supuesta colisión de algún super-buque que transporte petróleo, substancias químicas etc por nuestras aguas territoriales.

Es importante además considerar que la baja frecuencia y la alta potencia a la cual la señal Loran C es transmitida, permite que las ondas terrestres penetren las capas de superficie del agua de mar y que sus señales sean recibidas por submarinos sumergidos.

II. DISEÑO DE LA CADENA ECUATORIA- NA DE ESTACIONES LORAN C Y ES- TUDIO DE FACTIBILIDAD

2.1 REQUERIMIENTOS DE COBERTURA

El objetivo de la presente Tesis es el de disponer una Radioayuda para el posicionamiento de los navíos desde la costa continental ecuatoriana hasta las Islas Galápagos, incluyendo una área de 200 millas de radio alrededor de las mencionadas islas. Además, en el peor de los casos abarcará las 2/3 partes del país en un 95% del tiempo, y a todo el país para un 85% del tiempo.

2.2 USUARIOS

En una área cubierta por el sistema Loran C, un número ilimitado de usuarios provistos de cualquiera de los diferentes tipos de receptores Loran C, pueden utilizar -

la señal disponible por el sistema para determinar con precisión su localización en cualquier tiempo. Los usos más comunes y posibles aplicaciones de este sistema son los siguientes:

- a) Navegación de los barcos de la Armada del Ecuador.
- b) Navegación de los barcos comerciales, tales como tanqueros petroleros, pesqueros, buques de cargas etc.
- c) Posicionamiento de gran precisión para la colocación de: boyas para la navegación, marcas para trabajos hidrográficos, redes de pesca.
- d) Navegación para aviones militares.
- e) Navegación para aviones comerciales.
- f) Precisión para la localización de marcaciones para el levantamiento de planos geográficos, hidrográficos y sismográficos si es que se efectúan desde aviones, barcos o vehículos terrestres.
- g) Control de tráfico naviero en aguas congestionadas.
- h) Aplicaciones para defensa militar, tales como control de tropas y logísticos, reconocimientos, distribución de armas.
- i) Delineación del límite nacional y límites del Mar Territorial.

2.3 REQUERIMIENTO COMUNES DE LOS USUARIOS

El sistema Loran C debe facilitar a los usuarios lo siguiente:

- a) Disponibilidad del sistema en cualquier tiempo, las 24 horas del día.
- b) No exista variaciones durante el día y la noche.
- c) Suministra información para un número ilimitado de usuarios sin interferencias mutuas.
- d) Costo moderado de los equipos específicos para cada aplicación.
- e) No provee posicionamiento inciertos.
- f) Facilidad para cambiar un receptor en un cierto tiempo y rápidamente obtener una localización no ambigua sin recurrir a datos previos y sin necesidad de operación del receptor en forma continua.
- g) Precisar señales capaz de permitir desviaciones de 50 a 500 metros sobre toda el área de cobertura.
- h) Gráficos y cartas de todo el área con énfasis particular en regiones congestionadas y peligrosas.

2.4 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA OPERACIONAL

Para la generación de las señales a ser dispuestas a los usuarios, los siguientes requerimientos en los transmisores, monitores y controladores que comprende el sistema, se deben cumplir:

- a) Una óptima configuración de transmisores, cuyo número, localización y potencia radiada son escogidas considerando los siguientes factores;
- 1.- Proveer señales de elevada precisión en áreas operacionales prioritarias.
 - 2.- Selección de sitios cercanos a centros poblados con el objeto de que estas áreas sean capaz de suministrar energía eléctrica comercial; así como también para alojar el personal que ejecutará la obra..
- b) El nivel de potencia radiada desde cada sitio debe ser minimizado; así como también los requerimientos de aire acondicionado con el objeto de reducir el costo de operación.
- c) Configuraciones de elevada confiabilidad y redundancia del equipo transmisor en cada estación, con objeto de evitar personal para el mantenimiento y operación en los sitios de transmisión y provisto de comunicaciones adecuadas con el centro de control. En caso de alguna falla la disposición redundante pondrá la estación de reserva en el aire, mientras el personal de mantenimiento se desplaza desde la posición de control.
- d) Considerando el trabajo de la estación sin operador todas las estaciones deben ser capaz de ser monitoreada-

y controlada remotamente desde una localización central. Esto debe ser llevado a cabo usando circuitos telefónicos existentes y las propias señales Loran C, alternativamente.

- e) El control del sistema en cada área crítica debe estar basada en las salidas de una señal monitor localizada dentro del área de primordial cobertura. El sitio monitor puede ser el centro de control o los datos del monitor pueden ser enviados al sitio de control para efectuar el ajuste del sistema.

2.5 CONFIGURACION PRELIMINAR DEL SISTEMA LORAN C

Para satisfacer los requerimientos mencionados en el inicio de este capítulo y considerando las configuraciones básicas para la cadena, el arreglo más aconsejable para ser usado en nuestro medio es el tipo TRIADA. Con esta configuración sólo se necesita la intervención de 3 estaciones transmisoras; una estación maestra (M) y dos estaciones esclavas (X y Y), las cuales deben ser situadas al norte y sur de la costa continental ecuatoriana y la tercera en las Islas Galápagos.

Las configuraciones ESTRELLA y Y, a más de ser prácticamente imposible de utilizarlas en el Ecuador, por su carácter geográfico, resultan más costosas ya que se re -

quieren 5 y 4 transmisores respectivamente para conformar la cadena, por lo que se descarta la implementación de las mismas.

2.6 SELECCION DE LOS SITIOS OPTIMOS PARA LAS ESTACIONES Y DIAGRAMA DE COBERTURA

Para la conformación de la configuración TRIADA, de la cadena de estaciones Loran C en el Ecuador, se recomiendan los siguientes sitios para la ubicación de las estaciones transmisoras.

<u>LUGAR</u>		<u>POSICION</u>
Puerto Bolívar	(El Oro)	03°14'24" S. 79°59'44" W.
San Lorenzo	(Esmeraldas)	01°17'58" S. 78°52'28" W.
Villamil, Isla Isabela	(Galápagos)	00°58'00" S. 91°00'00" W.

Estos sitios han sido escogidos a base de las siguientes consideraciones:

Característica del Terreno.- Para la instalación de una estación transmisora Loran C se requiere un área plana de aproximadamente 400 metros de diámetro (ver capítulo II), condición que se cumple cabalmente en los sitios escogi -

dos, ya que poseen extensas áreas planas en sus alrededores. Cabe señalar además, que se descarta la zona cercana de la ciudad de Esmeraldas, debido a que el terreno es topográficamente bastante accidentado haciendo prácticamente imposible la instalación de una estación Loran C en ese lugar, por su antena.

Infraestructura.- De los 3 sitios escogidos, PUERTO BOLIVAR, es el que posee más obras de infraestructura, ya que dispone de energía eléctrica las 24 horas del día, agua potable y servicio telefónico. A más de estar contigua a la capital de provincia (Machala), es el puerto de mayor importancia en el extremo sur del país, habiéndose incrementado notablemente el tráfico naviero por este sector.-

SAN LORENZO, es el punto ecuatoriano que se encuentra más próximo a la frontera con Colombia, en este sector existe energía eléctrica, pero en forma irregular, normalmente 12 horas al día siendo en este caso necesario instalar grupos electrógenos a diesel, no posee agua potable y se proyecta dotarla de servicio telefónico; pero en sus alrededores existen grandes áreas planas que facilitan la instalación de una estación Loran C.

VILLAMIL, es un pequeño pueblo que se encuentra ubicado en el extremo sur de la Isla Isabela, en este sector no e

xisten obras de infraestructura, ya que no dispone de energía eléctrica, agua potable ni teléfono, pero es uno de los lugares poblados más alejados del continente, condición que es muy importante para incrementar la cobertura del sistema y por cuyo motivo no se considera la Isla San Cristóbal, en donde existe mejor infraestructura por estar ahí la capital de provincia; además de encontrarse instalado en esta Isla el Radiofaro " San Cristóbal " (IC).

Vías de Acceso.- Puerto Bolívar es el único lugar, de los 3 sitios considerados que es accesible tanto por tierra, mar y aire; ya que se comunica con todo el país por una carretera de primer orden, pudiéndose utilizar también el aeropuerto de Machala por estar contigua a ella es decir, este sitio brinda grandes facilidades para el transporte de materiales requeridos para la instalación de una estación Loran C. Contándose también con manos de obra disponible en cualquier momento.

En San Lorenzo también se encuentra mano de obra disponible, aunque no calificada. Pero no está unida al resto del país por carretera, sino por ferrocarril; también se puede llegar a este poblado en embarcaciones que parten desde la ciudad de Esmeraldas. Esta localidad dispone de un pequeño aeropuerto donde aterrizan helicópteros, avionetas y aviones de la marina.

En Villamil, en cambio la única vía de acceso es la marítima, ya que no dispone de aeropuerto, siendo además la mano de obra bastante escasa, por lo que es necesario enviar obreros desde el continente. El aeropuerto más cercano de este sitio es el de Baltra ubicado a 100 Km. de distancia aproximadamente, siendo este aeropuerto el mejor de las Islas Galápagos y el que facilita enormemente el desplazamiento de cargas y pasajeros desde el continente.

Comunicación y Seguridad de las Instalaciones.- El único de los sitios escogidos que tienen comunicación telefónica con Guayaquil y el resto del país es puerto Bolívar. En los otros dos sitios, San Lorenzo y Villamil, la comunicación solo es posible mediante transmisores M.F. localizadas en los respectivos Repartos Navales (capitanías de puertos).

En la provincia de Galápagos, el único punto que se comunica con el continente es Puerto Baquerizo (IS. S. Cristóbal), situado a 150 Km de Villamil. En cambio por el norte, la ciudad de Esmeraldas es el punto más cercano a San Lorenzo (100 Km), desde donde se puede comunicar con el resto del país. Para seguridad de las instalaciones en los 3 sitios escogidos, la Armada del Ecuador posee desta

camentos militares, que podrían salvaguardar las instalaciones.

Conclusiones.- De las consideraciones anotadas anteriormente, se puede observar que Puerto Bolívar es el sitio que brinda más facilidades para la instalación de una estación transmisora Loran C, ya que a más de estar cerca de Guayaquil, posee buenas vías de acceso, comunicación, infraestructura y seguridad, por lo que se recomienda además de su ubicación geográfica, como el lugar más óptimo para instalar la estación maestra (M) de la cadena Loran C, mientras que las otras dos localidades San Lorenzo y Villamil se recomienda la instalación de las estaciones esclavas X y Y.

Además, para un eficaz servicio de la cadena, es necesario implementar una estación monitora, desde donde se podrá chequear y controlar el buen funcionamiento del sistema. Esta estación monitora, debe estar situada en la ciudad de Guayaquil, desde donde se enviará rápidamente personal especializado a cualquiera de las 3 estaciones en casos de fallas.

2.7 PARAMETROS DE LAS ESTACIONES

Los parámetros de las estaciones transmisoras Loran-

C para nuestra cadena serán los siguientes:

<u>LOCALIZACION</u>	<u>POTENCIA RADIADA (KW)</u>	<u>DESIGNACION</u>
Villamil-Isla Isabela	400	Secundaria
San Lorenzo-Esmeraldas	400	Secundaria
Puerto Bolivar-El Oro	400	Maestra
Guayaquil-Guayas	-	Monitor

2.8 ESTIMACION DE LA POTENCIA REQUERIDA DE LA SEÑAL RA - DIADA.

Para efectuar un cálculo aproximado de la potencia radiada requerida para la señal de un transmisor, primeramente se debe determinar que intensidad de señal debe existir para una distancia operacional más lejana desde el transmisor, de modo que la señal sea lo suficientemente buena en el receptor del usuario en presencia de un supuesto ruido eléctrico. Para receptores Loran C, la más baja sensibilidad requerida se encuentra durante la recepción inicial de la señal, es decir ésta será considerada como la peor condición. El valor nominal para la relación señal/ruido requerida durante la recepción es de -17 dB. Para valores de ruido tabulados como una función de la localización geográfica, hora del día y mes del año, el mayor nivel de ruido que ocurre en el Ecuador corresponde a una intensidad de campo de 72 dB sobre un microvoltio/-

metro (1), medida en un receptor de 25 KHz de ancho de banda centrada en una frecuencia de portadora de 100 KHz. Estas cantidades se utilizan para determinar la intensidad de campo de la señal requerida para que el receptor sea capaz de captar correctamente la señal en el primer intento.

Luego de hacer la selección preliminar de la posición geográfica de los transmisores se puede observar que el rango máximo desde cualquier transmisor hasta el borde mas lejano del área de cobertura requerida es de aproximadamente 1600 Km.

Se estima que para una cobertura de hasta 1600 Km, los transmisores deben tener 400 Kilovatios de salida (1) para suministrar la intensidad de campo necesaria en el área mencionada. Resumiendo las condiciones impuestas, se ha escogido situaciones críticas de operación, con lo que se garantiza un funcionamiento confiable del sistema. Así, bajo circunstancias normales el rango de operación y el funcionamiento del sistema será mucho mejor que el realizando bajo condiciones críticas. La Fig. N° 21 muestra el área de cobertura aproximado del sistema Loran C para el Ecuador.

(1) "World distribution y characteristics of atmospheric noise" reporte # 322,10 ma Asamblea, CCIR, Ginebra 1964

2.9 SELECCION DEL G.R.I

El intervalo de repetición de grupo (G.R.I) está definido como el tiempo comprendido entre el comienzo de la transmisión de un grupo de pulsos de la maestra y el comienzo del siguiente grupo de la maestra (ver sección-1.4). El mínimo valor de G.R.I. esta directamente relacionada con :

- a) Número de estaciones que constituye la cadena.
- b) Distancia comprendida entre las estaciones.

Se asigna para el grupo de pulsos de la estación maestra-10 milisegundos y para cada estación esclava 8 milisegundos. Además, se adiciona un tiempo apropiado entre cada grupo de pulsos con el objeto de que señales de dos o más estaciones no se superpongan en ningún momento dentro del área de cobertura. Esto es, con respecto al tiempo de arribo de la señal de la estación maestra, cada estación secundaria retardará su transmisión por un determinado tiempo, denominado retardo codificado. La Fig. N° 22 nos muestra las señales recibidas Loran C, en donde:

TDX= Diferencia de tiempo entre las señales de la maestra y la esclava X.

TDY= Diferencia de tiempo entre las señales de la maestra

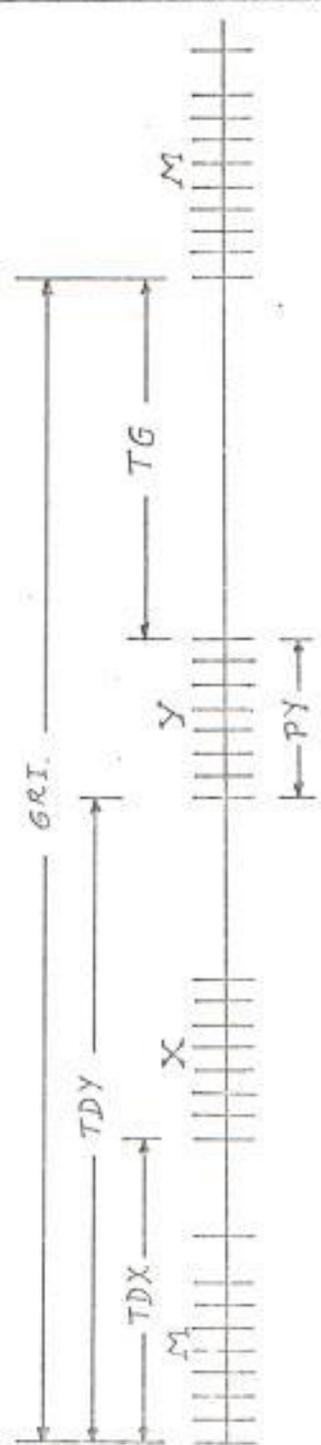


FIG. N° 22

Selección del GRI

y la esclava Y.

TG = Tiempo de guarda, es seleccionado convenientemente -
con el objeto de no causar interferencia con cadenas
Loran C adyacentes.

Selección del TDX.- El TDX' esta compuesto por el tiempo -
(TX), que tarda en arribar la señal de la maestra a la es-
clava X, más el retardo codificado (CDX). El retardo codi-
ficado para la estación esclava X, siempre se lo toma como
11.000 useg.

Para nuestra cadena, el tiempo que se demora en llegar la
señal Loran C desde Puerto Bolívar hasta San Lorenzo es de
aproximadamente 1.700 useg.

$$TDX = TX + CDX$$

$$TDX = 1700 + 11.000$$

$$TDX = 12.700 \text{ useg.}$$

Selección del TDY.- El TDY esta constituido por el tiempo-
(TY) que tarda en arribar la señal de la maestra a la es-
clava Y, más un retardo codificado. El retardo codificado-
(CDY) para la estación Y, se escoge entre 20.000 useg. a
30.000 useg, de acuerdo al número de estaciones transmisio-
ras y la distancia entre ellas; para nuestro caso escoge -
mos CD = 25.000 useg.

El tiempo que demora en arribar la señal de la maestra -
(Puerto Bolívar) a la estación esclava (Villamil) es-
de aproximadamente 4.100 useg.

$$TDY = TY + CDY$$

$$TDY = 4.100 + 25.000$$

$$TDY = 29.100 \text{ useg.}$$

Selección del Tiempo de Guarda.- Debido a que la cadena -
Loran C más próxima a nuestro país se encuentra a varios-
miles de millas náuticas (Costa Occidental de los EEUU),
no tenemos restricciones en seleccionar el tiempo de guar-
da (se lo escoge entre 5.000 a 50.000 useg) por tal mo-
tivo escogemos:

$$TG = 20.000 \text{ useg}$$

De la Fig. N°22 podemos determinar el valor de GRI para la
cadena Loran C implementada en el Ecuador, con los valo -
res determinados anteriormente.

$$GRI = TDY + PY + TG$$

$$GRI = 29.100 + 8.000 + 20.000$$

$$GRI = 57.100 \text{ useg.}$$

Es decir el intervalo de repetición de grupo para nuestra
cadena será de 57.100 useg. Por lo que su identificación-
será: $GRI = 5.710$

III. EQUIPOS

3.1 DESCRIPCION DEL EQUIPAMIENTO DE LAS ESTACIONES TRANSMISORAS QUE CONFORMARIAN LA CADENA ECUATORIANA LORAN C.

El sistema hiperbólico de radionavegación Loran C está constituido por los siguientes elementos:

- Estaciones transmisoras (maestra y esclava)
- Estaciones CONTROL/MONITOR
- Receptores.

3.1.1 Estaciones Transmisoras:

Las estaciones transmisoras son de dos tipos:

- a) Estación transmisora MAESTRA, que cumple con las si -

guientes funciones:

- Transmite las señales con su propio formato, con una tolerancia pre-determinada.
- Fija el tiempo de transmisión, razón de repetición.-
- Monitorea las señales de las estaciones secundarias.
- Emite señales intermitentes utilizadas para comunicación con las estaciones esclavas de la cadena.

b) Las estaciones SECUNDARIAS (esclavas) son también estaciones transmisoras, pero sus funciones difieren un poco de la estación maestra y son las siguientes:

- Transmite señales con su propio formato con una tolerancia pre-determinada.
- Mantiene su propio retardo de emisión.
- Monitorea la diferencia de tiempo de las estaciones-maestra-esclava.

Cada una de las estaciones transmisoras propuestas en este estudio, consta de las siguientes unidades:

- 1) una planta transmisora.
- 2) Una antena monopolo vertical de 220 metros de altura.
- 3) Grupos generadores de energía eléctrica.

Se requiere para la instalación de una estación transmi-sora, una área de 400 x 400 mts aproximadamente.

3.1.1.1 Planta Transmisora:

Para instalar las unidades que constituye el equipo transmisor se debe disponer de un local con una área aproximada de 30 x 20 metros, construido de bloques de concreto sobre un piso de concreto reforzado, el local debe ser de paredes y techo muy bien aislados a fin de minimizar el requerimiento de aire acondicionado. Aunque el transmisor debe ser diseñado para operar en condiciones ambientales de hasta 55° C una mejor confiabilidad y reducidos costos de mantenimiento se obtiene cuando el equipo generalmente opera a bajas temperaturas. En definitiva, este local debe disponer de espacio para el transmisor, unidades para la distribución y protección de la energía eléctrica, unidades de aire acondicionado, área de trabajo, almacenamiento y acomodación mínima para el personal de servicio.

Las características técnicas mínimas a ser cumplidas por el equipo transmisor son:

Configuración flexible.- El equipo debe ser de diseño modular, lo cual permite la selección del tamaño apropiado del equipamiento para satisfacer efectiva y económicamente los requerimientos operacionales específicos, siendo además posible utilizar en una misma cadena transmisores de

diferentes capacidades de potencia radiada, a fin de optimizar la cobertura con una minimización de los costos.

El diseño modular permite además una fácil instalación y movilización de las unidades que conforman el transmisor, evitando el uso de equipos pesados.

Elevada Confiabilidad.- El diseño de los transmisores deben ser básicamente para redundancia completa desde la generación de la señal de tiempo hasta la conexión con la antena. La concepción modular permite fallas sin afectar el funcionamiento total del transmisor.

Precisión de la Forma de Onda del Pulso y Control del Dispositivo de Tiempo.- Las características del pulso de cada transmisor individual deberá ser controlado con mucha precisión para hacerlos idénticos del uno con el otro.

Las envolventes deben ser controladas a 0.1 por ciento y el dispositivo de tiempo a 10 nanosegundos. El fin de pulso (cola) no debe ser oscilatorio y deberá encontrarse por debajo de los 60 dB, luego de 500 useg. después del pico del pulso.

Modo de Operación Flexible.- El transmisor debe operar en todos los modos standard Loran C (o el modo para uso militar Loran D). Además se debe obtener todas las razones

de repetición de pulso comprendidas entre 40.000 y 100.000 microsegundos. Así como también cualquier código de fase o comandos " blinks ". Requiriéndose además la flexibilidad de la forma de pulso dentro del rango de ± 5 microsegundos.

Complejidad Mínima de Instalación.- Los requerimientos de energía eléctrica deben ser bajos, debiendo presentar una carga moderada para el aire acondicionado y evitar el uso de agua refrigerante.

Fácil Mantenimiento y Operación.- Bajo condiciones normales de funcionamiento las estaciones transmisoras no deben requerir de personal para la operación del transmisor.

El equipo deberá disponer de un control automático que hará uso de la redundancia, modularidad y capacidad de detección de falla incorporado en el sistema, para evitar las unidades fallosas y poner la estación en operación sin interrumpir el funcionamiento del transmisor.

Las características principales de funcionamiento de las estaciones transmisoras son las siguientes:

- Frecuencia de portadora 100 KHz \pm 0,2 %
- 99 % de espectro de energía 90-110 KHz
- Pulsos por grupos maestra 9, esclavas 8

Forma del pulso 20 ciclos de 10 useg. cada uno. El pico de la envolvente se encuentra a 65 useg. aproximadamente (ver Fig. N° 9).

Característica del sistema.

- Potencia de pico-radiada por cada-transmisor 400 Kw
- Rango operacional efectivo bajo con-diciones atmosféricas adversas. Día y noche sobre el-mar, 1.600 Km con 400 Kw de potencia de pi-co.
- Cobertura Para navegación aérea y marítima desde la -costa continental has-ta las Islas Galápa-gos. El sistema utili-za 3 estaciones trans-misoras y una estaci-ón control/monitor.
- Exactitud De 50 a 400 metros -para el área compren-dida entre la costa -continental a Galápa-gos, incluyendo el á-rea de 200 millas al-reedor de las Islas-Galápagos.

3.1.1.2 Descripción de la Antena:

La antena requerida para cada una de-las estaciones transmisoras debe tener las siguientes ca-racterísticas:

La torre, constituida por una estructura de acero de seccion transversal triangular, reposa en una base aislante la cual descansa sobre una base de concreto reforzado y estará sujeta en 3 puntos radiales separadas a 120° y en intervalos de altura apropiados. Los vientos estarán sujetados en bloques de concretos de aproximadamente las mismas dimensiones que la base de la torre. Un número de vientos eléctricamente activos se deberá escoger para obtener máxima potencia radiada, mientras provee la capacitancia necesaria para sintonizar la frecuencia de la señal a la frecuencia de portadora standar Loran C de 100 Khz. Una tierra plana (con cesped) sobre la superficie del suelo bajo la antena completa su configuración.

3.1.1.3. Equipos de Generación de Energía Eléctrica.

El local donde se instalará las diferentes unidades que constituye la estación generadora de poder deberá disponer de una área de aproximadamente 10 x 10 metros. La construcción deberá ser sobre una loza de concreto reforzado. El interior del local debe ser muy bien aislado con el objeto de reducir la carga del acondicionador de aire debiendo ser además adecuado para aceptar y distribuir la potencia eléctrica requerida de apro-

ximadamente 100 Kw. El local debe disponer además de sensores instalados para monitorear parámetros tales como temperaturas, disponibilidad de poder, nivel de combustible para los generadores auxiliares, etc. Estos datos pueden ser fácilmente obtenidos mediante acceso remoto desde la estación de control. Para sitios donde se disponga de energíaeléctrica, se deben instalar 2 generadores diesel de 100 - Kw, mientras que para lugares que no disponen de energía eléctrica comercial, se recomienda la instalación de 3 generadores diesel de 100 Kw. Cabe señalar que Puerto Bolívar se ubica en el primer caso, ya que posee energía eléctrica en forma regular, mientras que Villamil y San Lorenso se ubica en el segundo caso.

3.1.1.4 Diagrama de Bloques de la Estación - Transmisora:

La Fig. N°23 muestra el diagrama de bloques de una de las estaciones transmisoras Loran C. Esta figura muestra las unidades que constituye el equipo transmisor; así como también, las diferentes necesidades que requiere el local. A continuación se describe brevemente cada una de estas unidades.

La frecuencia del oscilador de cristal es controlada me -

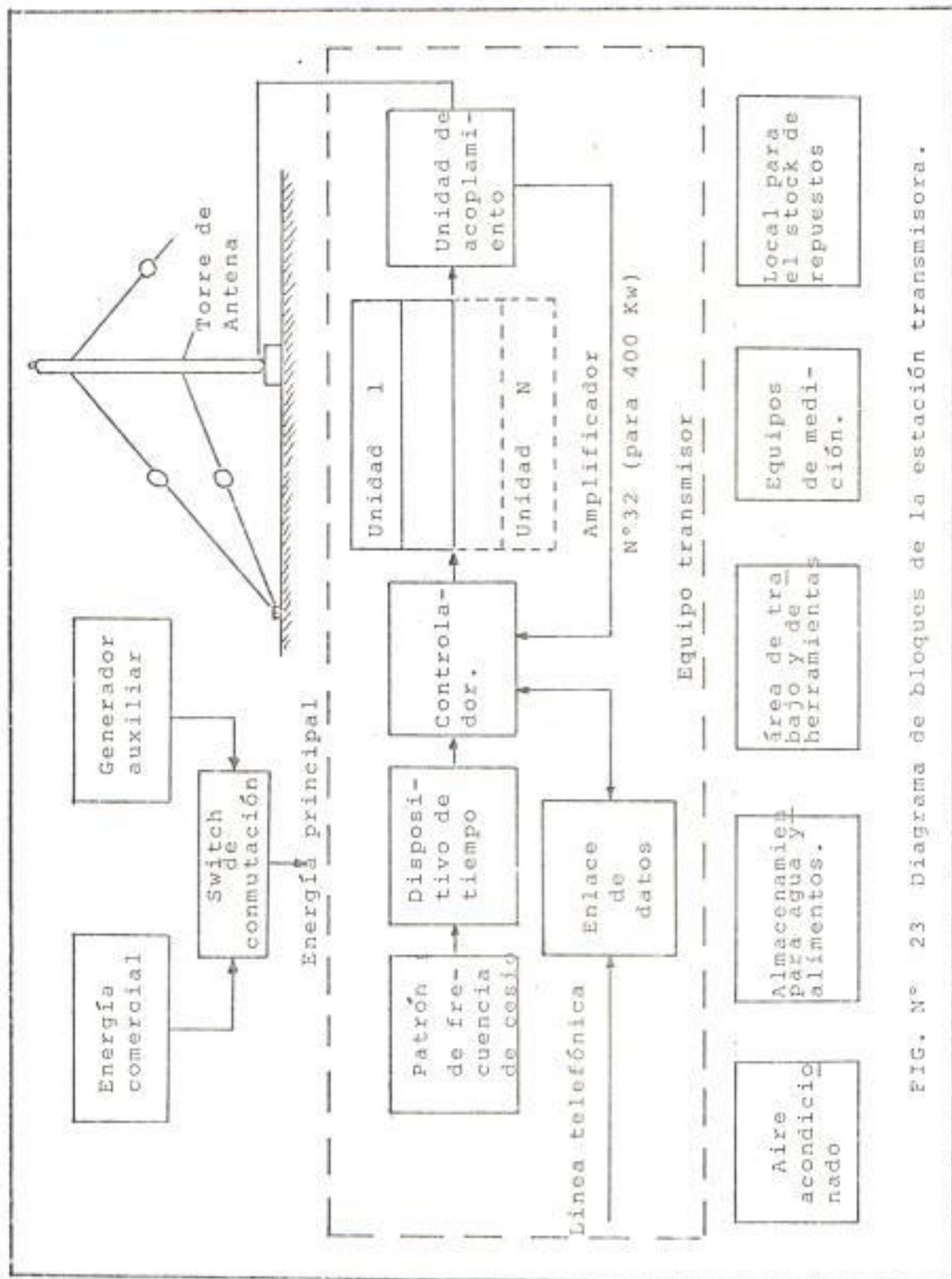


FIG. N° 23 Diagrama de bloques de la estación transmisora.

diante el " PATRON DE FRECUENCIA DE CESIO ", lo cual permite desviaciones de sólo \pm 100 nanosegundos por día aproximadamente. Esta frecuencia muy estable alimenta al DISPOSITIVO DE TIEMPO, el cual genera el tiempo de referencia del sistema, así como la frecuencia básica de 100 KHz; determina además la razón básica de repetición del transmisor y la separación de pulsos en los grupos de pulsos. El dispositivo de tiempo (timer), para el caso de las estaciones transmisoras esclavas, inserta el retardo codificado adecuado para que dicha estación transmita en el punto específico del GRI.

La unidad CONTROLADOR forma parte del " dispositivo de tiempo " y su función es la de monitorear la operación del sistema. La unidad " ENLACE DE DATOS ", está acoplada con la unidad controladora y es la que recibe las órdenes enviadas por control remoto desde la estación de control Monitor.

El AMPLICADOR, diseñado en forma modular, constituido de 32 sub-unidades de 12.5Kw cada una y su señal de salida llega a la Antena, a través de su UNIDAD DE ACOPLAMIENTO correspondiente.

3.1.2 Estaciones Control/Monitor:

El segundo tipo de estaciones utilizadas en el sistema Loran C, son las estaciones Control/Monitor. Estas estaciones utilizan receptores, registradores y equipos de comunicaciones para monitorear y controlar las transmisiones desde uno o mas pares maestra-esclava. La función de la estación/Monitor, es la de asegurar que las señales Loran C tengan su propio formato y emitir ajustes apropiados a una estación transmisora en particular, con el fin de que la señal recibida permanezca dentro de la tolerancia asignada.

3.2 FACILIDADES DE MONITOREO Y CONTROL COMANDO:

Con el objeto de chequear y garantizar un servicio eficiente de la cadena Loran C, se recomienda la instalación de una estación de monitoreo y control comando. Esta estación monitorea consiste de un receptor Loran C diseñado especialmente, un teletipo-grabador y un graficador de cartas. El receptor debe ser capaz de rastrear las transmisiones de las 3 estaciones y proporcionar: diferencias de tiempo apropiados, efectuar mediciones para determinar la relación Señal/Ruido de cada señal y determinar la calidad de cada señal por el análisis de las señales características conocidas como Discrepancia de Envolvente Ciclo (ECD). Estos parámetros obtenidos en el receptor, son

grabados en cassetes del teletypo para luego revisar o procesar y ser presentado en forma análoga en el graficador de cartas.

Para el control de los parámetros de la cadena o para interrogar el estado de determinado transmisor, el operador deberá usar la unidad de control remoto, disponible en el Control/Comando/Monitor.

El operador de la estación Control/Monitor, puede cambiar las condiciones de operación; así como también conmutar un transmisor en operación y poner en servicio el transmisor respectivo de standby.

3.3 CARACTERISTICAS Y OPERACION DEL EQUIPO RECEPTOR:

Como anteriormente se ha mencionado, la onda ionosférica llega al receptor luego de haber arribado previamente la onda terrestre. Se ha determinado luego de observaciones por largo períodos, que para señales de 100 KHz. la onda ionosférica y la onda terrestre arriban a un receptor en intervalos mayores de 30 microsegundos. Consecuentemente, con el objeto de evitar la superposición de la onda ionosférica, una señal recibida en el receptor Loran C se debe analizar durante los primeros 30 microsegundos de su recepción.

Para comparar dos señales ya sea envolventes o pulsos, se define un punto de muestreo; este debe ser exacto y el mismo para ambas señales. El punto de muestreo escogido para cada señal está situado a 30 microsegundos del inicio de la señal recibida, la Fig. N°24 muestra como el receptor determina el punto de muestreo y entrega una lectura aproximada.

Cuando recibe una señal, el receptor retarda la envolvente por 5 microsegundos, la invierte y luego suma la señal transformada con la envolvente de la señal original. La envolvente resultante (también llamada envolvente derivada) cruza el eje de las abscisas en un punto, el cual es llamado punto de muestreo. La posición de este punto (su retraso con respecto al comienzo de la señal) depende de la amplitud de la envolvente retardada e invertida.

El receptor posee dos puertas de muestreo (una para la señal de la maestra y otro para cada señal esclava) que sirven para localizar los puntos de referencia y muestrear el voltaje en estos puntos exactamente. La diferencia de tiempo entre las dos puertas de muestreo corresponde a la medición aproximada.

3.3.1 Eliminación del Ruido Atmosférico :

El receptor utiliza un integrador para traba -

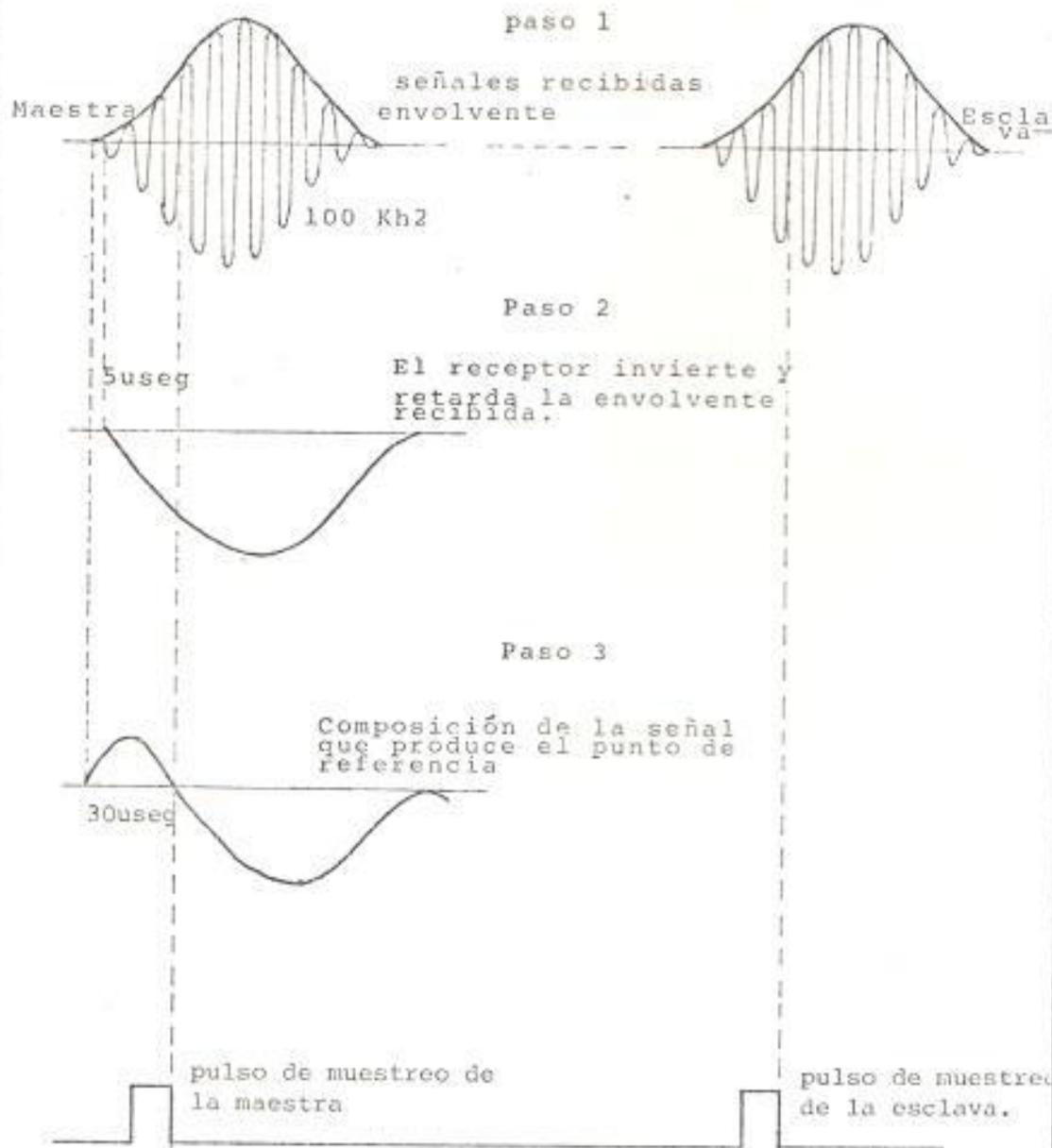


Fig. N° 24

Localización de los puntos de referencia
 en el receptor Loran C.

jar satisfactoriamente durante ruidos atmosféricos, los cuales hacen imposible observar las señales en un osciloscopio.

La Fig. N°25 muestra como son recibidas los pulsos en un receptor (se indican sólo 3 pulsos para simplificación) combinado con ruido atmosférico. Se ha establecido que la suma de los voltajes producidos por señales aleatorias de ruido sobre un período de tiempo llega con un valor de cero. Esto es, la integración de 8 pulsos detectados en intervalos de aproximadamente 1000 useg prácticamente elimina el ruido, excepto si los pulsos, por fenómenos accidentales no son periódicas.

3.3.2 Consideraciones a Tener Presente al Utilizar Receptores Loran C:

En el mercado se encuentra disponibles diferentes tipos de receptores Loran C. Cada uno de ellos tienen diferentes controles de operación y los pasos que el operador debe efectuar varía con el tipo de receptor. La mejor regla a seguir para obtener buenos resultados, es seguirse por el manual de operación de cada receptor. A continuación se considerará a manera general, los pasos a seguirse cuando se utilice cualquier receptor específico.

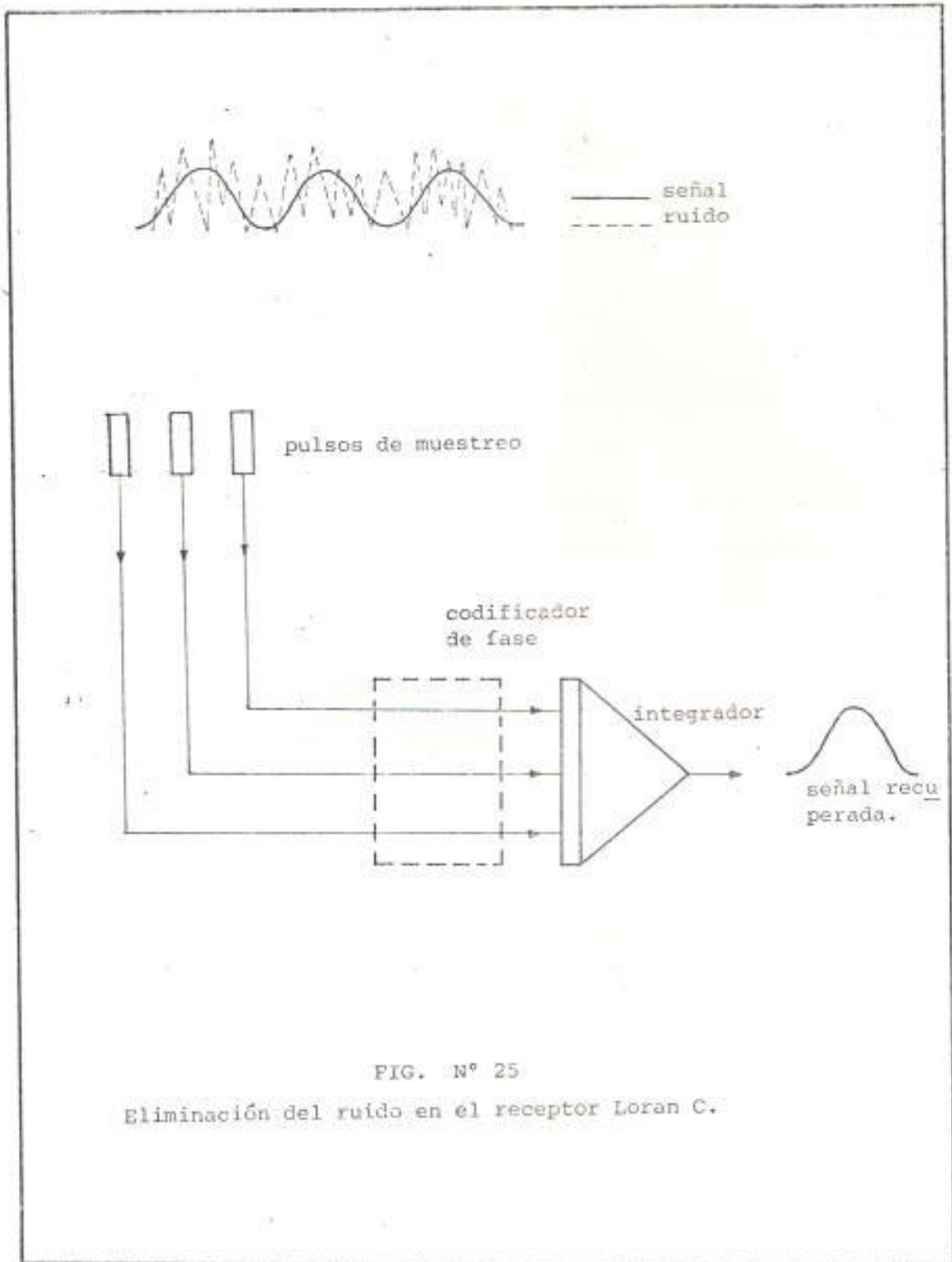


FIG. N° 25

Eliminación del ruido en el receptor Loran C.

3.3.2.1 Operación General:

Para la explicación de todos los controles del receptor refieráse a su propio manual de operación. Un receptor Loran C automático se operarará de la si - guiente manera:

- a.- Poner el receptor en ON
- b.- Seleccionar la cadena y las estaciones secunda - rias para el área de interés.
- c.- Sintonización de los " notch filters " (estos - filtros son usados para eliminar la interfe - ren - cia de las señales). Los métodos para su sinto - nización pueden ser únicos para determinado re - ceptor y se debe consultar el manual del opera - dor para su correcta operación.
- d.- Una vez llegada las señales Loran C al receptor, éste entrega las diferencias de tiempo (TDS).

Muchos receptores estan dispuestos de un control que permite poner a éstos en el modo rastreador " tracking ", luego de haber arribado la señal. Esta posición puede estar rotulada " track," normal," freeze, " etc. El receptor en el - modo track es menos susceptible a interferencias y permite - el rastreo apropiado, aun cuando las señales Loran C no - sean lo suficientemente fuertes.

3.3.2.2 Marcaciones de las Lecturas de Tiem-

po Reales:

Cuando se observa cambios del último dígito de la lectura en su receptor, esto puede ocurrir aún cuando la embarcación no esté en movimiento y es causado por interferencias de ruido con la señal Loran C. Por este motivo, cuando se utilice el receptor para navegación precisa, se deberá promediar las lecturas antes de ser marcadas. Muchos receptores están provisto de un switch (" hold "). Este switch toma la lectura presente en el display, mientras el receptor continúa el rastreo internamente. El switch de memoria es muy útil en situaciones tales como, marcar la posición de una balsa, boya (flotador); sin embargo se debe tener presente que la lectura en el display puede ser 0.1 ó 0.2 microsegundos diferente de la lectura promedio debido a la interferencia de ruido.

3.3.2.3 Alarmas:

La mayoría de los receptores son provistos de una o más alarmas. Generalmente éstas son luces que cuando se apagan indica que todo está normal. Cuando se prende indica que algo está incorrecto y se deberá usar

la diferencia de tiempo en el display con precaución.

Alarma Blink.- Cuando existen condiciones anormales en una o mas estaciones transmisoras, éstas transmiten una señal blink para avisar que el sistema no se encuentre dentro de su tolerancia asignada. El receptor acepta esta señal y entrega un aviso visual.

Alarma por Pérdida de Señal.- Esta alarma es provista en muchos receptores para indicar cuando la señal es demasiado débil por lo que el receptor no puede operar apropiadamente.

Cada vez que se encienda una alarma, se debe actuar con mucho cuidado, no debiendose utilizar la diferencia de tiempo hasta que la alarma se apague.

3.4 COSTO DEL SISTEMA:(1)

El equipamiento de cada estación transmisora maestra o esclava, junto con su respectiva antena y equipos de generación de energía eléctrica, tiene un costo aproximado de cinco millones de dólares cada una, incluyendo su instalación; por lo que se estima que el costo total de la -

instalación de la cadena Loran C. incluyendo su estación -
monitora es de aproximadamente de 15 millones de dólares.

IV. VARIOS

4.1 CONSTRUCCION DE LAS CURVAS HIPERBOLICAS:

Para el posicionamiento de determinada embarcación, los datos obtenidos por el receptor Loran C deben ser llevados a una carta náutica que contenga las curvas hiperbólicas generadas por las estaciones de la cadena en la cual se navega. Cada par de estaciones transmisoras, maestra-esclava, proporciona una familia de curvas hiperbólicas las que permiten posicionar la embarcación (ver secciones 1.2 y 4.2). Estas curvas cumplen con el principio fundamental de la hipérbola que dice: la diferencia de las distancias entre un punto cualquiera P_0 a 2 puntos fijos P_1 y P_2 es una constante . (ver Fig. N° 26).

Esto es, $(d_2 - d_1) = \text{constante}$.

La diferencia

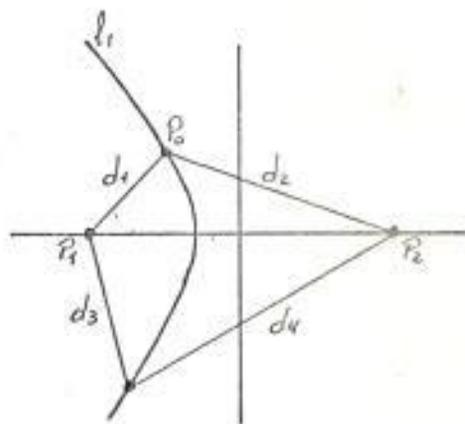


FIG. N° 26

Principio de la hipérbola ($d_2 - d_1 = \text{constante}$)

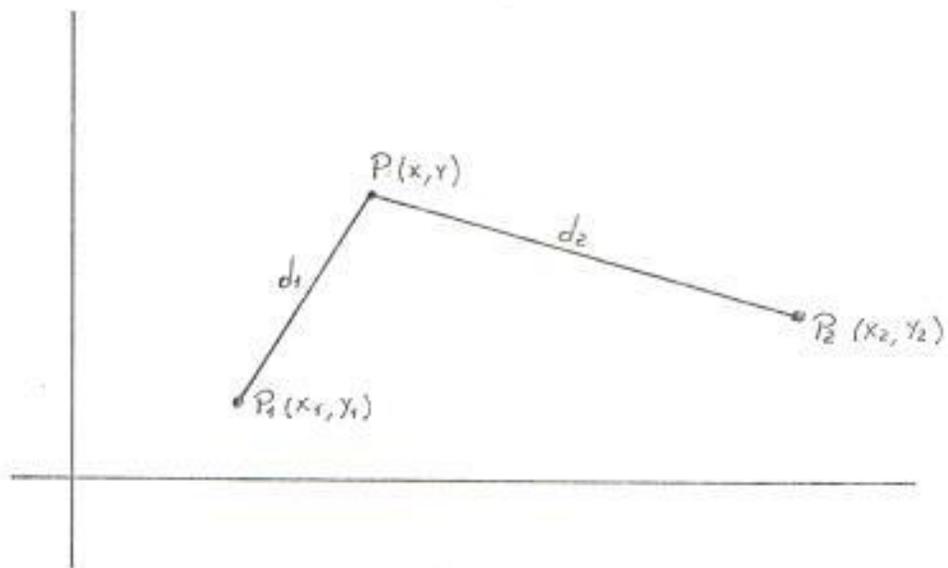


FIG. N° 27

Desarrollo matemático de la hipérbola

$$(d_2 - d_1) = (d_4 - d_3) = \text{cte}$$

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

La curva l_1 se la denomina curva de diferencia de distancia constante, así.

$$(d_2 - d_1) = (d_4 - d_3) = l_1$$

El valor l_1 constituye un parámetro y para diversos valores de ln ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$) se obtiene la familia de curvas hiperbólicas.

Suponiendo que las ondas Loran C viajan a la velocidad de la luz (constante) y llamando t_1 y t_2 a los tiempos que toman las señales enviadas desde P_1 y P_2 en llegar al punto P_0 (Fig. N°26), entonces se cumplirá:

$$(t_2 - t_1) = t = \text{constante}$$

La curva l_2 se la denomina curva de diferencia de tiempo constante.

4.1.1 Desarrollo Matemático del Sistema:

Sean 2 puntos fijos P_1 y P_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 P_1 y d_2 de P_2 como indica la Fig. N° 27.

Por lo establecido anteriormente

$$(d_2 - d_1) = l \quad (4 - 1)$$

donde l es una constante, y d_1 y d_2 valen:

$$d_2 = \left((x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \right)^{1/2} \quad (4-2)$$

$$d_1 = \left((x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \right)^{1/2} \quad (4-3)$$

reemplazando (4-2) y (4-3) en (4-1):

$$\left((x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \right)^{1/2} - \left((x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \right)^{1/2} = l \quad (4-4)$$

desarrollando (4-4) se tiene:

$$2x(x_1 - x_2) + 2y(y_1 - y_2) - ((x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2)) - l = 2l \left((x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \right)^{1/2} \quad (4-5)$$

haciendo

$$H = - \left((x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) \right) \quad (4-6)$$

$$H_1 = (x_1 - x_2)$$

$$H_2 = (y_1 - y_2)$$

reemplazando (4-6) en (4-5)

$$2xH_1 + 2yH_2 + (H - l^2) = 2l \left((x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \right)^{1/2} \quad (4-7)$$

elevando al cuadrado (4-7) y agrupando términos semejantes tenemos:

$$Ax + Bxy + Cy + Dx + Ey + F = 0 \quad (4-8)$$

en donde

$$A = 4H_1^2 - 4l^2$$

$$B = 8H_1 H_2$$

$$C = 4H_2^2 - 4l^2$$

$$D = 4HH_1 - 4l^2 H_1 + 8l^2 x_1 \quad (4-9)$$

$$E = 4HH_2 - 4l^2 H_2 + 8l^2 y_1$$

$$F = H^2 - 2l^2 H + l^4 - 4l^2 x_1^2 - 4l^2 y_1^2$$

La ecuación (4-8) es la ecuación general de las cónicas y si su discriminante $I (=B^2 - 4AC)$ es positivo, la ecuación en mención será la ecuación general de la hipérbola.

Verificación:

$$I = B^2 - 4AC \quad (4-10)$$

$$I = 64H_1^2 H_2^2 - 4(4H_1^2 - 4l^2)(4H_2^2 - 4l^2) \quad (4-11)$$

$$I = 64l^2 (H_1^2 + H_2^2) - 64l^4$$

$(H_1^2 + H_2^2)$ es la distancia entre P_1 y P_2 elevada al cuadrado; y solamente para los casos extremos 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 (línea - base), la diferencia de distancia l es igual a $(H_1^2 + H_2^2)^{1/2}$.

Para cualquier otra posición que no sean las anteriormente mencionadas, l es siempre menor que $(H_1^2 + H_2^2)^{1/2}$, siendo por lo consiguiente la ecuación (4-8), la ecuación general de la hipérbola.

4.1.2 Trazado de las Curvas Hiperbólicas en la Carta Náutica:

Para efectuar el trazado de las curvas diferencia de tiempo en la carta náutica, transformamos las magnitudes de las constantes y variables de la ecuación (4-8) con el fin de elaborar un programa que nos entregue

los valores de las coordenadas de cada curva hiperbólica. Las posiciones geográficas de los lugares seleccionados - para instalar las estaciones transmisoras de la cadena Lo ran C del Ecuador son las siguientes.

	Latitud 0	Longitud
Pto. Bolívar (Maestra)	03°14'24"S	79°59'44"0
San Lorenzo (Esclava X)	01°17'58"N	78°52'28"0
Pto.Villamil (Esclava Y)	00°58'00"S	91°00'00"0

Para mayor comodidad trasladamos el origen de nuestro sistema al punto de latitud 05°S y longitud 78°0 y consideremos que cada minuto, ya sea de latitud o longitud equivale a una milla náutica.

De ésta forma tendremos que las nuevas ubicaciones de las estaciones transmisoras serán.

	Eje X	Eje Y
Pto. Bolívar (X_1, Y_1)	119,733	105,600
San Lorenzo (X_2, Y_2)	52,467	377,967
Pto.Villamil (X_3, Y_3)	780,000	242,000

En el programa (1) vamos a suponer que la velocidad de la

(1) Programa utilizado por el Ing. Pablo T Chang Jo, en su Tesis de Grado " Diseño de un Sistema Hiperbólico-de Radiolocalización.

luz es de 300.000 Km/seg (161.987 mn/seg). Este programa permitirá obtener valores de X y Y para cada valor del parámetro τ (diferencia de tiempo constante), con los cuales podremos graficar las curvas hiperbólicas en la carta náutica.

El diagrama de flujo (ver Fig. 28) del programa, utiliza la ecuación (4-8) para obtener 2 valores de Y, pertenecientes a un mismo parámetro (DDT), para cada valor de X.

La ejecución del programa se efectúa primeramente para valor de τ igual a cero. Luego de leer todos los datos necesarios, para valor de X igual a cero se obtiene 2 valores de Y (y_a, y_b), a continuación se incrementa el valor de X por una cantidad (R) constante con lo que obtenemos dos nuevos valores de Y. Este proceso continúa hasta que el valor de X sea igual a X_n (valor máximo establecido inicialmente). De esta forma se obtiene los valores de X y Y necesarios para graficar la curva de cero diferencia de tiempo.

Al llegar X a su máximo valor se incrementa al parámetro τ en una cantidad constante (DELTA), para el cual se repiten todas las operaciones anteriormente citadas, obteniendo de esta forma los valores X y Y de la nueva curva de posición.

El programa concluye cuando se han obtenido todos los datos para graficar la familia de curvas. El programa codificado en el Lenguaje Fortran fue ejecutado en el sistema 34 del centro de computo de la ESPOL (Librería 555) y el gráfico de las curvas (Fig. N°29) se lo realizó en la carta náutica " CABO CORRIENTES-PUNTA PARIÑAS " adquirida en el INOCAR.

4.2 DETERMINACION DE LAS RADIOMARCACIONES:

Para la determinación de las radiomarcaciones consideraremos las estaciones maestra y esclavas de nuestra cadena en estudio.

M-Estación maestra (Pto. Bolivar)

X-Estación esclava (San Lorenzo)

Y-Estación esclava (Pto. Villamil)

Cabe señalar que las estaciones esclavas X y Y emiten señales sincronizadas con la señal de la estación maestra.

Consideremos primeramente el par M - Y (Pto. Bolivar-Villamil). La estación maestra M y esclava Y, transmiten pulsos sincronizados en determinados intervalos de tiempo. En el receptor Loran C a bordo, se mide la ligera diferencia del tiempo que se toman estas señales pulsadas para alcanzar la embarcación desde sus respectivos transmisores.

res.

Esta diferencia de tiempo medida en microsegundos, aparece en la pantalla del receptor Loran C; asumiendo que esta diferencia de tiempo es de 32300 microsegundos, entonces la embarcación que lleva a bordo el receptor Loran C se encuentra a lo largo de la línea de posición 32300 . - (ver Fig. N°30).

Considerando ahora el par M-X (Puerto Bolivar-San Lorenzo); se obtiene una nueva diferencia de tiempo correspondientes a las señales enviadas por los transmisores de este par. Asumiendo que la diferencia de tiempo en pantalla del receptor a bordo es 13.370 microsegundos, la posición de la embarcación se encontrará a lo largo de la línea de posición 13370 (ver Fig. N°31).

La intersección del LOP 32300 (estaciones M·Y) con el lap 13370 (estaciones M·X) nos determina el posicionamiento de la embarcación.

El sistema Loran C tiene varios factores que colectivamente determinan la exactitud de la posición, estos puntos son :

- Transmisores
- El medio sobre el cual viajan las señales

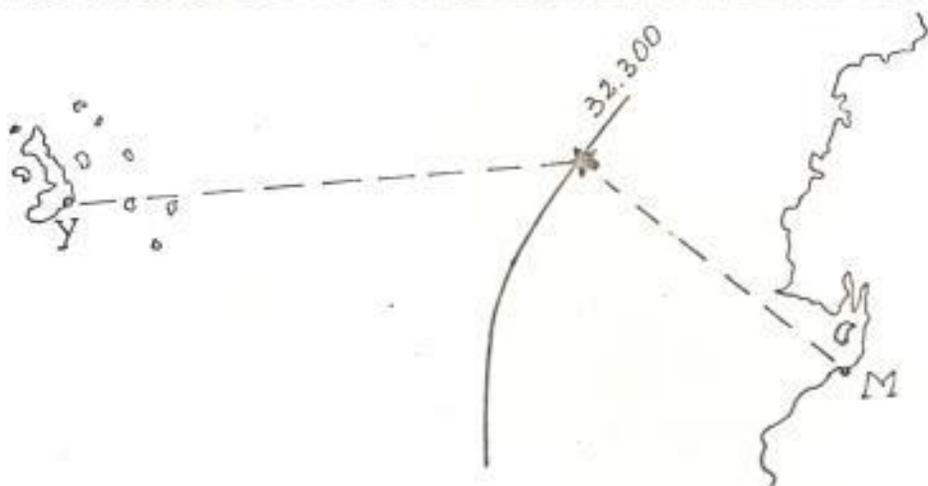


FIG. N° 30

Determinación de las radiomarcaciones

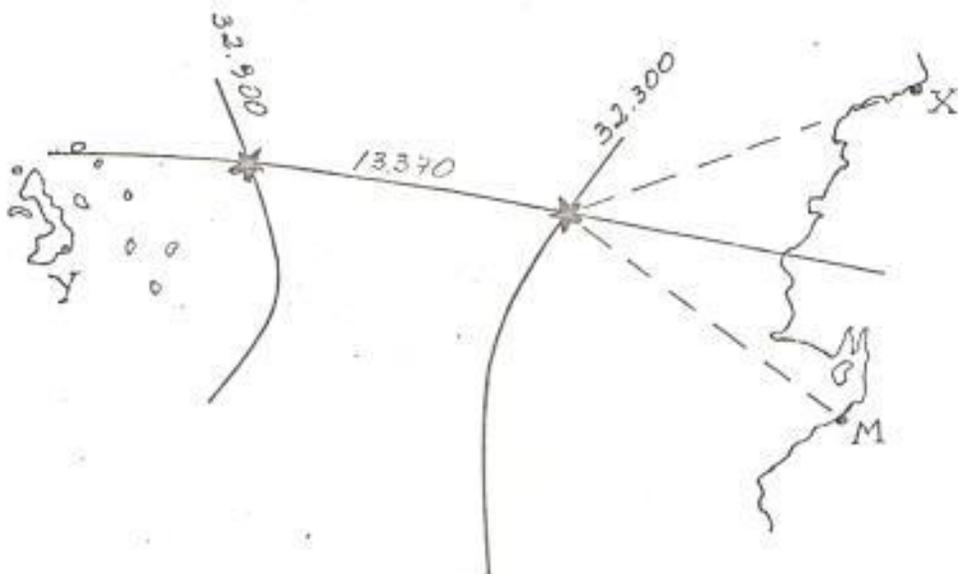


FIG. N° 31

Determinación de las radiomarcaciones

- Receptores
- Las cartas
- y el operador

Cada uno de estos factores contribuye con un pequeño error; esto es, tienen su propia limitación de exactitud. La exactitud del sistema es el resultado de la combinación de las exactitudes individuales de todos estos factores.

Para realizar un buen trabajo con el sistema Loran C, se requiere un receptor de óptima calidad, correctamente instalado con su antena apropiada. A continuación se expone las consideraciones para la determinación de las radio-marcaciones, en las que se asume la disposición de un buen receptor correctamente instalado, el cual es operado de manera correcta.

4.2.1 Uso del Sistema Loran C;

Para obtener buenos resultados con el sistema Loran C, primeramente se debe decidir que cadena y cual estación esclava van a ser utilizadas. Algunos receptores utilizan aun las designaciones antiguas, tales como SL1 mientras que otros usan las nuevas designaciones, tal como 7990 (ver Tabla III).

Para nuestro caso sólo tendríamos que elegir con cual de las dos estaciones esclavas (San Lorenzo o Villamil) vamos a trabajar, ya que no existe ninguna otra cadena Loran C próxima al Ecuador. Sin embargo algunas áreas como en la Costa Oriental de Norteamérica hay superposición de cobertura de dos o más cadenas; en áreas como éstas se deben seleccionar la mejor cadena disponible.

Para la selección de una cadena Loran C, se debe considerar:

- a.- Destino de la embarcación; siempre que sea posible se debe seleccionar una cadena que se pueda utilizar durante todo el viaje. Esto permite " observar " el rumbo seguido, si es que se dispone de un graficador especial adaptado al receptor.
- b.- Interrupción del funcionamiento del sistema Loran C; en algunas áreas es posible de que existan interrupciones en el servicio del sistema Loran C, que no permitan utilizar una de las cadenas o una de las esclavas, estas interrupciones de servicio son normalmente cortas y anunciadas por autoridades competentes.
- c.- Selección de las estaciones secundarias; una vez seleccionada la cadena, se deben escoger las estaciones esclavas. Para nuestro caso tendremos que utilizar necesariamente y en todo momento las dos estaciones es-

clavas que se mencionan en este estudio.

Las cadenas Loran C son diseñadas para proporcionar dos líneas de posición (LOP), cada par maestra-esclava produce una LOP y en algunas áreas se dispone de una tercera LOP. En la actualidad, la mayoría de los receptores sólo utilizan dos LOP para obtener el posicionamiento de la embarcación. Las secciones d, e y f consideradas a continuación, mencionan algunos de lineamientos para seleccionar los dos mejores pares maestra-esclava.

d.- Gradiente; ésta es la consideración mas importante y se lo ilustra a traves de un ejemplo. Consideremos la Fig. N°32, observando las líneas Y (las letras X y Y son usadas para designar los diferentes pares maestra-esclava), nos damos cuenta que, la distancia entre las dos líneas Y es de 1 milla náutica (1.852 metros). El espacio entre las dos líneas Y es de 10 microsegundos esto es, 1 useg para las líneas Y en esta área equivale a 182,2 metros. Suponiendo un error en la lectura de ± 0.1 useg, esto corresponde a $\pm 18,5$ metros para este caso. De manera similar, observando las líneas X es posible suponer un error del orden de ± 37 metros, para el mismo error de 0.1 useg en la lectura.

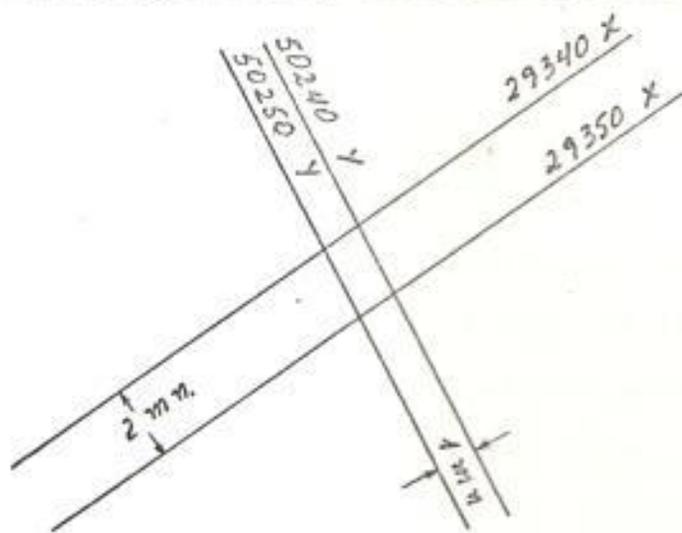


FIG. N° 32

Gradientes y cruce de ángulos Loran C

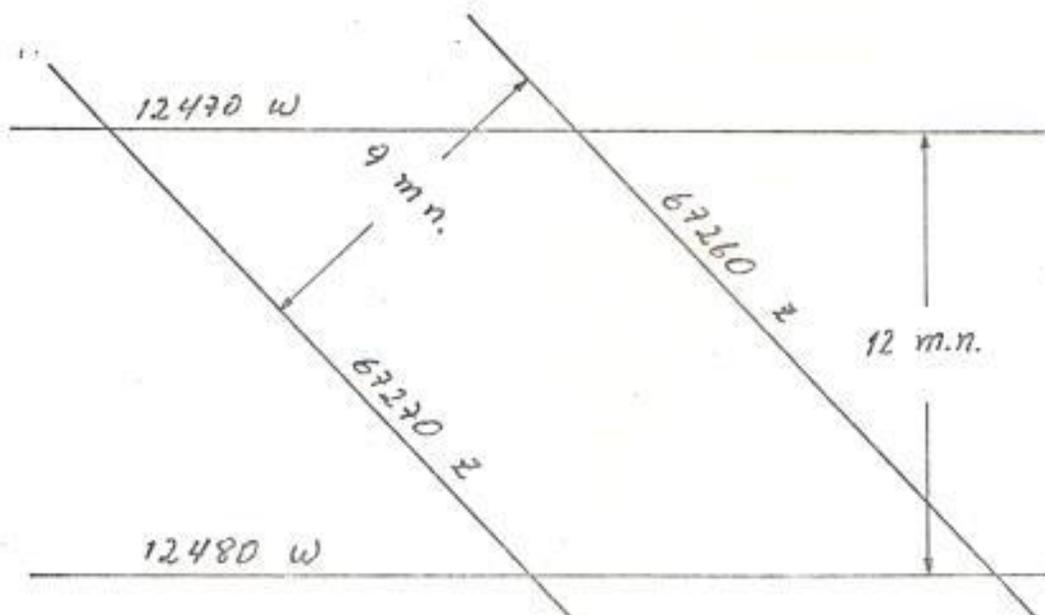


FIG. N° 33

Gradientes y cruce de ángulos Loran C

La Fig. N°33 muestran 2 LOP con mayor gradiente para las cuales, considerando el error de 0.1 useg en la lectura, el error total será de \pm 166,5 metros para las líneas Z y 222 metros para las líneas W. De las gradientes mostradas en los ejemplos, se deben escoger las estaciones secundarias X y Y. Es importante observar que con una gradiente mayor, pequeños cambios en la diferencia de tiempo dan un mayor cambio en la posición.

e.- Cruce de ángulos; idealmente para obtener mayor exactitud en el posicionamiento se deben escoger dos líneas que se intercepten o crucen en ángulo recto. Aunque esto casi nunca es posible, se selecciona el par de LOP con un ángulo de cruce lo más cercano a 90° (asumiendo igual gradiente en todos los casos). Las líneas en la Fig. N°32 se cruzan en un ángulo de aproximadamente 70° . En la práctica, se debe tener cuidado en las regiones en donde el ángulo de cruce de LOP no sea mayor a 30° . En la Fig. N°33 el ángulo de cruce de líneas es de aproximadamente 35° .

f.- Extensión de la línea base; Nunca se debe usar un par maestra-esclava en la vecindad de su línea base extendida ver Fig. N°34. En la cercanía de estas líneas, las gradientes se hacen muy grande existiendo la posi

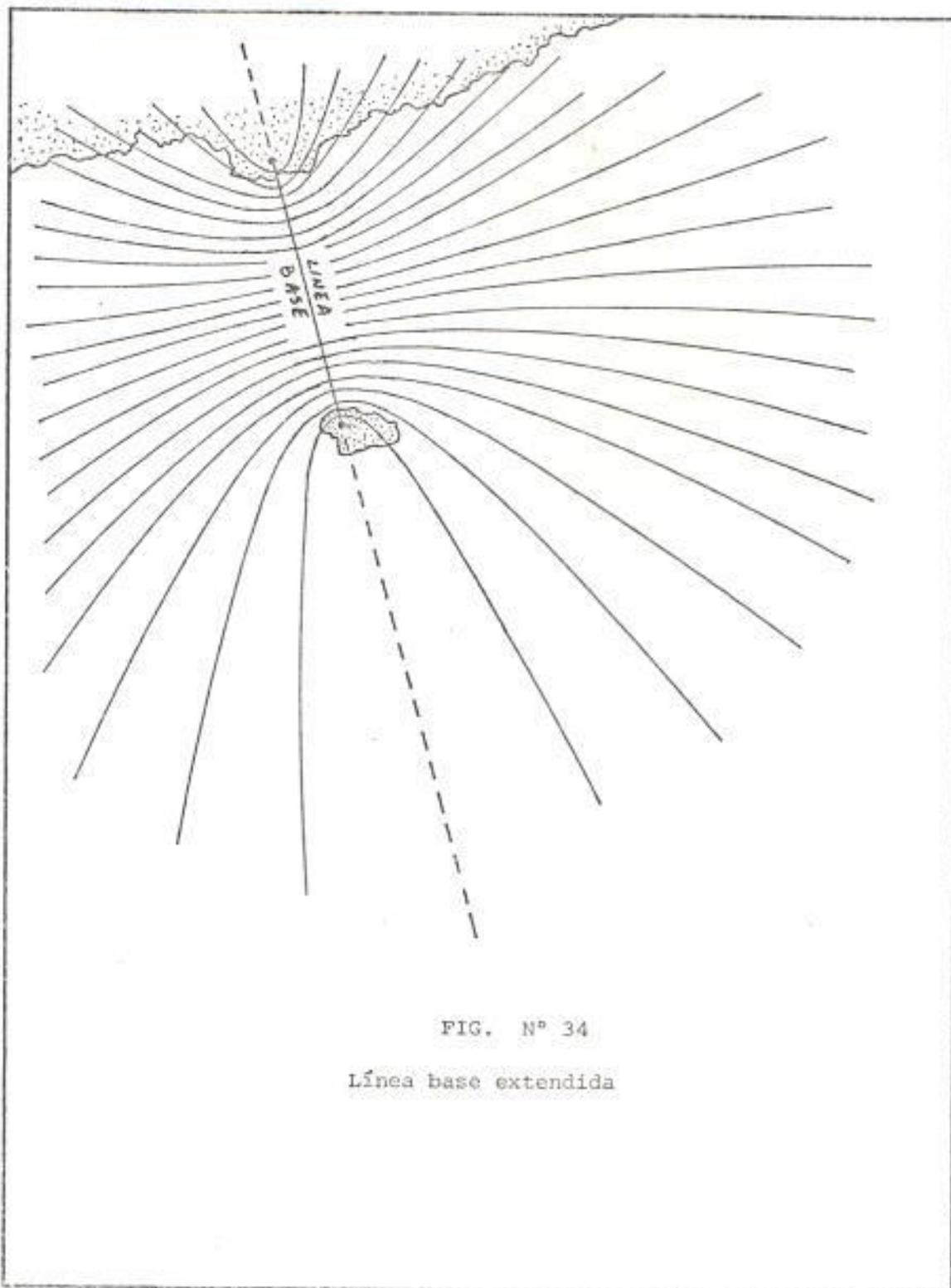


FIG. Nº 34

Línea base extendida

bilidad de introducir grandes errores en el posicionamiento, debido a que resulta muy difícil determinar a que lado de la línea base se encuentra. La línea base extendida se encuentran graficadas en las cartas Loran.

4.2.2 Reglas Para la Obtención del Correcto Posicionamiento :

El sistema de Navegación Loran C es de elevada exactitud y a pesar de utilizar receptores, también de precisión elevada, el descuido en el trazado del posicionamiento puede echar a perder esta exactitud. Un receptor Loran típico, entrega en pantalla 2 diferencias de tiempo. Estas son una medida de la diferencia en el tiempo de arribo al receptor entre las señales maestra y esclava previamente seleccionadas. Las curvas de diferencias de tiempo se encuentran impresas en la carta Loran C (ver sección 4-1). Para efectuar el posicionamiento en un determinado lugar, se debe tomar la diferencia de tiempo mostrada en la pantalla del receptor y graficarla en la carta Loran. Para ello existen dos métodos: asumamos que la lectura Loran C sea 11347.5 microsegundos.

Interpolador Loran C: en la esquina de cada carta Loran se encuentra el interpolador Loran (Fig. N°35); utilizando-

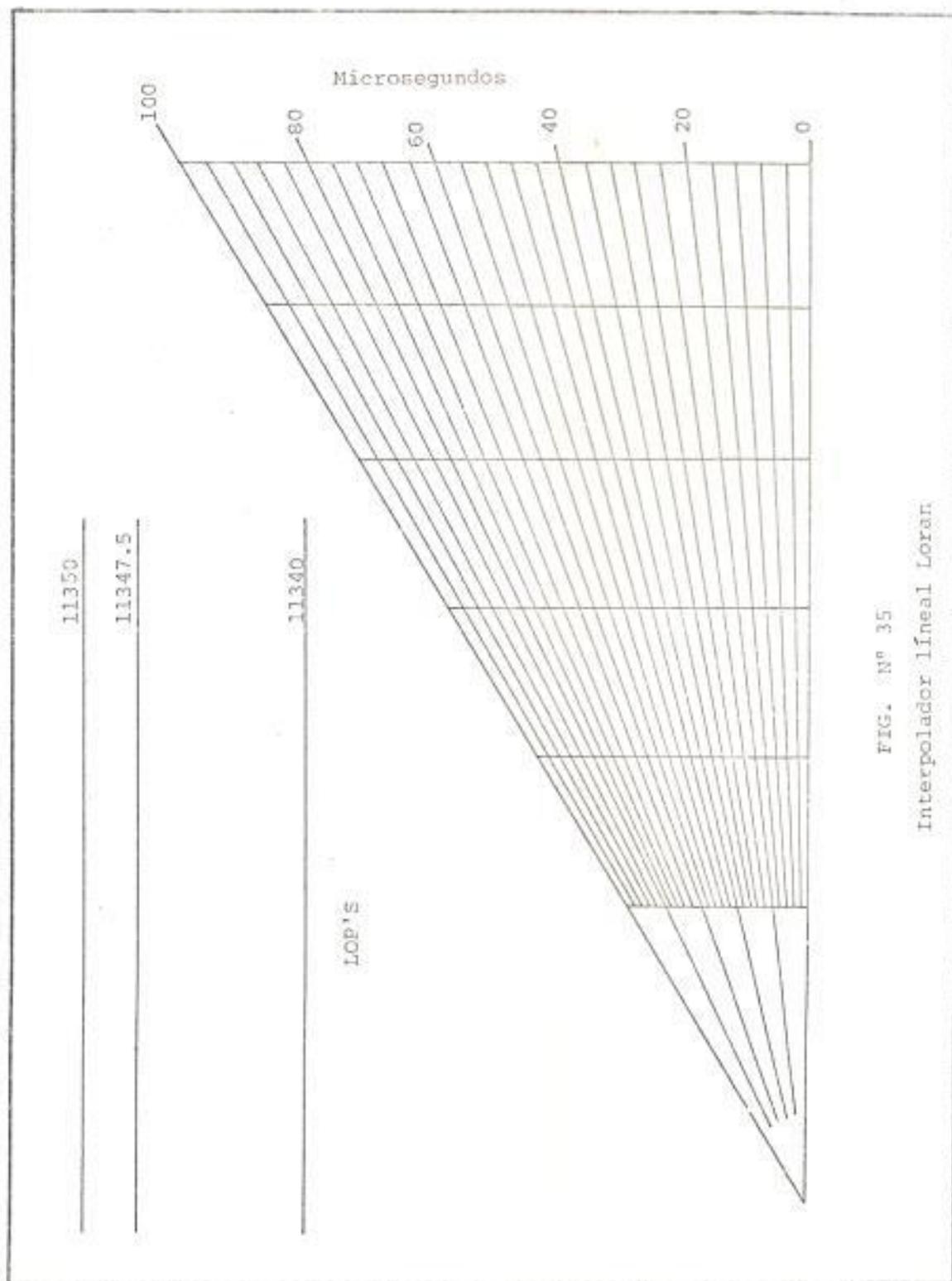


FIG. Nº 35

Interpolador líneal Loran

un par de divisiones se mide la distancia entre las líneas 11340 y 11350. Esta distancia es equivalente a 10 useg. Luego se coloca las divisiones sobre el interpolador, de modo que un punto repose sobre la línea superior y el otro sobre la línea inferior; sin mover el punto inferior y a partir de él llevamos el punto superior a una posición de 75 divisiones (para mejor facilidad se marca con lápiz 10, 8, 6, 4 y 2 sobre los números 25, 20, 15, 10 y 5 de la izquierda. Retornando a la carta, colocamos el punto inferior en la línea 11340, el punto superior indicará 11347.5 y dibujamos una línea paralela a las impresas a través de este punto, de esta forma obtenemos el LOP 11347.5.

Dispositivo Graficador " Casero " : La Fig. N°36 muestra un dispositivo graficador que puede fácilmente hacerse en los bordos de una tarjeta. Es de notar que aunque las escalas son de diferentes tamaño, cada una tiene 10 divisiones igualmente espaciadas. Para utilizar este dispositivo (ver Fig. N°37), se coloca la carta Loran, de modo que las líneas de la escala mas conveniente reposen sobre las líneas impresas Loran 11340 y 11350. Para llevar a cabo la coincidencia, la mayoría de las veces se deberá inclinar la tarjeta un ángulo con relación a la perpendicular. De esta manera se obtiene la división de las



FIG. N° 36

Graficador casero

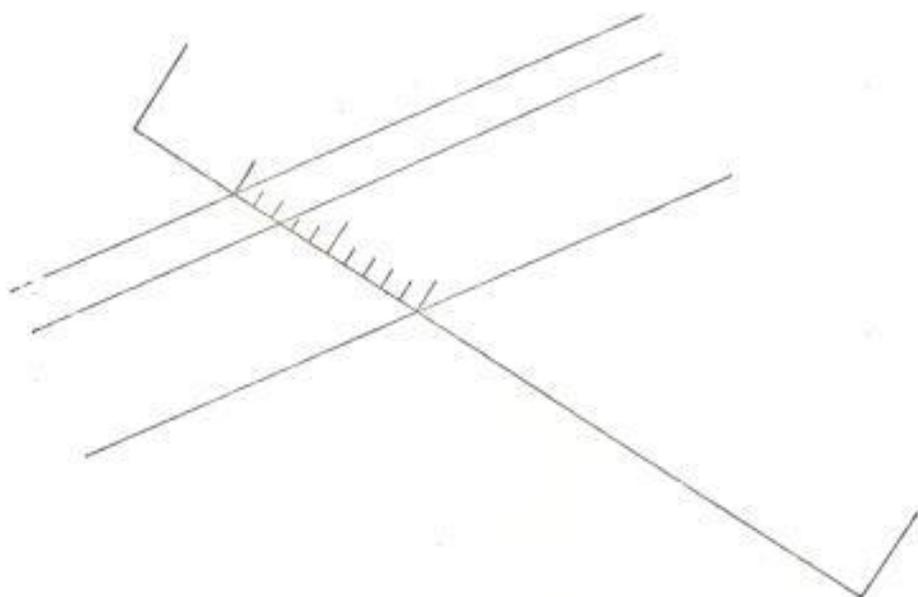


FIG. N° 37

Uso del graficador casero

dos líneas en 10 partes iguales. Seguidamente se cuenta a partir de la línea 11340, siete posiciones y media y se grafica el punto sobre la carta Loran. Al trazar una paralela a la línea 11340 por el punto anteriormente obtenido, se obtiene el LOP. 11347.5.

4.2.3 Cartas Loran C:

Las cartas náuticas forman parte integral del sistema Loran C. El organismo oficial que está encargado de las publicaciones de las cartas náuticas en el país es el Instituto Oceanográfico de la Armada. Utilizando un programa similar al de la sección 4.1, se puede publicar las cartas náuticas con las mallas Loran y sus estaciones maestra y esclavas (ver sección 4.1).

Al emplearse las cartas se debe tener muy presente el " factor de fase secundario ", éste es un término técnico usado para cuando la forma de una señal Loran C es afectada por la presencia de tierra y agua sobre la cual viaja. Los cálculos iniciales del Loran C son inicialmente basados en consideraciones ideales, donde se asume que la señal viaja solo sobre el mar, estas señales son afectadas por el terreno sobre el cual ellas viajan. Cada clase de terreno: montañas, desierto, nieve, lagos y tierra cultivada, afectan de manera diferente a las señales Loran C.-

Para nuestro caso la distorsión será mínima, ya que todas las estaciones (maestra y esclava) pueden ser situadas a escasos kilómetros del mar y los navegantes de nuestro mar territorial recibirán las señales Loran C que viajan desde el transmisor, solamente sobre el mar. El " efecto tierra " causa que las lecturas, diferencia de tiempo observadas, difieren de las lecturas que se obtendrían si las señales viajaran solamente sobre el mar. Estos factores se deben tomar en cuenta cuando se hagan las marcaciones en la carta náutica.

4.2.4 Tablas Loran C :

Las tablas Loran C suministra las coordenadas necesarias para la construcción de las líneas hiperbólicas de posicionamiento. En estas tablas se tabulan puntos de líneas hiperbólicas separadas por 10 microsegundos de diferencia de tiempo (intervalos de grados de longitud y latitud) y a menudo se requiere interpolación.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El propósito de la presente Tesis es el de poner en manos de los Organismo Estatales, un estudio que recopila valiosas informaciones sobre el sistema hiperbólico de Radionavegación Loran C para ser instalados en el Ecuador.

Se aspira a que mejoren las posibilidades de llevar a efecto este proyecto en un futuro no muy lejano, debido a la imperiosa necesidad de disponer en nuestro medio de una Radioayuda mas exacta, dado al incremento notable de tráficos tanto marítimo como aéreo por nuestra soberanía territorial y de la investigación Hidrográfica y Oceanográfica.

La principal "inconveniencia" que presenta esta Radioayuda hiperbólica radica en su elevado costo, esto se debe a que el sistema emplea unidades redundantes de eleva

da precisión y confiabilidad, lo cual permite disponer a los navegantes de una radioayuda de gran precisión.

BIBLIOGRAFIA

1. BOWDITCH Nathaniel, LL. D. American practical navigation an epitome of navigation. Vol. I. EEUU, 1977. 300 pag.
2. DECCA Survey. publicaciones. 1980.
3. DUNLAP, G. D. and H. H. Shufeldt. Dutton's navigation and piloting. twelfth edition. Maryland, 1972. 734 pag.
4. THE HIDROGRAPHIC Society. Special Publication N° 7, 1980. 270 pag.
5. HOBBS, Richard. Navegación 2; Celeste y Electrónica-USA, Institute Naval, 1974. 380 pag. ilus.
6. INTERNATIONAL Hydrography Bureau. Radio Aids to Maritime Navigation and Hydrography. 2 edition. EEUU, 1975. 525 pag. ilus.