

4. MÉTODOS DE POSICIÓN ELECTRÓNICA

AUTOR: ING. JORGE A. LARRALDE, (con modificaciones Ing. D'Onofrio)

4.1.- GENERALIDADES

Existen, desde fines de la II^{da} Guerra Mundial, equipos electrónicos basados en principios de modulación de fase y de medición de tiempo de las ondas electromagnéticas, que permiten determinar la posición planimétrica de un móvil a intervalos suficientemente cortos como para considerar que lo hacen en forma continuada. Hoy día se utiliza casi con exclusividad el sistema GPS (Global Position System) para la determinación de la posición precisa de los puntos de un levantamiento. No obstante en algunos países se continua utilizando sistemas radioeléctricos para seguridad en la navegación y levantamientos hidrográficos. Como además pueden ser utilizados como sistemas alternativos se brindarán los fundamentos del uso de sistemas radioelectricos convencionales.

Sintéticamente, estos equipos o sistemas de posicionamiento electrónico, nos permiten obtener:

- los valores necesarios para definir líneas de posición (LOP) por medio de las que es posible situar la embarcación (si la determinación se lleva a cabo geoméricamente).
- los valores necesarios para ser introducidos en una computadora en forma manual, o en forma automática por medio de una interfase, para que determine (por medio de un programa adecuado) las coordenadas planimétricas correspondientes a esa posición .

4.2.- CLASIFICACION DE LOS EQUIPOS O SISTEMAS DE RADIOLOCALIZACION

Estos equipos o sistemas llamados también radioeléctricos de posición, pueden ser clasificados de diferentes maneras según se trate de definir las diferentes características que los identifican.

La clasificación que hemos hecho, no es taxativa y puede no ser rigurosa en algún sentido .

De acuerdo a su uso principal los podemos clasificar en:

- a)-Equipos o sistemas de radiolocalización para navegación.
- b)-Equipos o sistemas de radiolocalización para levantamientos hidrográficos, geofísicos etc.

De acuerdo a la línea de posición (LOP-Line of Position) que determina cada uno, pueden clasificarse en equipos o sistemas:

- a)-Circulares (figura 2.3)
- b)-Hiperbólicos (figura 4.0)
- c)-Elípticos.
- d)-Lineales.

De acuerdo a la frecuencia con que opera cada uno, pueden clasificarse en equipos o sistemas:

- a)-De muy baja frecuencia(MBF)-(Very Low Frecuency-VLF): 10-30KHz
- b)-De baja frecuencia (BF)-(Low Frecuency-LF):30-300KHz.

- c)-De media frecuencia (MF)-(Medium Frequency-MF):300-3000KHz.
- d)-De alta frecuencia (AF)-(High Frequency-HF):3-30MHz.
- e)-De muy alta frecuencia (MAF)-(Very High Frequency-VHF):30-300MHz.
- f)-De ultra alta frecuencia (UAF)-(Ultra high Frequency-UHF):300- 3000MHz
- g)-De super alta frecuencia (SAF)-(Super high Frequency-SHF):3-30GHz.

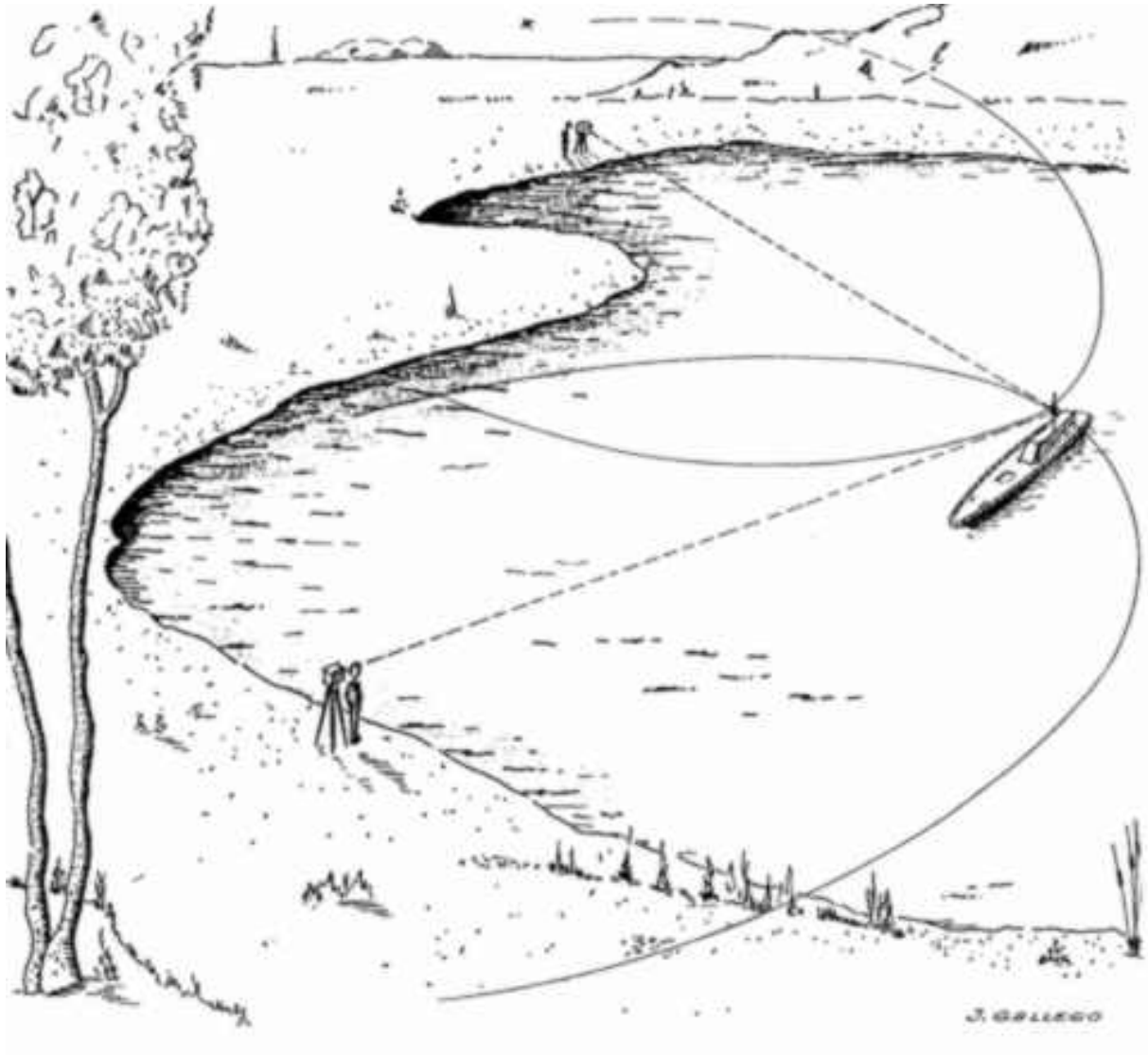


Figura 2.3

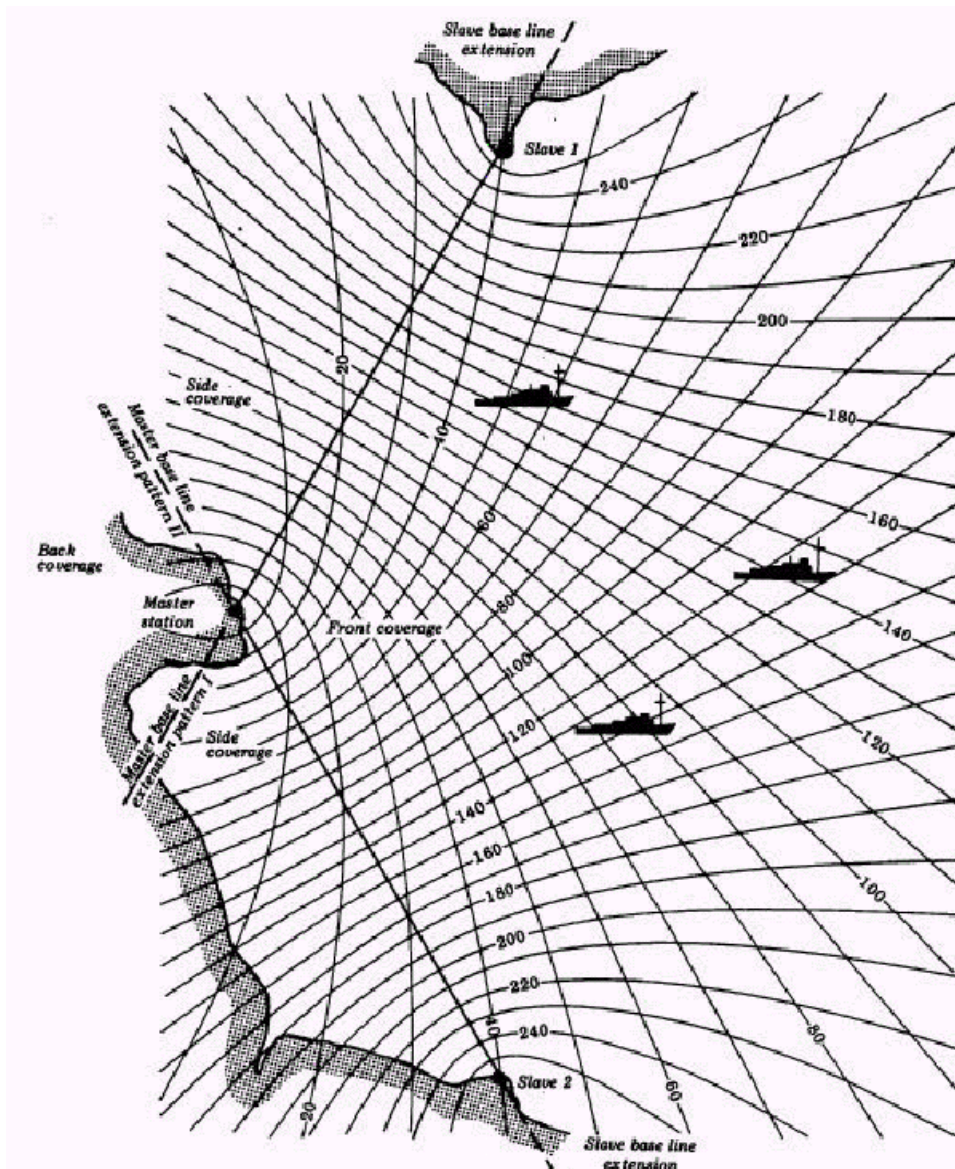


Figura 4.0

De acuerdo a la forma de operación de cada uno, pueden clasificarse en equipos o sistemas:

- a)-De comparación de fases.
- b)-De comparación de pulsos.
- c)-De medición directa de distancias.

4.3.- BREVE RESEÑA DE ALGUNOS EQUIPOS O SISTEMAS DE RADIOLOCALIZACION UTILIZADOS EN NAVEGACION O EN LEVANTAMIENTOS

a)-Sistema OMEGA.-

Este sistema de recubrimiento mundial operó en frecuencias bajas controlando su frecuencia y tiempo de emisión por medio de un equipo de relojes atómicos instalados en cada estación. En las proximidades de la ciudad de TRELEW (Provincia del CHUBUT) se había instalado la estación "F",

una de las ocho estaciones que componían el sistema distribuido en todo el mundo.

Frecuencia de operación: MBF = 10-14 KHz.

Alcance de acuerdo a la potencia de emisión: 8000 Km.

Línea de posición: Hipérbola.

Modo de medición: Comparación de fase y pulsos.

Error en la determinación de la posición: 1500 m de día, 3000 m de noche.

Utilización: debido a su escasa precisión, se utiliza únicamente como instrumento de ayuda a la navegación. Fue desmantelado en el año 1997.

b)-RADIOGONIOMETRO.

Básicamente se trata de un receptor de radio con una antena orientable (o dispositivo electrónico que cumpla la misma función) en el cual se puede determinar la dirección de una señal de radiofrecuencia emitida por una estación llamada Radiofaro.

Si esa dirección es referida al Nv (Norte Verdadero o Geográfico) obtendremos el acimut desde el receptor al punto emisor cuyas coordenadas planimétricas son previamente conocidas.

Frecuencia de operación: BF-MF-AF.

Tipo de emisión: Onda continua emitida de acuerdo a un código y a un horario, ambos preestablecidos. En el caso de radiofaros para aeronavegación, su transmisión se hace en forma continuada.

Línea de posición: Recta.

Error medio de una medición aislada: $\pm 1^{\circ}.5$.

Utilización :Debido a su escasa precisión es utilizado únicamente como instrumento de ayuda a la navegación.

c)LORAN C.

Se trata de un sistema de extenso recubrimiento que fue muy utilizado en el hemisferio norte.

Frecuencia de operación: BF=100 KHz

Alcance de acuerdo a potencia de emisión: 2000 Km

Línea de posición: Hipérbola.

Modo de medición: Comparación de fase.

Utilización: Debido a su escasa precisión, es utilizado únicamente como ayuda a la navegación.

d) RAYDIST

Frecuencia de operación: MF/AF=1500 / 4500 KHz.

Alcance de acuerdo a la potencia de emisión: 120 km.

Línea de posición: hipérbolas o circunferencias de acuerdo al modo como se distribuyen las estaciones.

Modo de medición: Comparación de fases.

Utilización: Levantamientos hidrográficos, geofísicos, control de dragado, balizamiento, control de tendido de cables y tuberías, etc.

Se utilizó en el país desde el año 1955 hasta 1990.

e)MINIRANGER III.

Sistema diseñado para medir distancias directas entre dos puntos móviles.

Frecuencia de operación: SAF= 5.4/5.6 Ghz.

Alcance de acuerdo con la potencia de emisión: 64 Km

Línea de posición: circunferencia.
 Modo de medición: Distancia directa por medición de tiempo.
 Error de una medición aislada: ± 3.0 m.
 Utilización: Levantamientos de precisión.
 Se utilizó en el país hasta la aparición del GPS.

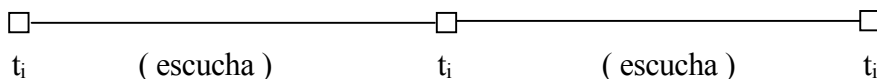
f) TRISPONDER.

Sistema diseñado para medir distancias directas entre dos puntos móviles.
 Frecuencia de operación: SAF= 9.0 Ghz.
 Alcance de acuerdo a la potencia de emisión: 75 Km.
 Línea de posición: circunferencia.
 Modo de medición: Distancia directa por medición de tiempo.
 Error de una medición aislada: ± 3.0 m.
 Utilización: Levantamientos de precisión. Se utilizó en el país hasta la aparición del GPS

g) RADAR. Las siglas de este sistema significan en inglés: Radio Detection and Ranging.-
 Es un instrumento que mide el tiempo transcurrido entre la emisión de un pulso (modulado por una UAF de corta duración y alta energía) y la recepción de ese mismo pulso reflejado por un objeto llamado "blanco".

Las dos características principales de esta emisión son:

- La duración del pulso : t_i .
- La frecuencia con que se emite ese pulso o frecuencia de repetición de pulsos:FRP.



La duración del pulso (t_i) se halla limitada por la necesidad que el transmisor quede inactivo por el tiempo mínimo para recibir la señal proveniente de la reflexión producida por el "blanco".

Por ejemplo, si el radar ha sido diseñado para detectar objetos a una distancia mínima de 150 metros, la duración del pulso (t_i) deberá ser menor de un millonésimo de segundo:

$$t_i \leq \frac{(2 \cdot 150\text{m})}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}$$

$$t_i \leq 1\text{s} \cdot 10^{-6}$$

La frecuencia de repetición de pulsos (FRP) depende, del tiempo máximo que se desee mantener el equipo "en escucha" (tiempo entre dos emisiones consecutivas) y por lo tanto de la máxima distancia a detectar en condiciones normales de propagación.

Por ejemplo, un radar diseñado con una potencia que le permita detectar "blancos" a una distancia máxima de 150 Km, deberá mantener un tiempo de escucha (t_e) (tiempo sin emitir ninguna señal) mayor a un milisegundo.

$$t_e \geq \frac{(150\text{Km} \cdot 2)}{300000\text{Km/s}}$$

$$t_e \geq 1\text{s} \cdot 10^{-3}$$

Esto significa que la FRP deberá ser menor de 1000 PPS (pulsos por segundo).-

Un radar es diseñado para detectar reflexiones provenientes de "blancos" a una distancia máxima (distancia máxima de detección) para características dadas del mismo y condiciones normales de propagación.

Los radares actuales están diseñados para que con un adecuado ajuste, todos los errores se reduzcan a valores aceptables. Pero los trabajos de levantamiento hidrográfico o geofísico, requieren precisiones mayores a las exigidas para la navegación, razón por la que el radar es utilizado hasta ahora exclusivamente como instrumento de ayuda a la navegación.

4.5.- ONDAS ARMÓNICAS

Si el extremo de una cuerda lo desplazamos hacia arriba y hacia abajo siguiendo un movimiento armónico simple, se produce un tren de ondas sinusoidal que se propaga por la cuerda. Este tipo de onda recibe el nombre de **onda armónica**. La forma de la cuerda en un instante de tiempo es la de una función sinusoidal (o función coseno ya que sólo existe una diferencia de fase), como la que se muestra en la figura 1:

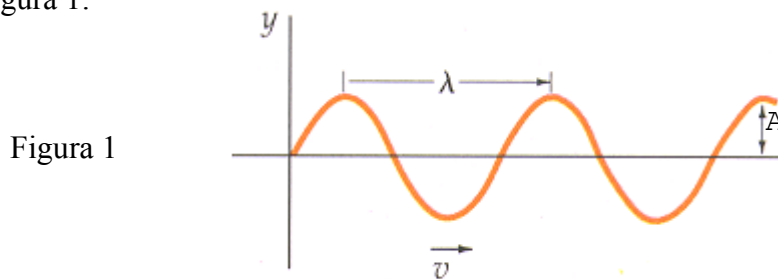


Figura 1

La figura 1 podría haberse obtenido tomando una fotografía instantánea de la cuerda. La distancia entre dos crestas sucesivas recibe el nombre de longitud de onda λ . La longitud de onda es la distancia recorrida en el espacio hasta que la función de onda se repite a sí misma. Cuando la onda se propaga por la cuerda cada punto de la misma se mueve hacia arriba y hacia abajo realizando un movimiento armónico simple cuya frecuencia f es la del diapason o agente que mueve el extremo de la cuerda. Existe una sencilla relación entre la frecuencia f , la longitud de onda λ y la velocidad v de la onda armónica. Durante un período $T=1/f$, la onda se mueve una distancia de una longitud de onda, de modo que la velocidad viene dada por

$$v = \frac{\lambda}{T} = f \cdot \lambda \quad [1]$$

Como la ecuación [1] surge simplemente de las definiciones de longitud de onda y de frecuencia, se aplica a todos los tipos de ondas armónicas. Como la velocidad de la propagación de la onda está determinada por las propiedades del medio, la longitud de onda queda determinada por la frecuencia de la fuente o foco de ondas mediante la expresión $\lambda = v/f$. Cuanto mayor sea la frecuencia, menor será la longitud de onda.

La función seno que describe el desplazamiento indicado en la figura 1 es:

$$y(x) = A \sin kx \quad [2]$$

en donde A es la amplitud y k es una constante denominada número de onda que está relacionada con la longitud de onda. Si nos movemos desde un cierto punto x_1 , a otro punto distante del anterior una longitud de onda, $x_2 = x_1 + \lambda$, el argumento de la función seno varía en 2π . Así se tiene:

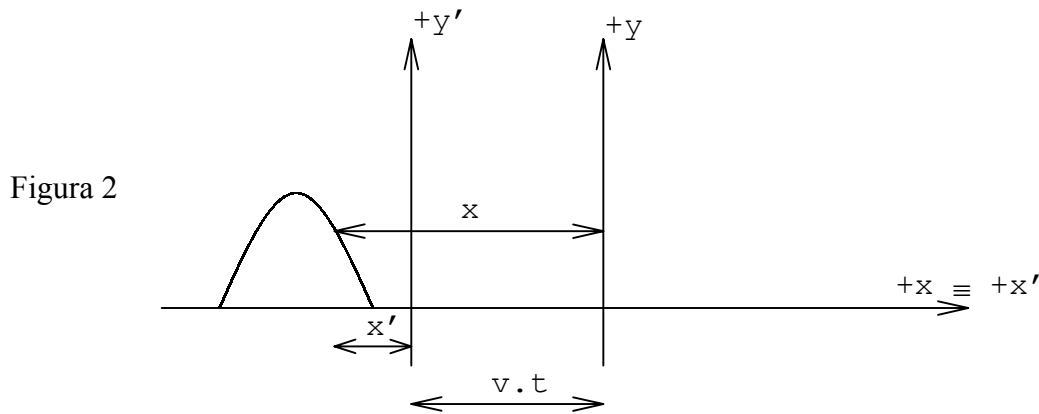
$$k \cdot (x_1 + \lambda) = k \cdot x_1 + 2\pi$$

$$k \cdot \lambda = 2\pi$$

o sea

$$k = 2\pi / \lambda$$

En la figura 2 se ve una onda que se mueve hacia la izquierda con velocidad v. El sistema de coordenadas $x'y'$ se mueve solidario con la perturbación luego:



$$x' = x + v \cdot t$$

donde x y x' toman valores negativos

Si se sustituye x' en la ecuación [2] por $x + vt$ se obtiene así la función de una onda que se desplaza hacia la izquierda:

$$y(x,t) = A \text{ sen } k(x+vt) = A \text{ sen } (kx + kvt)$$

$$y(x,t) = A \cdot \text{sen } (kx + \omega t)$$

en donde $\omega = kv$ es la frecuencia angular, que se encuentra relacionada con la frecuencia de vibración f y el período T de la forma usual:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi / T$$

Finalmente la función de una onda que se desplaza hacia la izquierda con una fase inicial φ_0 es:

$$y(x,t) = A \cdot \text{sen } (k x + \omega t + \varphi_0) \quad [3]$$

4.6.- COMPARACION DE FASES

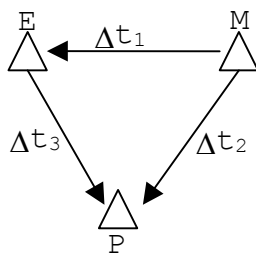
4.6.1.- Modo hiperbólico.

Existen equipos de radiolocalización que utilizan el modo de comparación de fases para la determinación de distancias de un móvil a una estación fija o diferencias de distancias de un móvil a dos estaciones fijas.

En una muy apretada síntesis podemos decir que la comparación de las fases de emisiones provenientes de diferentes emisores fijos y su comparación, permiten el posicionamiento del receptor.

Supongamos que nos hallamos navegando en un barco o embarcación y que en un instante dado, se encuentra en el punto estación P (cuya posición se desea determinar) alejado de los puntos M y E, situados en la costa, que forman entre ellos, una base B.

En el punto M se halla instalada una estación llamada Maestra que emite una señal de radiofrecuencia con una fase inicial φ_0 .



Esta señal es recibida, transcurrido un tiempo Δt_1 , por una estación E llamada Esclava. La onda que parte de M de acuerdo con la ecuación [3] es:

$$y_M = A \cdot \text{sen } \varphi_0$$

pues $x = 0$ y $t = 0$ en el momento de partida de la señal

Esta señal llega a E en un tiempo Δt_1 y x es igual a ME. Luego la ecuación de la onda que llega a E es:

$$y_E = A \cdot \text{sen } (k \text{ ME} + \omega \Delta t_1 + \varphi_0)$$

El sistema está diseñado en forma tal que la recepción de esta señal en E, provoca electrónicamente la emisión de otra señal desde ésta misma estación, que sale con una fase inicial :

$$k \text{ ME} + \omega \Delta t_1 + \varphi_0$$

En una estación receptora ubicada en P (punto estación donde nos hallamos ubicados) recibiremos las señales provenientes de M, en forma directa, y de E.

La señal que sale de E y llega a P es:

$$y_{EP} = A \cdot \text{sen } (k \text{ EP} + \omega \Delta t_2 + k \text{ ME} + \omega \Delta t_1 + \varphi_0)$$

La señal que sale de M y llega a P es:

$$y_{MP} = A \cdot \text{sen } (k \text{ MP} + \omega \Delta t_3 + \varphi_0)$$

El receptor en P calcula la diferencia de fase $\Delta\varphi$ entre ambas señales recibidas:

$$\Delta\varphi = \varphi_{MP} - \varphi_{EP}$$

$$\Delta\varphi = (k MP + \omega \Delta t_3 + \varphi_0) - (k EP + \omega \Delta t_2 + k ME + \omega \Delta t_1 + \varphi_0)$$

$$\Delta\varphi = k (MP - EP - ME) + \omega (-\Delta t_1 - \Delta t_2 + \Delta t_3)$$

pero como $(-\Delta t_1 - \Delta t_2 + \Delta t_3) = 0$, se tiene:

$$\Delta\varphi = k (MP - EP - ME)$$

$$\Delta\varphi = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot (MP - EP - ME)$$

$$MP - EP = \Delta\varphi \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot \pi} + ME$$

Esta última ecuación representa a una hipérbola. En el segundo miembro ME es un valor constante y corresponde a la longitud de la base, λ es un valor constante pues es la longitud de onda de operación y 2π es una constante. Luego el movimiento del punto P produce una variación en los valores de EP y MP, y a su vez se produce un cambio en el valor de $\Delta\varphi$. Pero si el punto P se mueve de manera tal que $\Delta\varphi$ permanezca constante, la diferencia $(EP - PM)$ también permanecerá constante, de manera que P se desplazará sobre una hipérbola de focos E y M.

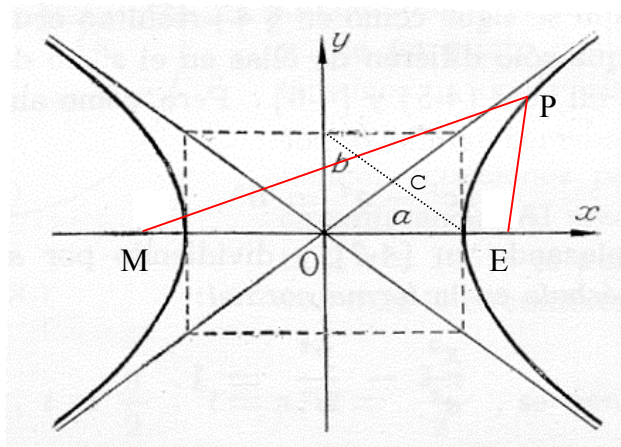
Para cada valor de $\Delta\varphi$ medido en el receptor de la embarcación situada en el punto estación P, existe una hipérbola cuyos focos son los puntos M y E . La hipérbola entonces es la línea de posición de éste tipo de equipos o sistemas (figura 3).

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$ME = 2c$$

Figura 3



Instalando en la costa otra estación E esclava tendremos dos hipérbolas en cuyo corte queda determinada la posición de P (figura 2.4).

Este modo de operación es llamado hiperbólico por utilizar este tipo de cónicas como líneas de posición.

Las diferencias de fase entre las señales provenientes de la estación maestra M y de cada una de las estaciones esclavas E_r y E_v (Esclava Roja y Esclava Verde) se miden en centésimas de media longitud de onda de la señal radioeléctrica utilizada para la comparación de fases.

Cuando la diferencia de distancias entre un par PE PM, ha variado media longitud de onda, la diferencia de fase ha variado 2π . y la lectura del display correspondiente ha variado una unidad (cien centésimos). A esta unidad se la denomina corredor o ancho de corredor (en inglés "Lane"). Para cada par Maestra-Esclava existe en el "navegador" (unidad anexa al receptor instalado en la embarcación) un contador, mecánico o electrónico, asociado a un fasímetro que mide eléctricamente $\Delta\phi$. La pantalla o display de estos contadores posee lugares para cinco dígitos (Ver figura 4.8). Comenzando por la izquierda, los tres primeros son, centenas, decenas y unidades de corredor respectivamente y los dos finales representan décimos y centésimos de corredor. En general, cada display lleva escrito el nombre del par al que pertenece RED, GREEN, o PURPLE en caso de contar con una tercera estación esclava.

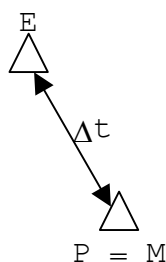
En éste tipo de sistemas de radiolocalización, el barco o embarcación lleva a bordo: el Receptor que obviamente recibe las señales de las estaciones maestra y esclavas y una unidad llamada "navegador" que es parte del receptor y que posee los display o indicadores de corredor que vimos en el párrafo anterior.

Con este arreglo, la estación Maestra y las Esclavas en tierra (modo hiperbólico) el sistema puede ser utilizado por un número indefinido de usuarios.

En el Mar del Norte, existen estas redes, que instaladas en las costas de los países ribereños, son utilizadas al mismo tiempo por barcos prospectores, pesqueros, instaladores de tuberías o cables, etc.

4.6.2.- Modo circular.(Two range mode) ó (Range-Range).

La estación Maestra, (en tierra como vimos en el ítem anterior) es instalada a bordo de la embarcación de levantamiento.



La onda que parte de M de acuerdo con la ecuación [3] es:

$$y_M = A \cdot \text{sen } \varphi_0$$

Esta señal es recibida , transcurrido un tiempo Δt , por una estación E llamada Esclava:

$$y_{ME} = A \cdot \text{sen} (k ME + \omega \Delta t + \varphi_0)$$

La señal que sale de E y llega a M es:

$$y_{EM} = A \cdot \text{sen} (k EM + \omega \Delta t + k ME + \omega \Delta t + \varphi_0)$$

$$y_{EM} = A \cdot \text{sen} (2 \cdot k ME + 2 \cdot \omega \Delta t + \varphi_0)$$

El receptor en P calcula la diferencia de fase $\Delta\varphi$ entre ambas señales recibidas:

$$\Delta\varphi = \varphi_M - \varphi_{EM}$$

$$\Delta\varphi = 2 \cdot k ME + 2 \cdot \omega \Delta t + \varphi_0 - \varphi_0$$

$$\frac{(\Delta\varphi - 2 \cdot \omega \cdot \Delta t)}{2 \cdot k} = ME$$

$$(\Delta\varphi - 2 \cdot \omega \cdot \Delta t) \cdot \frac{\lambda}{4\pi} = ME$$

Si la distancia ME no varía Δt es constante. Luego si $\Delta\varphi = \text{cte}$ significa que el buque se está moviendo por una circunferencia.

Para cada valor de $\Delta\varphi$, P se encuentra a una distancia PE de E y por tanto pertenece a una línea de posición que es una circunferencia.

En éste caso el número de usuarios no es indefinido puesto que la estación Maestra (transmisora) es llevada a bordo por uno de ellos. No obstante, los fabricantes han solucionado electrónicamente este problema pudiendo usar un mismo arreglo circular, un número reducido de destinatarios.

El valor de ancho de corredor, cuando se opera con sistemas de comparación de fase en **modo hiperbólico**, es el valor (en metros) de media longitud de onda correspondiente a la frecuencia de operación **solamente en la línea base EM**.

$$W_0 = \frac{1}{2}\lambda$$

En un sistema o equipo de comparación de fase, trabajando en **modo circular**, el valor de ancho de corredor, es de media longitud de onda correspondiente a la frecuencia de operación del sistema o equipo **en toda la zona de operación**.

El valor en metros de un ancho de corredor en un punto cualquiera de la zona de operación, en **modo hiperbólico**, que subtiende el ángulo φ entre M y E será (figura 4):

$$W_i = W_0 \cdot \text{cosec} (\varphi/2)$$

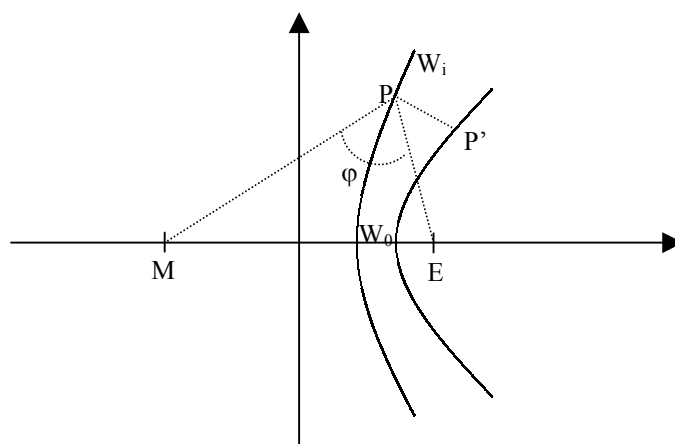


Figura 4

Como en los métodos de medición hiperbólicos se produce una expansión del corredor al alejarse de la costa y en los circulares no, estos últimos son más precisos que los primeros.

4.7.- Comparación de pulsos.-

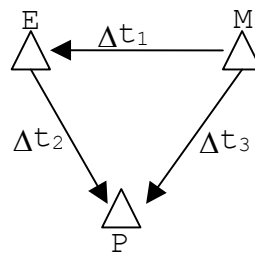
4.7.1.- Modo hiperbólico

En éste tipo de equipos o sistemas, la estación Maestra (M) emite una señal de radiofrecuencia que es recibida por una estación Esclava (E) la que en ese momento emite a su vez una señal de radiofrecuencia.

Ambas señales son recibidas por una estación receptora instalada en el barco o embarcación de levantamiento (P) con un intervalo entre ambas que depende del valor de la distancia de la Base (distancia ME) y de cada una de las estaciones con respecto a la receptora (PM y PE).-

En el instante t_0 , la estación M emite una señal.

Luego de un Δt_1 esa señal es recibida por E que a su vez emite una señal en el instante t_1 de manera que :



$$t_1 = t_0 + \Delta t_1$$

En el instante t_2 , la estación receptora P instalada en la embarcación recibe la señal proveniente de E

$$t_2 = t_0 + \Delta t_1 + \Delta t_2$$

donde Δt_2 es el intervalo que invirtió la onda en propagarse de E a P.

Asimismo en P se recibe la señal proveniente de M en el instante t_3 de manera que:

$$t_3 = t_0 + \Delta t_3$$

donde Δt_3 es el intervalo que invirtió la onda en propagarse desde M a P.

El receptor instalado en P mide entonces el intervalo que se produce entre las llegadas de las ondas provenientes de M y de E

$$\Delta t_4 = t_2 - t_3$$

$$\Delta t_4 = (t_0 + \Delta t_1 + \Delta t_2) - (t_0 + \Delta t_3)$$

$$\Delta t_4 = \Delta t_2 - \Delta t_3 + \Delta t_1$$

Siendo Δt_1 constante por tratarse del tiempo que tarda la onda en recorrer la línea de la base ME, para cada valor medido Δt_4 queda definida una hipérbola de focos M y E.

4.7.2.- Modo circular.-

Como en el caso de los sistemas de comparación de fase, la estación Maestra es instalada a bordo, de manera que $\Delta t_3=0$, $\Delta t_1=\Delta t_2$ es la distancia directa EP por lo que :

$$\Delta t_4 = \Delta t_1 + \Delta t_2 = 2 \cdot \Delta t_2$$

Siguiendo una deducción análoga al caso de comparación de fases, a cada Δt_4 corresponde una circunferencia de radio $2 \cdot \Delta t_2$

4.8.- Medición directa de distancias.

Esta clase de instrumentos o sistemas, opera como si midiera el tiempo que tarda una emisión radioeléctrica en su recorrido de ida y vuelta entre una estación maestra, situada en el barco o embarcación de levantamiento y cada una de por lo menos dos estaciones esclavas situadas en la costa en puntos de coordenadas conocidas.

Las líneas de posición (LOP en inglés) son circunferencias, por lo que se los denomina equipos o sistemas circulares, en inglés Two Range Systems o Range-Range. (En realidad son líneas de posición determinadas por la intersección de las esferas producidas por la emisión del instrumental con la superficie de la tierra).

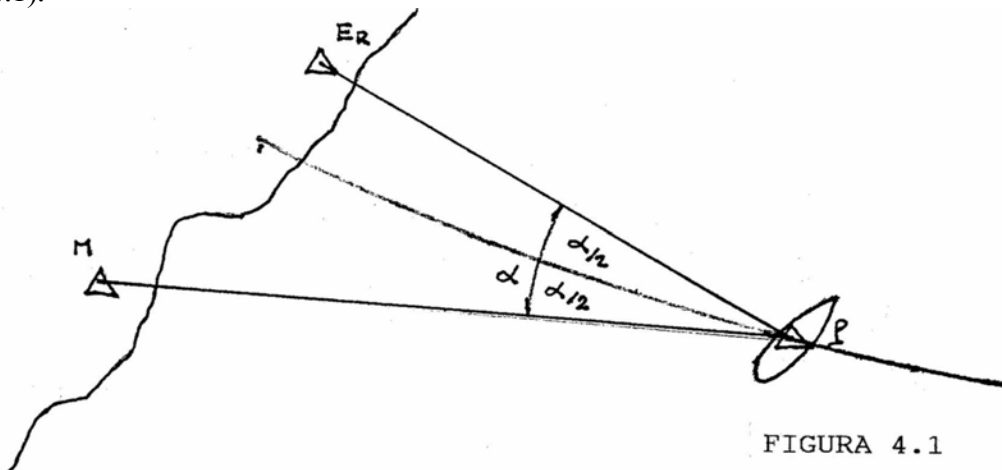
La propagación de las señales radioeléctricas de estos equipos o sistemas que utilizan altas frecuencias para su operación es considerada directa y rectilínea. Su alcance efectivo no es en general grande debido a que por tratarse de equipos portátiles y de muy sencilla instalación, operan con baja potencia de emisión y altas frecuencias. La información dada por la unidad de medición de distancias (DMU), conectada a la estación maestra está expresada directamente en metros.

Es posible obtener un registro numérico de los valores de las distancias medidas y el número identificativo de las estaciones esclavas a las cuales corresponde cada medición.

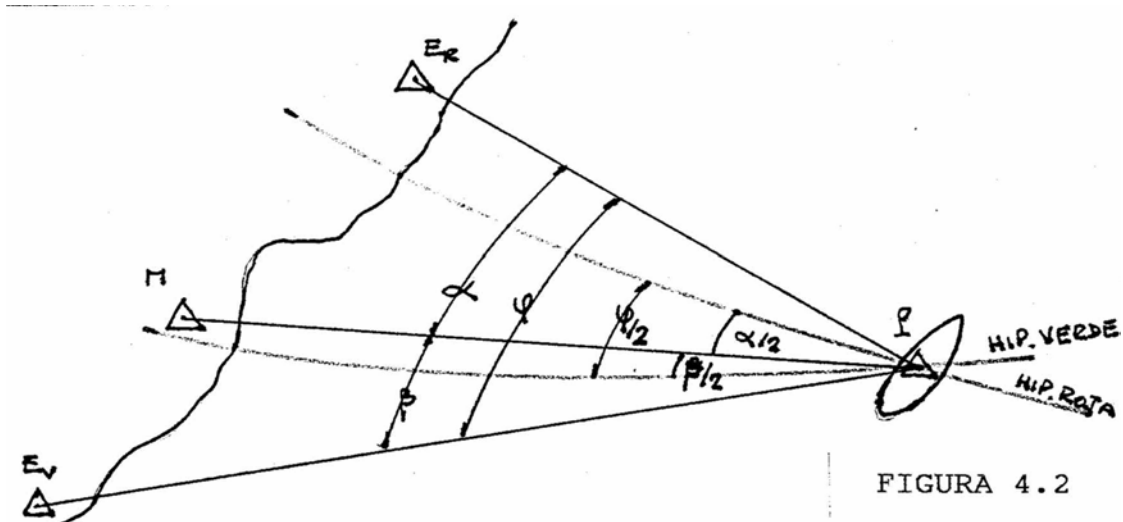
Por medio de las interfases correspondientes, ésta información puede digitalizarse y ser enviada a una calculadora electrónica para la determinación de coordenadas planimétricas, (previo conocimiento de los valores de las coordenadas de las estaciones esclavas) y/o para operar un coordinatógrafo ploteador.

4.9.-Angulo de corte de las líneas de posición.

En los equipos o sistemas de radiolocalización que determinan hipérbolas como líneas de posición, cada una de ellas, en un punto cualquiera, bisecta el ángulo formado por el punto y las estaciones M y ER (ver fig 4.1).



El ángulo entre la Estación Maestra y la Esclava Roja es α y la hipérbola en el punto P bisecta ese ángulo en $\frac{1}{2} \alpha$. El ángulo entre la Estación Maestra y la Esclava Verde es β y la hipérbola en el punto P bisecta ese ángulo en $\frac{1}{2} \beta$. Dado que cada línea de posición hiperbólica bisecta el ángulo subtendido por la línea base, el ángulo de corte entre dos hipérbolas es la mitad del subtendido por las dos estaciones Esclavas (ver fig 4.2).



Siendo φ el ángulo formado por las dos estaciones esclavas con vértice en P, igual a la suma de los ángulos $\alpha + \beta$ se desprende que:

$$\alpha + \beta = \varphi$$

$$\frac{1}{2} \alpha + \frac{1}{2} \beta = \frac{1}{2} \varphi$$

De lo cual podemos deducir:

1. El ángulo de corte entre dos líneas hiperbólicas de posición es independiente de la posición de la estación Maestra e igual al semiángulo que subtiende el punto de corte con la base formada por las dos estaciones Esclavas.-

2. A lo largo de la línea base (que pasa por las dos estaciones Esclavas) el ángulo de corte es de 90° (propiedad de los ángulos inscritos y circunscriptos en una circunferencia).-
3. Sobre los puntos pertenecientes a la circunferencia que contiene a las dos estaciones Esclavas en los extremos de un diámetro, el ángulo de corte es de 45° (misma propiedad).

En los equipos o sistemas de radiolocalización que determinan circunferencias como líneas de posición, el corte de ambas en cualquier punto es igual al ángulo que subtiende ese punto con las estaciones Esclavas.

4.10. Valor del ancho de corredor.

El valor de ancho de corredor, cuando se opera con sistemas de comparación de fase en modo hiperbólico, es el valor (en metros) de media longitud de onda correspondiente a la frecuencia de operación solamente en la línea base EM. (Veremos en el párrafo siguiente su valor en cada punto de la zona de operación).

En un sistema o equipo de comparación de fase, trabajando en modo circular, el valor de ancho de corredor, es de media longitud de onda correspondiente a la frecuencia de operación del sistema o equipo en toda la zona de operación.

Ejemplo:

Frecuencia de operación: 348 KHz

$$\lambda \text{ [m]} = 862.06 \text{ m}$$

$$\lambda \text{ [m]} / 2 = 431,03 \text{ m}$$

Debido a que los contadores de diferencia de fase aprecian el centésimo de corredor, el valor mínimo apreciable es de 4,31 m ($0.01 \lambda/2$)

Como se dijo anteriormente, en el caso de equipos hiperbólicos, esto se cumple solamente en la línea base y en los circulares, en toda el área de operación.

4.11.-Expansión del corredor hiperbólico

Sea P un punto estación (correspondiente a la posición del receptor del sistema o equipo hiperbólico a bordo de la embarcación de levantamiento) perteneciente a la hipérbola que corresponde a la diferencia de distancias entre P y las estaciones M y E (figura 4.3).

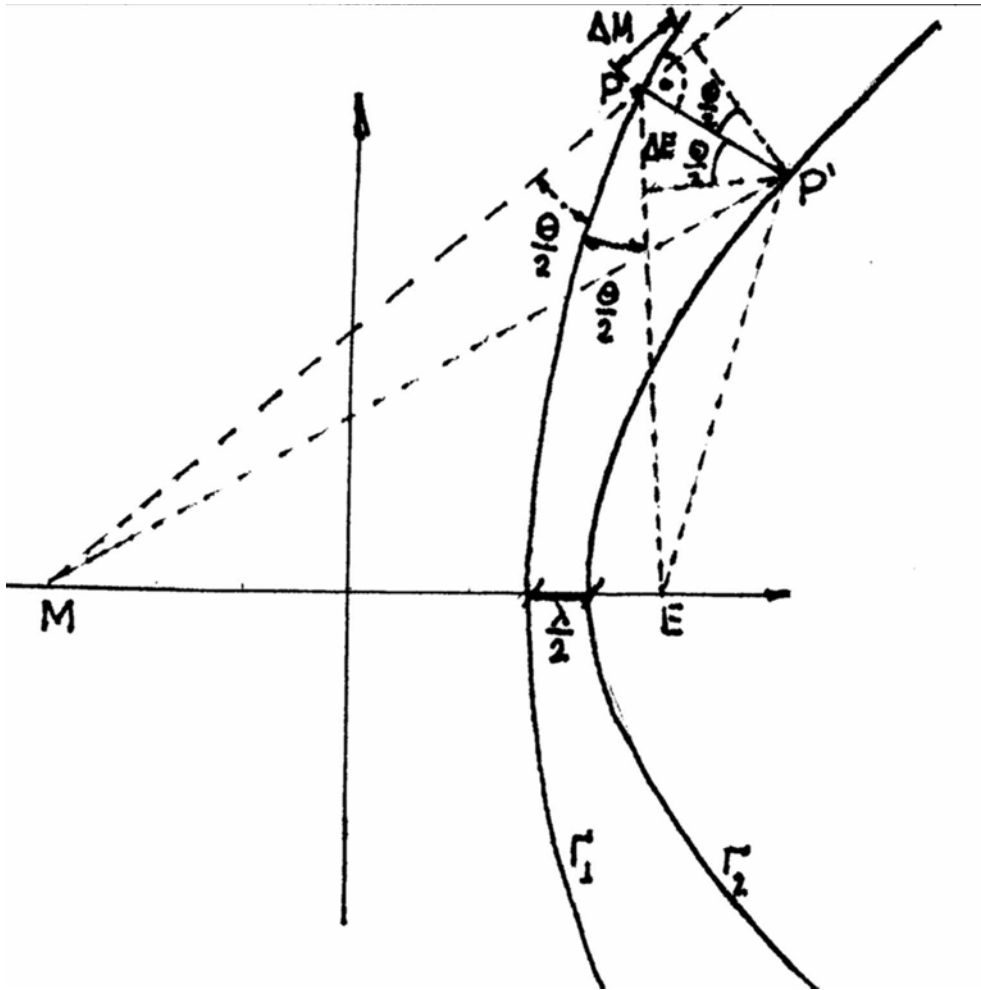


Figura 4.3

La diferencia de fase medida en P produce una lectura Γ_1 en el fasímetro correspondiente (Rojo o Verde).

Supongamos que P se desplaza hasta P' en dirección normal a la hipérbola a la que pertenece el punto P.

La distancia PP' es pequeña. La lectura correspondiente a esa nueva posición es Γ_2 .

En el punto P' la distancia a M se ha incrementado en valor $PM + \Delta M$ y la distancia a E a disminuido con respecto a PE el valor ΔE .

La ecuación deducida en 4.6.1 (medición de fase) es :

$$MP - EP = \Delta\varphi \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot \pi} + ME$$

En nuestro caso para la lectura Γ_2 será:

$$MP' - EP' = \Gamma_2 \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot \pi} + ME \quad [1]$$

$$\Gamma_2 = (MP' - EP' - ME) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \quad [2]$$

pero $MP' = MP + \Delta M$ y $EP' = EP - \Delta E$, luego reemplazando [2]

$$\Gamma_2 = (MP - EP - ME + \Delta E + \Delta M) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \quad [3]$$

$$\Gamma_2 = (MP - EP - ME) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} + (\Delta E + \Delta M) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \quad [4]$$

Para Γ_1 se tiene (similar a la ecuación [2]): $\Gamma_1 = (MP - EP - ME) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$ [5]

De [4] y [5] se tiene:

$$\Gamma_2 - \Gamma_1 = (\Delta E + \Delta M) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \quad [6]$$

pero $\Delta E = PP' \cdot \text{sen} \frac{\theta}{2}$ y $\Delta M = PP' \cdot \text{sen} \frac{\theta}{2}$ luego reemplazando en [6] se tiene:

$$\Gamma_2 - \Gamma_1 = 2 \cdot PP' \cdot \text{sen} \frac{\theta}{2} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \quad [7]$$

$$PP' = \frac{\Gamma_2 - \Gamma_1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{\text{sen} \frac{\theta}{2}} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad [8]$$

Cuando el desplazamiento PP' es igual a un ancho de corredor, la diferencia de fase ($\Gamma_2 - \Gamma_1$) varió un ángulo de 2π . Luego [8] se puede escribir como:

$$PP' = \frac{1}{\text{sen} \frac{\theta}{2}} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Cuando $\theta/2 = 90^\circ$, P' se encuentra en la línea base ME ($MPE = 180^\circ$) y $PP' = \frac{1}{2} \lambda$, que es la longitud del ancho de corredor en la línea base ME y que se denota como W_0 ($W_0 = \frac{1}{2}\lambda$).

Finalmente denotando como W_i a cualquier ancho de corredor en metros, en un punto cualquiera de la zona de operación que subtiende el ángulo φ entre M y E , se tiene:

$$W_i = W_0 \cdot \text{cosec} (\varphi/2)$$

4.12. Repetibilidad.

La Repetibilidad es un índice de las posibilidades que posee un cierto equipo o sistema de replantear la posición de un punto dado por las coordenadas electrónicas del equipo. Es una medida de los errores accidentales en las mediciones, producidos por los cambios incontrolables de las condiciones de propagación, las limitaciones constitutivas de cada equipo y dependen también de la distribución geométrica de las estaciones que componen el sistema.

Un equipo o sistema tiene buena Repetibilidad cuando es preciso, cuando sus errores accidentales son pequeños.

Ejemplo: Utilizando un equipo de radiolocalización de medición de fases tipo dos distancias, en el navegador de un barco o embarcación de levantamiento en el mar se registran las siguientes lecturas:

ROJA	03566
VERDE	22135

En esa posición se fondea una boya por medio de un orinque de alambre y un muerto, (en lenguaje común significa que en ese punto hemos dejado una boya en superficie amarrada por un cable de acero a un bloque de cemento o hierro que permanece en el fondo del mar).

Al cabo de un cierto tiempo y utilizando el mismo sistema o equipo de radiolocalización se desea volver al lugar donde fue dejada esa boya. Para ello se navega y maniobra con la embarcación hasta que el sistema o equipo de radiolocalización repita en el navegador la lectura :

ROJA	03566
VERDE	22135

En ese instante observaremos la distancia a que nos hallamos de la boya y ese será aproximadamente el valor Repetibilidad o posibilidad de replanteo.

Este error depende exclusivamente del sistema o equipo, no intervienen en él, el valor de las coordenadas planas del punto ni de las coordenadas de las estaciones terrestres.

Si el equipo mide en centésimos de media longitud de onda y la variación accidental de las condiciones de propagación y posibilidades de medición del equipo, se hallan en un entorno de $0.01 \lambda/2$, ese puede considerarse el valor del error medio de una medición aislada en metros.

Deberemos tener en cuenta luego, que para la determinación de la posición, es necesario no menos de dos mediciones simultáneas por lo que, en la determinación final del error medio, interviene:

1. El ángulo correspondiente a cada par Maestra - Esclava (en el caso de utilizarse un equipo en modo hiperbólico) que permitirá calcular el valor del ancho en metros del corredor expandido y por lo tanto el valor en metros del error medio de cada medición.
2. El ángulo de corte de las líneas de posición que permitirá calcular el error medio en la determinación de la posición.

4.14.- Cálculo del error medio

Sea un punto estación P, cuyas coordenadas se desean establecer (fig 4.4).

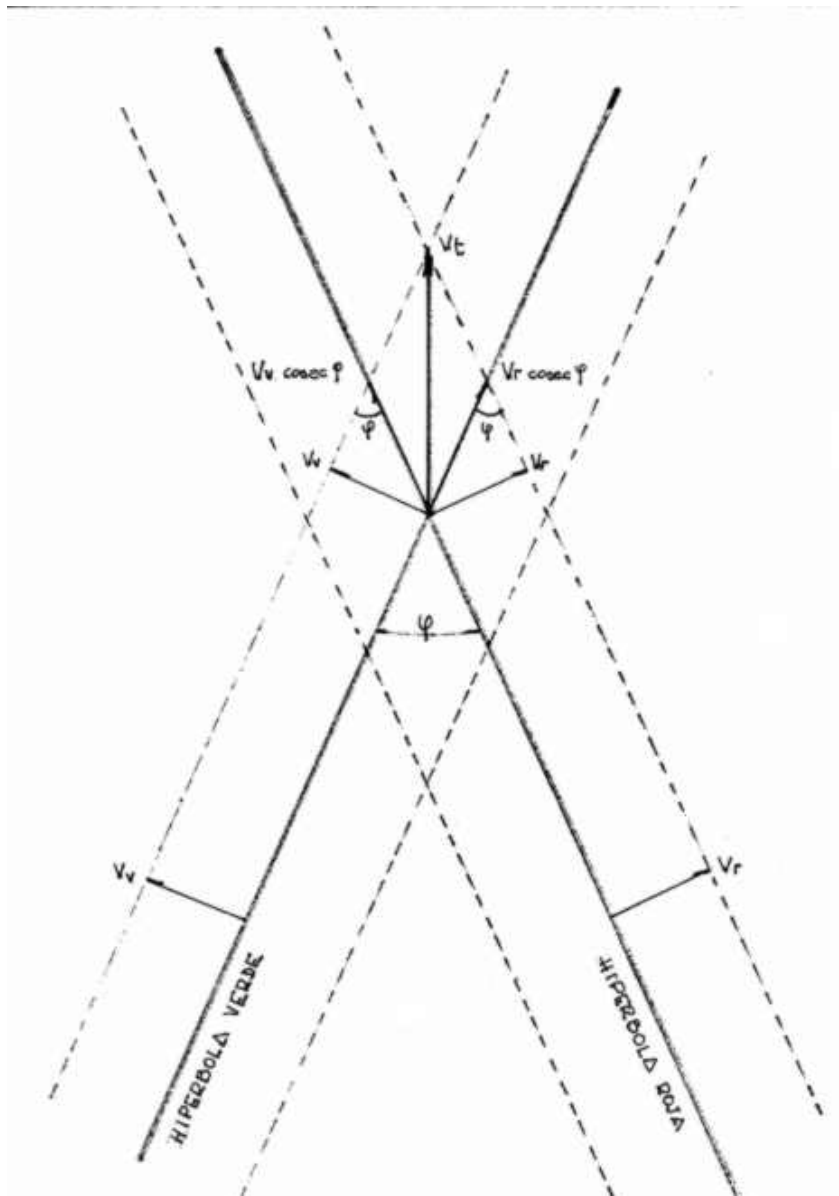


Figura 4.4

Su posición está dada por el corte de por lo menos dos líneas de posición. Estas líneas de posición (hipérbolas o circunferencias) se intersectan formando un ángulo y pueden desplazarse, cada una de ellas, de su verdadera posición por razones accidentales desconocidas, un cierto valor "V".

V_r y V_v son los errores accidentales de una medición aislada en el sistema, correspondientes a los pares: Maestra-Esclava Roja y Maestra-Esclava Verde respectivamente.

Como vemos en la figura 4.4, el vector V_t corresponde al error accidental de una posición aislada que depende de los errores V_r y V_v (errores accidentales en una medición aislada) y de φ que es el ángulo de corte de las líneas de posición que a su vez depende de la distribución geométrica de las estaciones costeras con respecto al punto P.

Aplicando el teorema del coseno se tiene:

$$V_t^2 = V_r^2 \cdot \operatorname{cosec}^2 \varphi + V_v^2 \cdot \operatorname{cosec}^2 \varphi - 2 \cdot V_r \cdot V_v \cdot \operatorname{cosec}^2 \varphi \cdot \cos (180 - \varphi)$$

$$V_t^2 = V_r^2 \cdot \operatorname{cosec}^2 \varphi + V_v^2 \cdot \operatorname{cosec}^2 \varphi + 2 \cdot V_r \cdot V_v \cdot \operatorname{cosec}^2 \varphi \cdot \cos \varphi \quad [1]$$

donde $V_r \cdot \operatorname{cosec} \varphi$ es el valor del desplazamiento del punto P sobre la hipérbola verde que se produce por un corrimiento accidental de la hipérbola roja y $V_v \cdot \operatorname{cosec} \varphi$ es el valor del desplazamiento del punto P sobre la hipérbola roja que se produce por un corrimiento accidental de la hipérbola verde.

Es decir, $V_r \operatorname{cosec} \varphi$, es el error accidental de una medición aislada del par Maestra-Esclava Roja, según la dirección dada por la línea de posición determinada por el par Maestra-Esclava Verde y $V_v \operatorname{cosec} \varphi$ es el error accidental de una medición aislada del par Maestra-Esclava Verde en la dirección de la línea de posición determinada por el par Maestra-Esclava Roja.

El error medio cuadrático de una observación aislado (desvío standard) es:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum V_t^2}{n}} \quad [2]$$

Teniendo en cuenta [1] y [2] se tiene:

$$\frac{\sum V_t^2}{n} = \frac{1}{\operatorname{sen}^2 \varphi} \cdot \left[\frac{\sum V_v^2}{n} + \frac{\sum V_r^2}{n} + 2 \cdot \cos \varphi \cdot \frac{\sum V_v \cdot V_r}{n} \right]$$

Si se multiplica y divide a $2 \cdot \cos \varphi \cdot \frac{\sum V_v \cdot V_r}{n}$ por $\sigma_v \cdot \sigma_r$ se tiene:

$$\sigma_t^2 = \frac{1}{\operatorname{sen}^2 \varphi} \cdot \left[\sigma_v^2 + \sigma_r^2 - 2 \cdot \cos \varphi \cdot \sigma_v \cdot \sigma_r \cdot \frac{\sum V_v \cdot V_r}{\sigma_v \cdot \sigma_r \cdot n} \right] \quad [3]$$

Se denomina factor de correlación a:

$$R = \frac{\sum V_v \cdot V_r}{\sigma_v \cdot \sigma_r \cdot n}$$

Se escribe nuevamente la ecuación [3]:

$$\sigma_t^2 = \frac{1}{\operatorname{sen}^2 \varphi} \left[\sigma_v^2 + \sigma_r^2 + 2 \cdot \cos \varphi \cdot R \cdot \sigma_v \cdot \sigma_r \right]$$

$$\sigma_t = \frac{1}{\operatorname{sen} \varphi} \cdot \sqrt{\left[\sigma_v^2 + \sigma_r^2 + 2 \cdot \cos \varphi \cdot R \cdot \sigma_v \cdot \sigma_r \right]} \quad [4]$$

Como los valores de σ_v y de σ_r están dados en centésimas de corredor se los debe multiplicar por $\lambda/2$ (valor en metros de 100 centésimas de corredor) para convertirlos a metro.

En el modo circular como los sucesos de medición son independientes $R = 0$ y la ecuación [4] se escribe como:

$$\sigma_t = \frac{1}{\text{sen } \varphi} \cdot \sqrt{\left[\sigma_v^2 \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 + \sigma_r^2 \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 \right]}$$

Para calcular error medio en la determinación de la posición utilizando una red hiperbólica compuesta por una Estación Maestra, una Estación Esclava Roja (Er) y una Estación Esclava Verde (Ev) (puede darse el caso de utilizar una tercera Esclava Púrpura), se determinan σ_v y σ_r para cualquier otro punto fuera de la línea base, de la siguiente manera:

$$\sigma_v \text{ (m)} = \sigma_v \cdot \frac{\lambda}{2} \cdot \text{cosec } \frac{\theta_v}{2} \quad [5]$$

$$\sigma_r \text{ (m)} = \sigma_r \cdot \frac{\lambda}{2} \cdot \text{cosec } \frac{\theta_r}{2} \quad [6]$$

Luego reemplazando [5] y [6] en [4] se tiene:

$$\sigma_t = \frac{1}{\text{sen } \varphi} \cdot \sqrt{\left[\sigma_v^2 \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 \cdot \text{cosec}^2 \frac{\theta_v}{2} + \sigma_r^2 \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 \cdot \text{cosec}^2 \frac{\theta_r}{2} + 2 \cdot \cos \varphi \cdot R \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 \cdot \sigma_v \cdot \text{cosec } \frac{\theta_v}{2} \cdot \sigma_r \cdot \text{cosec } \frac{\theta_r}{2} \right]}$$

0.33 es el valor de R correspondiente para una disposición hiperbólica

En el caso de utilizarse sistemas de medición de pulso en vez de comparación de fase, la ecuación será similar aunque el valor de $\frac{1}{2}\lambda$ es reemplazado por 149.888 m que es el que corresponde al valor del ancho de corredor en la línea base (distancia en metros recorrida por una onda de radiofrecuencia en medio microsegundo).

4.15.-Diagramas de errores.

a)-Equipos o sistemas hiperbólicos.

Como parte de la planificación de un levantamiento de cualquier tipo en el que se han de utilizar equipos radioeléctricos de localización, deberá confeccionarse un plano con las curvas correspondientes a los diferentes valores de error.

Cuando se utilizan equipos comparadores de fase en modo hiperbólico, generalmente se fijan valores de ángulo de corte de hipérbolas y valores de expansión del ancho de los corredores, por ejemplo:

-Ángulo de corte de las hipérbolas $\varphi/2 \geq 15^\circ$.

-Factor de expansión de ancho de corredor: $\text{cosec}(\frac{1}{2}\alpha) \leq 6$ $\text{cosec}(\frac{1}{2}\beta) \leq 6$ (ver párrafo 4.11)

donde α es ángulo esclava roja - maestra y β es el ángulo esclava verde - maestra.

En la fig. 4.5 podemos ver:

-Que el arco capaz de $\varphi = 30^\circ$ entre ambas estaciones esclavas, corresponde a un ángulo de corte entre hipérbolas de $\varphi/2 = 15^\circ$ definiría el límite exterior hasta el cual se podría operar, en áreas donde no se requiera gran precisión (siempre y cuando se mantenga el valor $A \leq 6$ prefijado como coeficiente de

expansión del ancho de corredor).

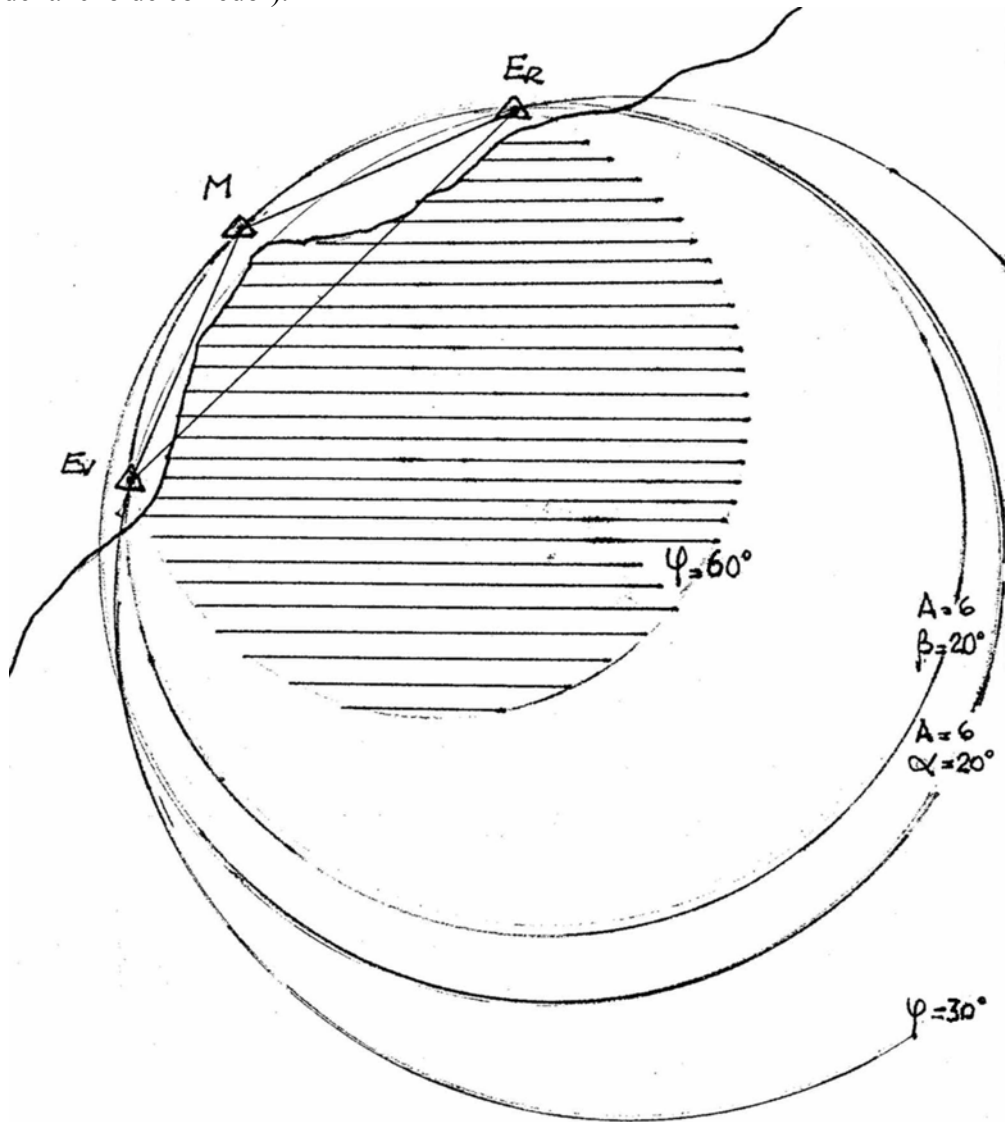


Figura 4.5

Dos arcos capaces $\alpha = 20^\circ$ ($\frac{1}{2}\alpha = 10^\circ$), $\beta = 20^\circ$ ($\frac{1}{2}\beta = 10^\circ$) que definen el valor del coeficiente de expansión de ancho de corredor: $A = \operatorname{cosec}(\frac{1}{2}\alpha) = 6$, $\operatorname{cosec}(\frac{1}{2}\beta) = 6$ (correspondientes a cada par M- E_r y M- E_v).

Ambos arcos están dentro del área limitada por el arco capaz de corte $\varphi = 15^\circ$.

Que el arco capaz de $\varphi = 60^\circ$ entre ambas estaciones esclavas corresponde a un ángulo de corte de hipérbolas $\varphi/2 = 30^\circ$.

En la zona rayada comprendida por la costa y este último arco capaz, los cortes entre hipérbolas serán mayores de 30° y los coeficientes de expansión menores que 6. Esta será entonces el área de operaciones dentro de la que se trabajará con los valores que se han prefijado y con el dispositivo geométrico que presentan las estaciones costeras.

Si se tuviera que ampliar la zona de trabajo, manteniendo los valores de corte y coeficiente de expansión previstos, habrá que expandir las distancias entre las estaciones costeras.

Otra forma de diagrama de errores puede confeccionarse también, utilizando la siguiente ecuación:

$$\sigma_t = \frac{1}{\sin \varphi} \cdot \sqrt{\left[\sigma_v^2 \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 \cdot \operatorname{cosec}^2 \frac{\theta_v}{2} + \sigma_r^2 \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 \cdot \operatorname{cosec}^2 \frac{\theta_r}{2} + 2 \cdot \cos \varphi \cdot R \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 \cdot \sigma_v \cdot \operatorname{cosec} \frac{\theta_v}{2} \cdot \sigma_r \cdot \operatorname{cosec} \frac{\theta_r}{2} \right]}$$

donde:

- los valores σ_r y σ_v están dados en centésimas de corredor.
- los valores de λ están dados en metros.
- θ_r y θ_v son los ángulos MPE_r y MPE_v respectivamente.
- φ es la mitad del ángulo E_rME_v
- 0.33 es el valor de R correspondiente para una disposición hiperbólica.

fijando por ejemplo los siguientes valores

Un error medio $\sigma_r = \sigma_v = 0.03$ de corredor (95% de probabilidades de no ser superado)

El sistema que se está utilizando opera con una frecuencia $f = 2$ MHz. ($\frac{1}{2}\lambda = 75$ m en la base).

Se procede de la siguiente manera:

Dando valores a los ángulos θ_r y θ_v , en la ecuación anterior, pueden calcularse valores del error medio de la posición en metros σ_r y obtener un diagrama como el de la figura 4.6.

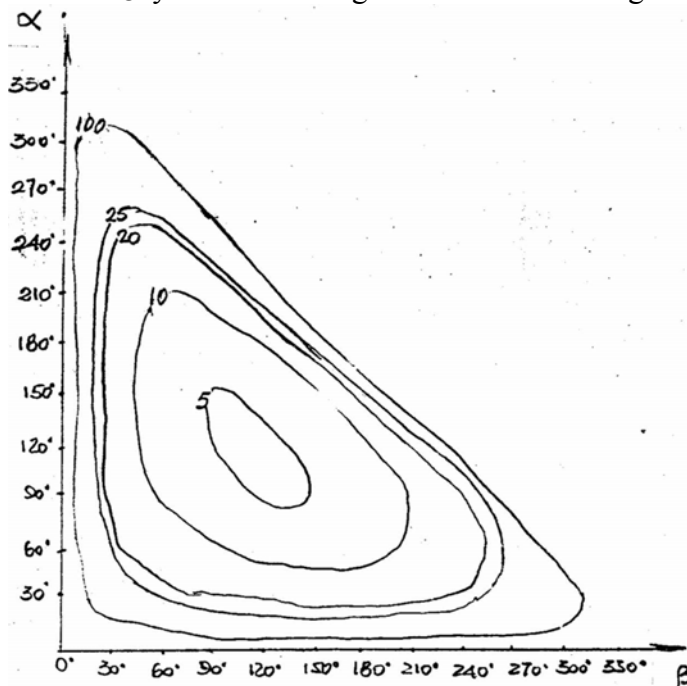


Figura 4.6

Con estos valores pueden confeccionarse los diagramas de error, llamados de Repetibilidad (fig.4.7) para lo cual se procede de la siguiente manera:

-Obtenido el diagrama de la figura 4.6 se elige una curva de error máximo por ejemplo 10 metros.

-Se seleccionan (en el diagrama 4.6) un gran número de puntos de esa curva obteniéndose para cada uno de ellos, pares de valores α y β en sus respectivos ejes coordenados.

-En un plano a escala conveniente se dibujan las posiciones correspondientes a las estaciones Maestra y Esclavas.

Por medio de un "station pointer" (o determinando coordenadas en una calculadora electrónica con un programa de resolución de Pothenot) se posicionan en este mismo plano los puntos obtenidos con los valores determinados en el diagrama 4.6.

La unión de todos los puntos así graficados permitirá dibujar la curva correspondiente (para este caso que se da como ejemplo) un error máximo de 10 metros.

En la figura 4.7 se ha representado un diagrama para un sistema hiperbólico donde figuran las curvas de error máximo de 10, 20 y 40 metros.

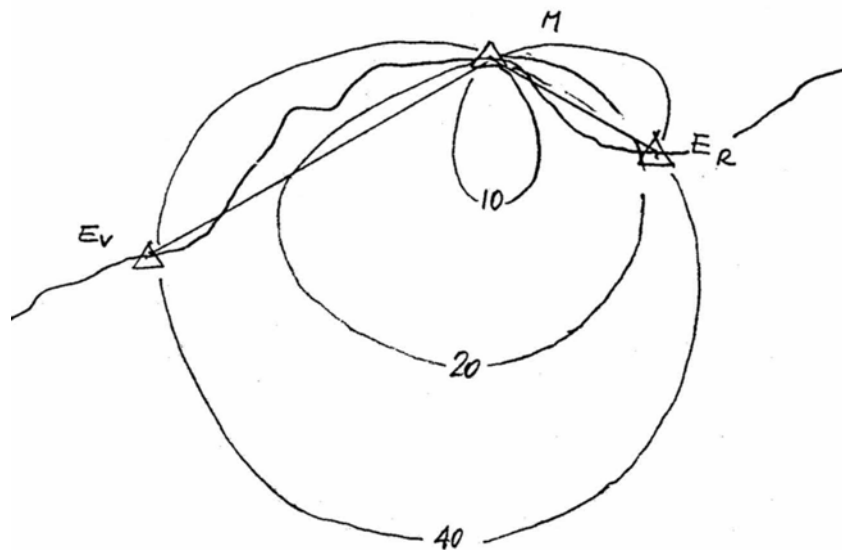


Figura 4.7

Todos estos diagramas pueden llevarse a cabo mediante la utilización de una calculadora electrónica disponiendo del programa adecuado.

Con la misma metodología se pueden graficar los errores de los equipos o sistemas circulares (dos distancias).

4.16 Predictibilidad

La predictibilidad en cualquier equipo de radiolocalización es la medida de la posibilidad de determinar las coordenadas planas del punto estación en un sistema dado.

El error de predictibilidad puede definirse como la diferencia entre las coordenadas de un punto estación, determinadas por las lecturas obtenidas en el equipo o sistema de radiolocalización (operando con un valor determinado de la velocidad de propagación de las señales radioeléctricas) y el verdadero valor geodésico de las coordenadas correspondientes a ese punto estación.

Suponemos que las coordenadas planimétricas de los puntos trigonométricos sobre los que se han situado las estaciones terrestres, han sido determinadas dentro de las tolerancias establecidas para los

levantamientos topográficos y que éstas son mas severas que las que hemos impuesto al levantamiento hidrográfico, geofísico etc.

Este tipo de errores se debe fundamentalmente a diferentes causas:

- En el caso de utilizar embarcaciones o barcos de cierto porte para realizar el levantamiento, las superestructuras de metal crean campos electromagnéticos que distorsionan la recepción de las señales.-
- En el caso de los sistemas de comparación de fase o tiempo, cada estación posee antenas transmisoras y receptoras ubicadas en diferentes puntos que no coinciden con el punto trigonométrico asignado a la estación. Teóricamente se considera a las estaciones como coincidentes con un punto trigonométrico de una red geodésica o topográfica lo cual no es exacto.
- Los sistemas de radiolocalización trabajan en función de un valor estándar de la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas, situación que es modificada por las condiciones físicas actuales del medio por donde se desplazan.
- Dado que las antenas que componen estos sistemas, se hallan cercanas al suelo, las ondas (directas y reflejadas en la superficie) componentes de las ondas superficiales, tienden a amortiguarse hasta desaparecer.

Las ondas superficiales están afectadas por:

- La conductividad eléctrica de la superficie sobre la que se propagan.-
- La constante dieléctrica de esa superficie.-
- El índice de refracción (y su variación vertical) del aire a través del cual se propagan.-

La frecuencia de una onda de tierra, determina qué componente de la onda prevalece a través del camino a recorrer:

- Para frecuencias $f \leq 10$ MHz prevalece la influencia de la conductividad del terreno en las características de la propagación.
- Para $30 \text{ MHz} > f > 10 \text{ MHz}$, la influencia de la conductividad no es importante, pero sí lo es la de la constante dieléctrica del terreno.

La señal es reforzada cuando la constante dieléctrica es alta y la frecuencia baja.-

Las bajas frecuencias se propagan siguiendo sensiblemente la curvatura de la tierra.-

Para $f > 30$ MHz, hay una excesiva atenuación en la componente reflejada superficial dando lugar a que sólo sea posible la propagación en forma directa(propagación rectilínea).

Las ecuaciones que determinan los errores debidos a las causas apuntadas, no tienen valor práctico, son solamente de interés académico. En algunos casos es posible que el valor de los mismos sea inferior al error gráfico en la escala a la cual se representará el trabajo. Generalmente estos errores se determinan en forma empírica para diferentes lugares del área de operación y diferentes estados atmosféricos.

4.17.- Calibración.-

Es la operación por la cual se determinan y corrigen (dentro de lo posible) los errores de predictibilidad.-

4.17.1.- Calibración de los sistemas de medición y comparación de fase operando en modo hiperbólico.-

Una vez instaladas las estaciones costeras terrestres (Maestra y Esclavas) se procede a la calibración del sistema a efectos de:

a- Determinar los valores de la constante de ajuste de las estaciones esclavas.

Esta constante de ajuste se determina por la diferencia de coordenadas de un punto estación obtenidas electrónicamente y las reales obtenidas por medios topográficos o geodésicos.-

Este error es producido por la influencia de la inducción de los campos eléctricos de las antenas transmisoras tanto en la Estación Maestra como en cada una de las Estaciones Esclavas.-

b- Determinar los errores residuales.-

c- Determinar el valor entero de corredor.-

Es conveniente instalar también una Estación Monitora dentro de la zona de trabajo, en lo posible en una isla o una plataforma petrolera si las hubiere. Esta Estación, posee los mismos elementos que la embarcación de levantamiento, sólo que se encuentra instalada en un punto inmóvil. Permitirá conocer los cambios de las condiciones de propagación, que traduciremos a variaciones de la velocidad de propagación (δc) y en último término a valores de centésimos de media longitud de onda ($\delta \lambda = \delta c / f$). Al hallarse fija en un punto, la variación de sus coordenadas obtenidas electrónicamente por el sistema (descontados los errores accidentales) sólo será debida a cambios significativos en las condiciones de propagación (lluvia, nieve, movimiento de superficies reflectoras de ondas electromagnéticas de dimensiones considerables en las inmediaciones del campo de las antenas transmisoras, etc.).

Cuando se llevan a cabo levantamientos de precisión, su instalación se hace imprescindible.

Trabajando con un sistema Hi-Fix cuya frecuencia de operación era $f:1900$ KHz, se han constatado alteraciones por lluvia, del orden de 1.5 a 2.0 corredores en cada par M-Er ; M-Ev.

Cuando el equipo o sistema opera en modo hiperbólico, a bordo sólo se instala una antena receptora que es la materialización del Punto Estación y no hay necesidad de determinar el "centro electrónico" del barco.

a - Determinación empírica de la constante de ajuste.-

El barco de levantamiento ocupará varios puntos dentro del área de operación.-

En cada punto elegido, el barco de levantamiento se estaciona (en lo posible fondeado) obteniéndose valores electrónicos de esa posición.

Simultáneamente, haciendo uso de métodos topográficos,(intersección directa, inversa, medición directa de distancias con un sistema de radiolocalización en MAF) se determinan las coordenadas

planimétricas correspondientes a los valores electrónicos observados.-

Las coordenadas planimétricas son reducidas a coordenadas electrónicas registrándose su diferencia en valores de centésimas de corredor para los pares M-Er y M-Ev respectivamente.-

Se entiende que las coordenadas de los puntos trigonométricos sobre los que se han instalado las estaciones terrestres del sistema y el instrumental topográfico de verificación, han sido determinadas con muy buena precisión; que los observadores son idóneos y en el caso de utilizar equipos de medición directa de distancias, estos han sido a su vez, cuidadosamente calibrados.-

El promedio de estos valores obtenidos es introducido como valor fijo en cada una de las estaciones esclavas o bien se registra como corrección zonal a tener en cuenta en la determinación final de las coordenadas de los puntos del levantamiento.-

b- Determinación empírica de los errores residuales.-

Una vez ajustadas las estaciones esclavas se procede a llevar a cabo una nueva calibración obteniendo nuevos valores que se tendrán en cuenta zonalmente para la corrección de las coordenadas planimétricas finales del levantamiento.-

En las operaciones de calibración, deberán tenerse en cuenta los valores obtenidos en la Estación Monitora.-

En algunos casos, cuando hay una utilización continua de la cadena, ésta estación dispone de un registrador de coordenadas electrónicas.

Estas coordenadas, por hallarse la estación fija, teóricamente deberían permanecer constantes.-

En la práctica no es así, existen errores instrumentales accidentales y cambios en los parámetros que definen el campo eléctrico en el que se propagan las ondas, que producen variaciones en los valores de coordenadas electrónicas de la Estación Monitora.-

Cuando se llevan a cabo trabajos de precisión, los valores de variación dados por la Estación Monitora desde el momento de la calibración, son tenidos en cuenta para realizar las correcciones necesarias a las coordenadas obtenidas en el levantamiento.-

c- Determinación del valor entero de corredor.-

Al efectuar la calibración, se obtienen valores de coordenadas planimétricas que luego son reducidos a valores de coordenadas electrónicas.

De allí se obtiene el número entero de corredor correspondiente a cada par M-Er ; M-Ev y se introduce manualmente en cada uno de los contámetros o display

4.17.2.- Calibración de los sistemas de medición y comparación de fase operando en modo circular o dos distancias

Operando en el modo circular o dos distancias (Range-Range), en tierra se instalarán las dos estaciones esclavas y a bordo del barco de levantamiento se instalará la Estación Maestra y el navegador.-

Cuando se trabaja en modo hiperbólico, a bordo sólo se instala el receptor asociado a un navegador que es el portador de los fasímetros o display, indicadores de las coordenadas electrónicas y la posición de la antena receptora materializa el punto estación.-

Solamente el campo de las antenas transmisoras de comunicaciones puede interferir en la recepción de las señales.

Cuando se lleva a cabo el levantamiento en estas condiciones, no se utilizan los equipos de radiocomunicaciones.-

Operando en el modo circular, la estación Maestra, que transmite, va a bordo, razón por la que existen campos electromagnéticos que entretienen las señales obligando a determinar el "centro electrónico" del barco que materializará el Punto Estación cuyas coordenadas deben irse determinando durante el levantamiento.-

a- Determinación del centro eléctrico.-

En un punto del área de levantamiento se navega muy lentamente alrededor de un punto geográfico determinado a una distancia superior a los 2000 m de una de las estaciones esclavas.-

A bordo del barco de levantamiento en un punto prefijado se instala la estación maestra de un equipo de medición directa de distancias y su estación remota en las inmediaciones de la estación esclava en tierra.-

Se toma un par de observaciones cuando la Estación Esclava se encuentra a proa de la embarcación, lo mismo se hace cuando se encuentra a popa, a ambas bandas y a 45° de ambas bandas a popa y a proa.-

Se efectúan las diferencias de los ocho pares de distancias observadas por ambos métodos y se obtiene una figura cuyo centro se adoptará como "centro electrónico" que materializará el Punto Estación.-

b- Determinación de los valores de la constante de ajuste de las Estaciones Esclavas.-

Provisto el barco o embarcación de levantamiento de un equipo de medición directa de distancias previa y minuciosamente calibrado, se procede a navegar en círculos teniendo como centro a cada una de las Estaciones Esclavas a diferentes distancias abarcando toda el área de operación.-

Los valores obtenidos por el sistema circular deberán ser referidos al centro eléctrico y comparados con los simultáneos obtenidos por el equipo de medición directa de distancias.-

El promedio de estas diferencias dará el valor de ajuste para cada una de las Estaciones Esclavas que será introducido en cada una de ellas.-

Posteriormente se obtendrán los valores de errores residuales de la misma forma como se vio al tratarse del modo de operación hiperbólico.-

c- Determinación del número entero de corredor.-

Durante la calibración se determinarán los valores enteros de corredor a ser introducidos manualmente en los contadores o display.- Se opera en forma similar a lo explicado para el modo hiperbólico.-

4.17.3.- Calibración de los sistemas medidores de distancia directa (Dos Distancias o Circulares).-

Estos sistemas que operan con frecuencias cuya forma de propagación puede considerarse rectilínea (no sigue la curvatura terrestre como en el caso de los sistemas de media y baja frecuencia) se calibran en bases geodésicas instaladas en la zona de trabajo, comprendidas entre puntos de triangulación, poligonales o satelitarios de gran precisión.-

Los puntos correspondientes a estas bases de calibración deben hallarse cercanos a la costa en golfos o bahías de manera que las ondas emitidas por el equipo durante la calibración se propaguen sobre el agua.-

Debe consultarse el manual de operación de cada sistema para llevar a cabo una adecuada calibración antes de iniciar las operaciones, al finalizarlas y cuando se tuviere duda sobre el comportamiento de

cualquiera de las estaciones que participan en la cadena.-

4.7-Homogeinización de coordenadas.

Al encarar la etapa de planificación de un levantamiento deben tenerse en cuenta el o los sistemas de referencia de coordenadas a utilizar para dar posición a los puntos estación que sucesivamente irá ocupando el barco de levantamiento durante la operación.-

Es posible que el sistema de coordenadas al cual se refieren los puntos del levantamiento sea el mismo que el de los punto de control utilizados para estacionar las estaciones costeras del sistema.

De no ser así, deberán efectuarse las transformaciones correspondientes.-

Esto tiene gran importancia cuando se trata de llevar a cabo replantéos de posiciones determinadas.

Por ejemplo, se desea llevar a cabo el replanteo de un cierto número de puntos cuyas coordenadas han sido determinadas por medio de un sistema satelital (Elipsoide WGS 84). Si para llevar a cabo el replanteo se utiliza un equipo de radiolocalización cuyas estaciones costeras son instaladas en puntos de coordenadas referidas a un sistema local, estas deberán ser transformadas a coordenadas del sistema WGS 84 o bien determinar nuevamente sus coordenadas con un sistema satelital cuyo elipsoide de referencia sea el WGS 84. De no procederse de esta manera, pueden cometerse errores sensibles que redundarán en una deficiente y antieconómica operación.-

4.19.-Saltos de corredor.-

Cuando se realizan trabajos de largo alcance con sistemas de radiolocalización de comparación de fase, es habitual que durante ciertas horas del día, crepúsculos matutino y vespertino especialmente, señales de radiofrecuencias próximas a las de operación, produzcan fuertes interferencias con la correspondiente pérdida en el conteo de corredor.-

Estas perturbaciones obligan a interrumpir la tarea y es necesario volver a obtener el valor entero de corredor correspondiente al punto estación en que nos hallamos en el momento de reiniciar las tareas.

4.20.-Recuperación del conteo.-

Existen varias maneras de recuperar el conteo de los corredores:

a)- Volver a la zona costera para efectuar una nueva calibración ya sea utilizando sistemas de medición directa de distancias o métodos ópticos de posicionamiento o amarrar a un muelle cuyas coordenadas electrónicas ya han sido determinadas.(ver fig. 4.9)

b)- Contar con puntos fijos en el agua cuyos valores de corredor han sido previamente determinados. Estos pueden ser, islotes, faros o balizas instaladas en bajofondos, plataformas petroleras, boyas para navegación o boyas instaladas ex profeso en diferentes lugares del área de trabajo.-

c)- Cuando se halla realizando una operación a gran distancia de la costa y no se dispone de estructuras fijas en el mar ni boyas, cuyas coordenadas electrónicas ya han sido determinadas, es necesario perder varias horas de trabajo para volver a la costa.

En los casos en que se está operando con un sistema de comparación de fase en modo hiperbólico, se justifica a veces el costo del envío de un avión provisto de un receptor compatible con el sistema.

Al pasar por la vertical de un punto cuyas coordenadas electrónicas ya han sido determinadas y colocadas a mano en el navegador pone en funcionamiento el sistema, de manera que al llegar a la vertical de la embarcación de levantamiento, comunica por radioteléfono las coordenadas electrónicas del punto estación en que se halla la embarcación, las que a su vez son introducidas manualmente en cada uno de los contadores.-

Esta costosa operación fue reemplazada por el uso de:

- un sistema de comparación de fase operando como sistema principal en modo circular.-
- un sistema secundario operando en modo hiperbólico en forma ocasional y un sistema de posición satelital.(TRANSIT)-

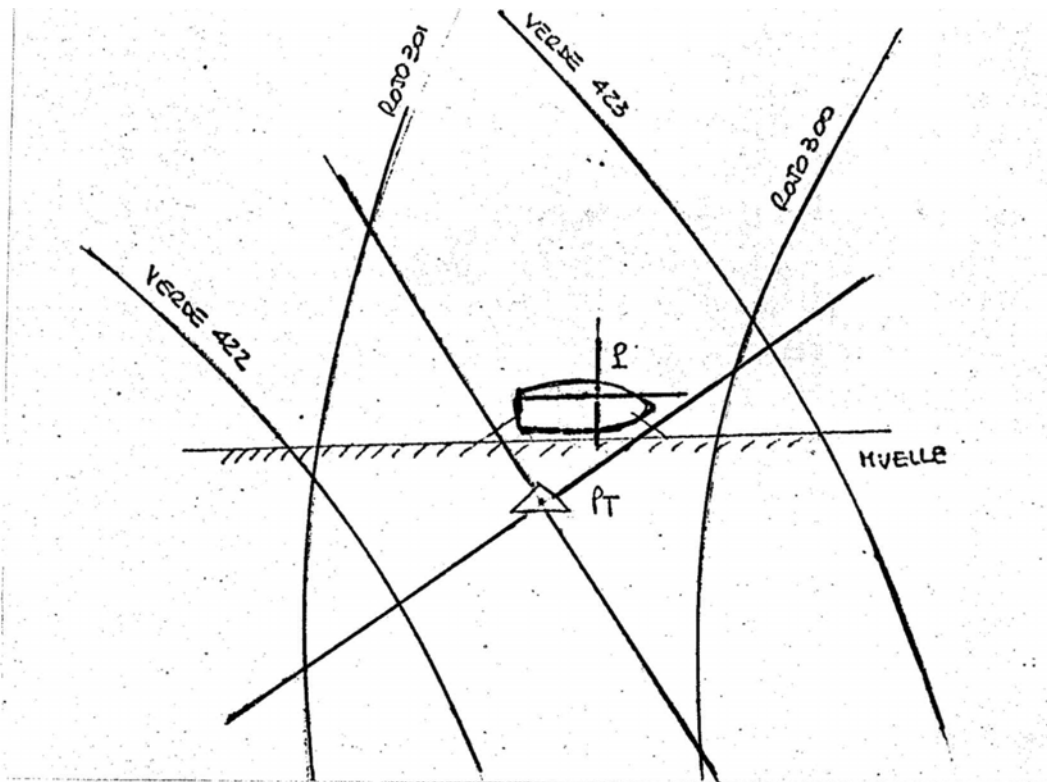


FIGURA 4.9

RECUPERACION DEL CONTEO DESDE MUELLE

PT: Punto trigonométrico cuyas coordenadas planimétricas han sido determinadas geodésica o topográficamente.

Las coordenadas electrónicas del punto estación donde se halla la antena receptora del barco de levantamiento (determinadas por transformación de las geodésicas) son:

ROJA: 300.40
VERDE: 422.65

De estas cifras, los valores enteros son introducidos manualmente en los contadores del navegador.-

Al poner en funcionamiento el sistema se obtiene para ese mismo punto:

ROJA: 300.38
VERDE: 422.67

La diferencia en centésimas de corredor, es debida a errores residuales o a errores accidentales. Si esta diferencia pasa de ciertos valores a determinar en cada caso luego de la primera calibración, habrá que recalibrar el sistema antes de continuar el levantamiento.-

Con el sistema de posición satelital se obtienen las coordenadas del punto estación en el sistema correspondiente (P. Ej. : elipsoidales WGS84) (ver figs.4.10, 4.11).-

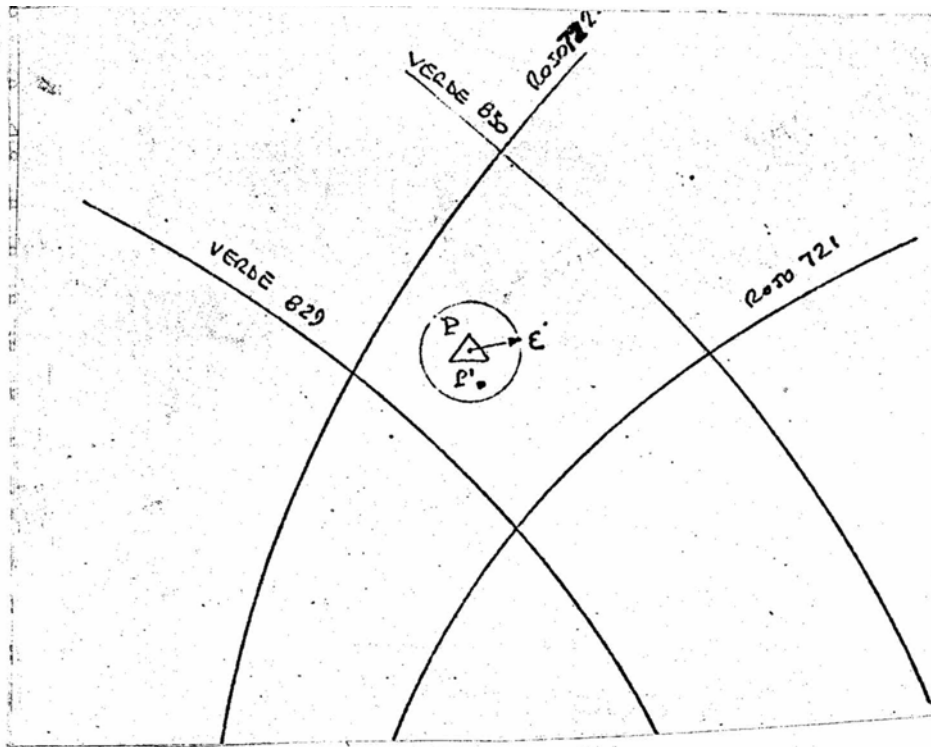


FIGURA 4.10

RECUPERACION DEL CONTEO POR INFORMACION SUPERPUESTA DE SISTEMAS

Las coordenadas del pnto estación P han sido determinadas por medio de un sistema satelital integrado con sonar doppler, con un error $\pm \epsilon$.

Transformadas a coordenadas del sistema hiperbólico:

ROJA : 721.44
VERDE : 829.15

Los valores enteros de estas coordenadas son introducidos manualmente en los contadores del sistema hiperbólico, al que una vez ingresados se lo pone en funcionamiento.-

Al entrar en funcionamiento el sistema hiperbólico se leerán en sus contadores:

ROJA	VERDE
721.38	829.38

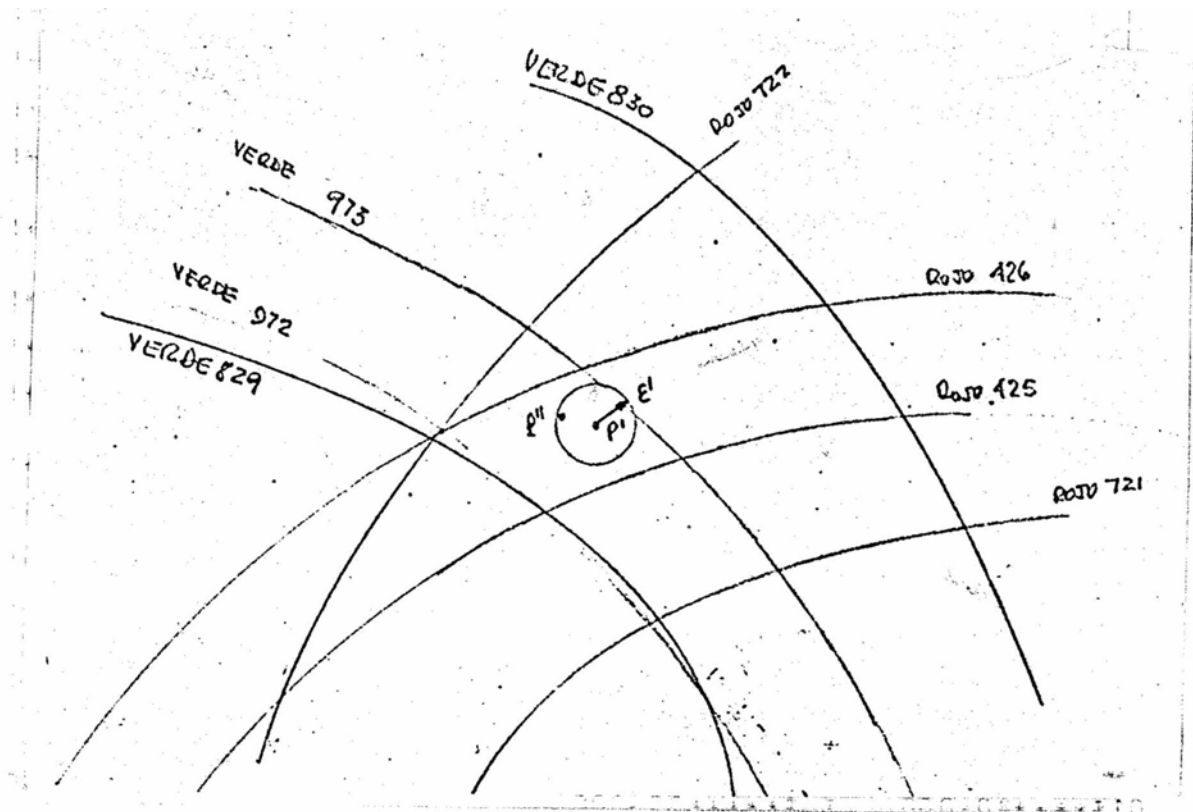


FIGURA 4.11

DETERMINACION DEL CONTEO POR INFORMACION SUPERPUESTA DE SISTEMAS.

La posición del punto estación P'' ha sido determinada por el sistema hiperbólico con un error $\pm e'$.-

Las coordenadas correspondientes, transformadas en coordenadas electrónicas del sistema circular-circular, serán:

ROJA : 425.55
 VERDE : 927.48

Cuyos valores enteros son introducidos en los contadores del sistema circular-circular que es utilizado como sistema principal de posicionamiento.-

Introducidos estos valores, se pone en funcionamiento el sistema circular-circular y sus contadores aparecerán las coordenadas circulares correspondientes al punto estación P'' (que será el punto inicial de conteo para continuar el trabajo de levantamiento):

ROJA	VERDE
425.61	927.49

Estas coordenadas son transformadas a coordenadas electrónicas del sistema que está en condiciones de

operar en modo hiperbólico en el que se introduce el valor entero de los corredores correspondientes a los pares Maestra -E_r; Maestra-E_v.

Dado que el Punto Estación en el que se halla la embarcación está alejado de las estaciones costeras (por eso se adopta éste método); el ancho de corredor hiperbólico está suficientemente expandido como para contener el error con el que el sistema de posicionamiento satelital pudiera determinar sus coordenadas.-

Al comenzar a funcionar el sistema hiperbólico, los contadores indicarán las coordenadas electrónicas del Punto Estación en corredores (determinados por la posición GPS) y en centésimos de corredor (determinados por el sistema hiperbólico por si mismo).-

Estas coordenadas hiperbólicas a su vez son transformadas en coordenadas electrónicas del sistema principal que trabaja en modo circular, siendo introducidas manualmente al navegador del sistema circular y al poner éste en funcionamiento sus contadores indicarán las coordenadas electrónicas del Punto Estación para poder continuar con el levantamiento.

4.21.- Sistema Diferencial de Posicionamiento Global (DGPS)

Para trabajos de levantamiento es posible instalar, además de receptor a bordo, un receptor fijo en un punto trigonométrico de coordenadas conocidas (DGPS - Diferencial Global Position System). Allí se comparan las coordenadas determinadas por el equipo con las correspondientes al punto estación obteniéndose un valor de corrección que puede transmitirse en tiempo real al barco de levantamiento para que corrija los valores de coordenadas obtenidos. Este procedimiento es válido dentro de los 400 Km del punto trigonométrico. Con este procedimiento pueden obtenerse precisiones del orden de los 3 m.

En general, este sistema va como parte integrante de un sistema de navegación de manera que puede planificarse todo el recorrido a realizar para llevar a cabo un levantamiento (hidrográfico, geofísico, oceanográfico etc.). Dicho recorrido se identifica por las coordenadas de puntos de derrota (Waypoints) que se ingresan al sistema (pueden ser los puntos correspondientes a los cambios de dirección o intermedios). El DGPS actualizará las coordenadas casi en forma continuada a medida que se realiza la navegación (con muy buena precisión, si las correcciones provenientes de la estación instalada en un punto trigonométrico en tierra son enviadas a bordo en tiempo real) y las ingresará al sistema de navegación quien a su vez las comparará con las correspondientes a los waypoints planificados.

De esta comparación el sistema informará en cuánto difiere la derrota real de la planificada y dará (en caso que el sistema lo contemple) la orden al timón automático para que corrija el rumbo y cumpla con la derrota prevista. El GPS está siendo complementado con el sistema ruso GLONASS de manera de aumentar el número de satélites en servicio con lo que se aumentaría la precisión en la determinación de la posición. Estos sistemas, por su precisión y por la escasa servidumbre que representan, han desplazado a los sistemas radioeléctricos utilizados hasta el presente, no obstante, tanto el GPS como el GLONASS pueden salir de servicio sin aviso previo.

4.22.- SISTEMAS INTEGRADOS

Los sistemas integrados y los programas expresamente preparados para la operación moderna, permiten aprovechar al máximo la posibilidad que ofrece la tremenda cantidad de información relevada.

Analizaremos las posibilidades que nos puede brindar este sistema que podría existir como resultado de una integración llevada a cabo por profesionales competentes o por una firma comercial especializada en sistemas electrónicos.

DGPS - sonda con salida digital - PC - Software hidrográfico.

a) Preparación del trabajo: Haciendo uso del programa correspondiente, se diseña la distribución de corridas, rumbo, punto de comienzo y final de cada una de ellas (en coordenadas del sistema WGS84), número correlativo etc. Se ha determinado previamente la cota del Plano de Reducción que será introducido en la PC para corregir los valores provenientes del receptor de mareas.

b) Durante el trabajo: Se reciben en tiempo real las señales de la estación GPS de referencia de manera de poder determinar a bordo las coordenadas. El timonel tiene a la vista la pantalla de la PC donde se proyecta el diagrama planificado de las corridas y toda la información que le brinda el GPS: coordenadas, hora, rumbo, velocidad, distancia de la corrida programada, distancia al fin de corrida, rumbo para entrar en corrida en caso de hallarse fuera de ella, sondaje y el perfil que se está obteniendo con la sonda debidamente calibrada antes de comenzar a sondear. En sistemas más elaborados el programa ad-hoc determina el apartamiento de la derrota verdadera con respecto al diagrama previsto y ordena al piloto automático el ángulo de pala del timón necesario para que la embarcación cambie su rumbo y se integre al diagrama previsto

c) Cuando la sonda o el instrumento que se utilice para un relevamiento no se encuentre exactamente debajo de la antena GPS, las coordenadas obtenidas deberán corregirse por off-set para lo cual se introducen en la computadora los valores iniciales de las distancias a que se halla el transductor con respecto a la antena del radiolocalizador (d_1 y d_2).

e) El resultado final de esta operación es la carta náutica graficada en un Plotter a tiempo real o diferido, según las capacidades del sistema..
plano isobático.

Los resultados de una operación a tiempo real no son siempre plenamente satisfactorios. Es imprescindible la verificación de la información obtenida porque es posible un error en la obtención de la información, en un paso de programa, o en un movimiento de archivos.

El disponer de sistemas integrados disminuye gran parte de errores humanos y mejora la calidad de los levantamientos pero deben ser siempre controlados.

4.23.-Programas para sistemas integrados.

Existen paquetes de programas editados por empresas especialistas tales como los Software HYPACK o HIDRO.

Por ejemplo HYPACK for WINDOWS trae un paquete de programas a ser utilizados para diferentes fines.

Para la preparación del trabajo está el llamado SURVEY PREPARATION, que comprende el programa DESIGN con el que puede digitalizarse la línea de costa o el contorno de la zona de trabajo y superimprimir sobre ese gráfico las corridas que se programan para realizar el trabajo.

El Programa SURVEY permite tomar información de nueve sensores en forma simultánea, representarla y registrarla. Puede recibir información de gran número de sistemas radioeléctricos de localización incluyendo DGPS.

La pantalla en el programa SURVEY puede configurarse de acuerdo a las necesidades del usuario.

Es posible obtener en pantalla en forma simultánea, la carta o plano que se está utilizando para el levantamiento, el perfil continuo que se está sondando, una lista de datos tales como: coordenadas actuales provenientes del DGPS, rumbo y velocidad, profundidad, hora, N° de línea o corrida de sondajes, distancia recorrida, distancia al fin de la corrida, etc. Esta información es colocada delante del timonel de la embarcación de levantamiento de manera que este pueda seguir las líneas de sondaje planificadas.

El programa EDITING permite graficar las líneas navegadas y los sondajes obtenidos en forma simultánea de manera de poder verificar punto por punto el perfil sondado y corregir desvíos que pudieran haberse producido por fallas instantáneas y accidentales del instrumental.

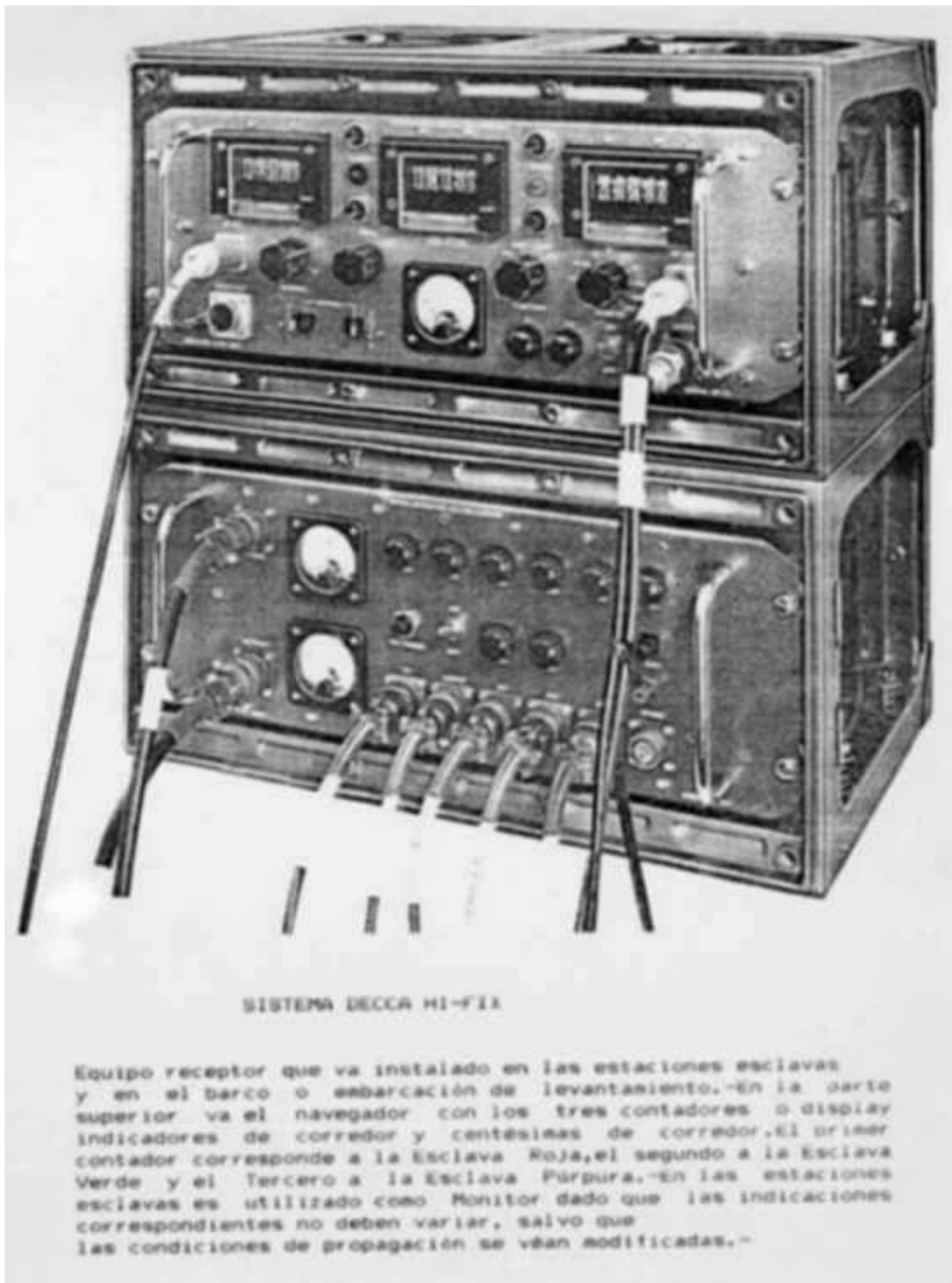
Este programa también permite determinar los errores de cruce de las corridas principales con las de comprobación. Provee una visualización por zonas representando las corridas principales, las de comprobación y sobre cada punto de corte un vector con el valor de la discrepancia.

4.24.-Consideraciones finales.

En la operación de sistemas radioeléctricos de posicionamiento y sistemas integrados, es muy importante el estudio de los manuales descriptivos y operativos y de los programas a utilizar, antes de decidir su uso o su adquisición.-

En la revista del BHI y otras especializadas (Sociedad Hidrográfica Internacional, Institutos de Navegación etc.) se publica una buena cantidad de artículos sobre el tema que es conveniente leer.-

Esta experiencia ajena y la investigación propia que podamos llevar a cabo, nos permitirá hacer un uso correcto de los equipos o sistemas y la obtención de buenos resultados.



BIBLIOGRAFÍA UNIDAD 4

-Enciclopedia General del Mar-Ed.Garriga-1968-Barcelona- España:Vol VII pp136.-

-Tratado General de Topografía (W.JORDAN)Editorial Gilli S.A.- México D.F.-1981.-

-A Brief History of the Method of Fixing by Horizontal Angles(COTTER)The Journal of Navigation
-Vol.25 N°4.-1972.-

- Accuracy Contours for Horizontal Angles Position Lines(GOODWINGKEMP) The Journal of Navigation Vol.26 N°4 1973.-
- Fixing by Horizontal Angles(COTTER)The Journal of Navigation- Vol.26 N°4-1973.-
- Electronic Surveying- Accuracy of electronic Positioning Systems (BIGELOW) Suplemento de la Revista del BHI Vol 6,Sept.1955.-
- Journal of The Surveying and Mapping Division- Proceedings of The American Society of Civil Engineers- Octubre 1963.-
- The Propagation Velocity of Decca Frecuency Transmissions Over Sea- Ice.- Revista del BHI Vol LIV N°1- Enero 1977.-
- The Use of Hi-Fix in Indians Waters (MORGES)- Revista del BHI Vol LIII N°2- Julio 1976.-
- An Examination of the Stability of Port London Authority Estuary Decca Hi-Fis Chain (LONGHORNE-HOOPER) Revista del BHI Vol.LI N°2-Julio 1974.-
- The Decca Hi-Fix Position Fixing System (POWELL)- Revista del BHI Vol.LI N°1 Enero 1974.-
- Practical Experience With Hi-Fix (BRADLEY)- Revista del BHI Vol.XLVIII N°1, Enero 1971
- Calibration of a Radiopositioning Chain Decca HI-Fix. Trials for Accuracy and Lane Identification Process (REVEL) Revista del BHI Vol.XLVI N°1, Enero 1969.-
- Raydist "T" Locating Boring Sites. (COMSTOK- MICHENER)- Revista del BHI Vol.XXXVI N°1, Enero 1959.-
- Raydist DM System (HASTINGS)- Revista del BHI Vol.XXXVI N°2, Julio 1959.-
- Electronic Control Sustems Used in Hydrographic Surveys (FISH)- Revista del BHI Vol.XXX N°1, Enero 1960.-
- Hiperbolic Positioning Systems for Hydrographic Surveys (LEIFSON)- Revista del BHI Vol.XXX N°2 Mayo 1953.-
- Cursillo Preparatorio de Geodesia Satelitaria (UNLP – Facultad de Ingenieria Area Geodesia departamento Agrimensura (1996)
- Satellite Geodesy (SEEBER,G.)Ed.Walter deGruyter – Berlin – N.Y.1993
- GPS – GLONASS (HOLANDA BLAS,M.P. y BERMEJO ORTEGA,J.C.) Madrid 1998
- Conversion (electronique) de Coordonnees Hyperboliques en Coordonnees Rectangulaires (VERSTELLE)- Suplemento de la Revista del BHI Vol.4- Diciembre 1963.-
- Calcul d'un Reseau Hyperbolique Tracè sur Une Carte (Service Hydrographique Japonais)- Suplemento de la Revista del BHI Vol.4 Diciembre 1963.-

-Essais Destines a Apprecier la Valeur du Hi-Fix (ROBERTS)- Suplemento de la Revista del BHI Vol.5,Abril 1964.-

-Emploi et Estimation de la Valeur du Hi-Fix dans un Leve Hydrographique Cotier au Canada (LA CROIX- MURDOCK)- Suplemento de la Revista del BHI Vol.5, Abril 1964.-

-Determination des Erreurs Fixes dans les Chains Decca Navigation et d'Hydrographie (FAGERHOLM- THUNBERG)- Suplemento de la Revista del BHI,Vol.5, Abril 1964.-

-Aides Electroniques Utilisees pour les Leves Hydrographiques a Liverpool (KNIGHT)- Suplemento de la Revista del BHI Vol.6, Septiembre 1965.-

-Methode du Service Hydrographique Suedois-Calcul et Trace des Reseaux Hyperboliques sur les Cartes de Navigation en Projection Mercator et sur les Minutes Hydrographiques en Projection de Gauss (FAGERHOLM- THUNBERG- SJOLIN)- Cuaderno Suplementario N°10 a la Publicación Especial N°39: "AIDES RADIOELECTRIQUES A LA NAVIGATION ET A LA HYDROGRAPHIE- Cap IV".- Noviembre 1965.-

-Methode du Service Hydrographique des Pays- Bas- Calcul des Reseaux Hyperboliques dans un Systeme de Projection Mercator Transverse (WOLTERS)- Cuaderno Suplementario N°10 a la Publicación Especial N°39- Noviembre 1965.-

-Determination non Iterative de la Latitude et la Longitude a Partir de Differences de Temps ou de Phase (CAMPBELL)- Suplemento a la Revista del BHI Vol.6,Septiembre 1965.-

-The Operatinal Satatus of NAVSTAR/GPS (LASSITER, E.W. - PARKINSON,B) The Journal of Navigation Vol.30 N°1 JAN 1977.-

-From Sun Dials to Atomic Clock (JESPERSEN-RANDOLPH) DOVER Publications, Inc.New York - 1982.-

-The Present Status of NAVSTAR (COOK)The Journal of Navigation Vol.36 N°3 September 1983.

-GPS -Una Revolución en la Navegación Aerea, Marítima y Terrestre (PIOLA) Revista del I.A.N. Vol.01 N°001-SEP1992.

-GPS - A Guide to the Next Utility (JEFF HURN)- TRIMBLE CO.-

-Radio Aids to Maritime Navigation and Hydrography -(International Hydrographic Bureau - Special Publication N°39 -MONACO 1965).-

-Aspectos Geodésicos y Cartográficos del GPS (MAYER,F.) Revista del I.A.N.Vol.01 N°001 - SEP1992.-

-GPS for Marine Navigation (MATBOURN,R.)The Journal of Navigation Vol 36 N°3 SEP1983.

-Assessment of the Potential of Satellite Navigation Systems for Europe (STICH H.,BLANCHARD

W.F.,LECHNER D.,KAISER & GAILLARD) The Journal of Navigation Vol.47 N°3 SEP1994.

-Comparition of Two Multi-Site Reference Station Differential GPS Systems (JOHNSTON G.T.)The Journal of Navigation. VOL.47 N°3 SEP1994.-

-A Fast Satellite Selection Algorithm for Combined GPS and GLONASS Receivers (MOK E.,CROSS F.)The Journal of Navigation Vol.47 N°3 SEP1994.-

-Navigation News - The Magazzine of the R.I.N. JUL-AGO 1995.

-Precise Positioning Systems MINI-RANGER (MRS III)- OHI PS N°39-2-3

-Systemes de Positionnement Precis TYRISPONDER –OHI PS N°39- 2-4

-Precise Positioning Systems SYLEDIS B –OHI SP N°39-2-6

-Precise Positioning Sustems ARTEMIS – OHI SP N°39-2-8