



D-63195

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

INSTITUTO DE TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE ESPECIALIZACION
TECNOLOGICA EN PESQUERIA

Seminario de Graduación

**“Solución Completa a partir de la Observación de un Astro, para
el Ploteo de una Recta de Altura, Usando el Almanaque Náutico
y las Tablas 229”**

TESINA:

“Corrección y Ajuste en la Lectura del Sextante Marino”

Previa obtención del título de:

TECNOLOGO PESQUERO

PRESENTADO POR

Debra Catherine Montúfar Ortíz

Ancón - Ecuador

2012

T
522.4
MON

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

INSTITUTO DE TECNOLOGÍAS

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN
TECNOLÓGICA EN PESQUERÍA



Protep
Programa de Tecnología en Pesca

TECNOLOGÍAS

SEMINARIO DE GRADUACIÓN
"SOLUCIÓN COMPLETA A PARTIR DE LA OBSERVACION
DE UN ASTRO, PARA EL PLOTEO DE UNA RECTA DE
ALTURA, USANDO EL ALMANAQUE NÁUTICO Y LAS
TABLAS 229"

TESINA:

"CORRECCIÓN Y AJUSTE EN LA LECTURA DEL SEXTANTE MARINO"

Previa obtención del título de:
TECNOLÓGO PESQUERO

PRESENTADO POR:

DEBRA CATHERINE MONTUÑAR ORTIZ

ANCÓN – ECUADOR
2012

TECNOLOGÍAS

522.4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

INSTITUTO DE TECNOLOGÍAS



INTEC 
Instituto de Tecnologías
Escuela Superior Politécnica del Litoral



Protep 
Programa de Tecnología en Pesquería

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN TECNOLÓGICA EN PESQUERÍA

Tesina:

CORRECCIÓN Y AJUSTE EN LA LECTURA DEL
SEXTANTE MARINO

Presentado por:
DEBRA MONTÚFAR O.

Bajo la dirección del Licenciado
Luis Zhingri Ortega

Ancón – Ecuador
2012

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme salud, fuerza, y la energía necesaria.

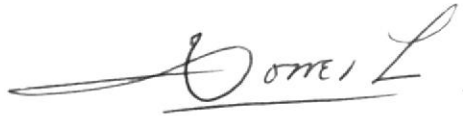
Le doy gracias a la vida por haberme dado tanto, mi madre quien me ha inculcado excelentes valores, la familia que tengo, los amigos con quienes comparto gran parte del día.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación al Lcdo. Luis Zhingri Ortega, por haber compartido conmigo sus conocimientos en este curso.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi mamá, a mis hermanos quienes siempre me han ayudado con sus consejos y me han brindado su valioso tiempo, a todos mis compañeros de clase, que están luchando por conseguir un futuro mejor y a todas las personas que me han ayudado directa o indirectamente a culminar este proyecto.

TRIBUNAL DE GRADO



ING. LUIS TORRES NAVARRETE
PRESIDENTE



LCDO. LUIS ZHINGRI ORTEGA
PROFESOR GUÍA



ING. FRANCISCO PACHECO BEDOYA
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta **Tesina de Grado**, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**”

DEBRA CATHERINE MONTÚFAR ORTIZ

RESUMEN

La presente tesina "Corrección y Ajuste en la Lectura del Sextante Marino" presenta la descripción de siete fuentes de errores del instrumento, en el tambor micrométrico del sextante marino, de estos se ajustan cuatro y tres no se ajustan; información que servirá para la toma de la observación del astro que, contribuirá en resolver el trazado de las rectas de altura y determinar la posición de un observador, sobre la superficie de la tierra. Para ello se presentan tres capítulos, a saber:

El **Capítulo I** se refiere sobre la Evolución del sextante en el cual se menciona, una de las mayores preocupaciones de los fabricantes, de instrumentos náuticos, a lo largo de la historia, ha sido la precisión. Debido a las severas condiciones que se dan en la mar, un instrumento de poca calidad puede dilatarse, contraerse o romperse dando una falsa lectura, que potencialmente puede ser fatal. Se han construido "sextantes" con limbos de hasta 75° u 80° (llamados "quintantes" porque abarcan 1/5 de círculo), usados en trabajos hidrográficos, cartográficos, topográficos o en aviación.

El **Capítulo II** se detalla los dos tipos de errores: Errores o defectos de construcción no subsanables y errores subsanables o ajustables. Los errores ajustables por el observador son: Error de **falta de perpendicularidad**, Error de **índice** y Error de **colimación**. Los errores que no pueden ser eliminados por el observador son: Error de **excentricidad** y defectos en la **graduación del arco**.

El **Capítulo III** es acerca de Correcciones instrumentales, La correcta aplicación de estas correcciones en la altura instrumental, nos provee de la llamada altura corregida.

CORRECCIÓN Y AJUSTE EN LA LECTURA DEL SEXTANTE MARINO

Índice General

Agradecimiento.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DECLARACIÓN EXPRESA.....	vi
RESUMEN	vii
Índice General	viii
ÍNDICE DE GRAFICOS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
CAPÍTULO I	4
EL SEXTANTE MARINO	4
1.1. Evolución de sextantes	4
1.2. Descripción	6
1.3 Teoría y Aplicación.....	10
CAPÍTULO II.....	12
ERRORES EN EL SEXTANTE	12
2.1 Error de falta de perpendicularidad	12
2.2 Error lateral	13
2.3 Error de índice	14
2.4 Otros errores.....	16
2.4.1 Error de colimación.....	16
2.4.2 Error de excentricidad.....	16
2.5 Bases físicas.....	16
Gráfico I.- Triángulo MND.....	17
CAPÍTULO III.....	18
CORRECCIÓN Y AJUSTE.....	18
3.1 Otras correcciones	18
3.1.1 Correcciones instrumentales.....	18
3.1.2 Punto inicial y punto de paralelismo:.....	18

3.1.3 Correcciones atmosféricas	21
Gráfico III.- Ángulo AOh ₃	23
3.1.4 Correcciones astrales	24
Gráfico IV.- Clases de Paralaje	25
CONCLUSIONES	30
RECOMENDACIONES	31
BIBLIOGRAFÍA.....	32

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico I.- Triángulo MND.-	15
Gráfico II.- Refracción Atmosférica.-.....	19
Gráfico III.- Ángulo AOh ₃ .-.....	21
Gráfico IV.- Clases de Paralaje.-	23
Gráfico V.- Triángulo TbA.-.....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.- Sextante.....	2
Figura II.- Horizontes artificiales.....	5
Figura III.- Sextante.....	6
Figura IV.- Partes del Sextante.....	7
Figura V.- Alidada.....	8
Figura VI.- Espejo grande.....	9
Figura VII.- Aplicación.....	10
Figura VIII.- Sextante de Tambor.....	12
Figura IX.- Espejo.....	13
Figura X.-Error lateral a y b	14
Figura XI.- Error de Índice	15
Figura XII.- Error de Índice	15
Figura XIII.- Lectura de la Alidada.....	20

INTRODUCCIÓN

El sextante ha llegado a ser el símbolo náutico universal más ampliamente reconocido.

Es, en esencia, un instrumento de observación astronómica basado en las leyes ópticas de la reflexión.

Su nombre, proviene del hecho que su limbo graduado abarca la sexta parte de la circunferencia.

Es un perfeccionamiento del octante que es otro instrumento de observación astronómica basado en los mismos principios de reflexión, ideado por Hadley y Godfrey.

Los usos del sextante no se restringen a la navegación, y de hecho es utilizado también en topografía e incluso en astronomía.

Notemos que distintos autores definen de forma muy diferente el mismo instrumento. Ello depende de varios factores: el grado de precisión que se quiera obtener, el uso que se le va a dar, etc. Los astrónomos, acostumbrados a medir hasta fracciones de segundo, lo encuentran "poco preciso"; los marinos explican para qué lo utilizan y los topógrafos, lo definen y nos dan su característica esencial.

Definiciones:

F. Martín Asín, en su libro "Astronomía" lo define así: El sextante es un goniómetro poco preciso y fácil de transportar, usado fundamentalmente en barcos para medir distancias angulares y alturas de los astros, para hacer determinaciones expeditas de las coordenadas.

José M. MoreuCurbera en "Astronomía y Navegación" dice: Es un instrumento portátil usado a bordo para medir la altura de los astros, que también se usa para medir ángulos horizontales entre puntos de la costa y ángulos verticales.

F. Valdés en "Aparatos topográficos" explica que: Es un goniómetro de reflexión. Hasta hoy es el instrumento de mano más preciso usado para medir ángulos. En la época de la electrónica, el sextante todavía es atractivo, combinado con el cronómetro y el Almanaque, para situarse porque es independiente de cualquier sistema externo de radio transmisión. En navegación costera, la situación que obtienes con el sextante, es independiente hasta de la aguja.

Finalmente, en navegación astronómica, el manejo del sextante, y la parafernalia que le sigue para hallar una línea de posición, no deja de ser divertido. Los sextantes y los octantes son contemporáneos. El primer sextante conocido es del 1757 (construido por John Bird a instancias de John Campbell).

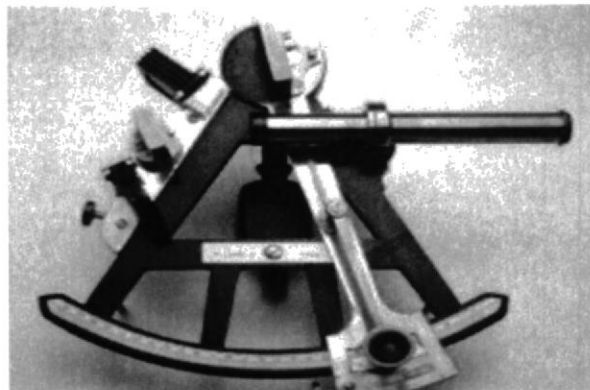


Figura I.- Sextante¹

Los sextantes "nacieron" con óptica incorporada, a los octantes se les añadió hacia el 1830.

La principal diferencia entre el sextante y el octante es que el sextante lleva un nonio con una lupa en la alidada.

La incorporación de un nonio a la armadura permitió mejorar la precisión hasta 1' y hacer instrumentos más pequeños. También se incorporaron vidrios de colores como filtros.

CAPÍTULO I

EL SEXTANTE MARINO

1.1. Evolución del sextante

La demanda de sextantes creció de forma espectacular en el período 1768 – 1774 y durante las guerras napoleónicas a finales del siglo XVIII y principios del XIX.

Una de las mayores preocupaciones de los fabricantes de instrumentos náuticos a lo largo de la historia ha sido la precisión. Debido a las severas condiciones que se dan en la mar, un instrumento de poca calidad puede dilatarse, contraerse o romperse dando una falsa lectura, que potencialmente puede ser fatal.

Se probaron numerosos materiales y diseños para asegurar la rigidez y estabilidad de los bastidores y la solución final fue hacerlos de bronce de campana.

Hacia 1850 la muerte del octante era inminente dada la superioridad del sextante, tanto en precisión como en compacidad y duración. A pesar de ello se continuó usando el octante hasta principios del siglo XX.

El horizonte artificial era imprescindible para los exploradores y cartógrafos que normalmente no veían el horizonte natural. Desde 1732 los constructores de Instrumentos empezaron a fabricar horizontes artificiales.



Figura II.- Horizontes artificiales²

Los aviadores tienen el horizonte natural muy abajo y no les es de utilidad, a más, a menudo vuelan por encima de las nubes. Así que para situarse necesitan un horizonte artificial. Los submarinos, por su parte, son demasiado bajos para tener un buen horizonte y también necesitan un horizonte artificial. Las innovaciones en el sextante durante el siglo XX vienen de estas necesidades.

Durante la 1ª Guerra Mundial hubo un desarrollo muy rápido de la aviación y un repunte en la manufactura de sextantes, tanto para la aviación (con horizonte artificial) como para la marina de guerra.

Al final de la 1ª Guerra Mundial se incorporó al sextante un tornillo micrométrico con un tambor graduado para tener la lectura de los minutos y posteriormente se añadió un nonio pequeño para apreciar fracciones de minuto.

El standard de excelencia para los sextantes posteriores a la 2ª Guerra Mundial la estableció la firma C. Plath en Alemania, Fairchild, Link, Pioneer y Agfa-Ansco en USA y Tamaya en Japón. Entre los accesorios "modernos"

tenemos el espejo pequeño "todo horizonte"; una lente astigmática que distorsiona la imagen de las estrellas y la convierte en una línea recta para alinearla mejor con el horizonte; y el horizonte artificial de burbuja. A pesar de estos refinamientos, el sistema óptico es el mismo que propuso John Hadley en 1731.

Se han construido "sextantes" con limbos de hasta 75 o 80° (llamados "quintantes" porque abarcan 1/5 de círculo), usados en trabajos hidrográficos, cartográficos, topográficos o en aviación.



Figura III.- Sextante³

La muerte de la navegación astronómica tradicional y en consecuencia del sextante, se debe a su sustitución, a finales del siglo pasado, por la navegación por satélite y a la generalización del G.P.S.

1.2. Descripción.

Goniómetro portátil usado para determinaciones expeditas de las coordenadas. (Se usa para medir la altura de los astros, ángulos horizontales o alturas sextantales).

Es el instrumento de mano más preciso de medida de ángulos ideado hasta la actualidad.

Partes.

Consta de:

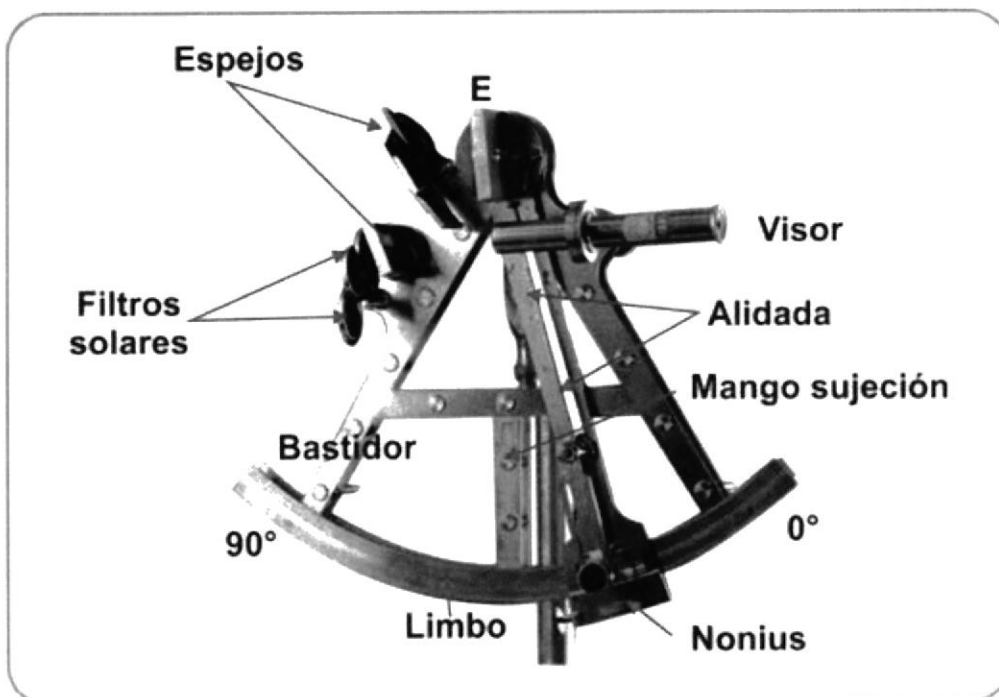


Figura IV.- Partes del Sextante⁴

Armadura o bastidor: normalmente metálico, en forma de sector, contiene un limbo graduado de derecha a izquierda, la graduación del limbo es doble de la del arco que comprende.

Alidada: de igual material que el bastidor, con forma de radio de sector, gira sobre del centro del sector y se desplaza sobre el limbo.

Lleva grabado un índice (o línea de fe) que puede llevar acoplado un nonio para apreciar las fracciones.

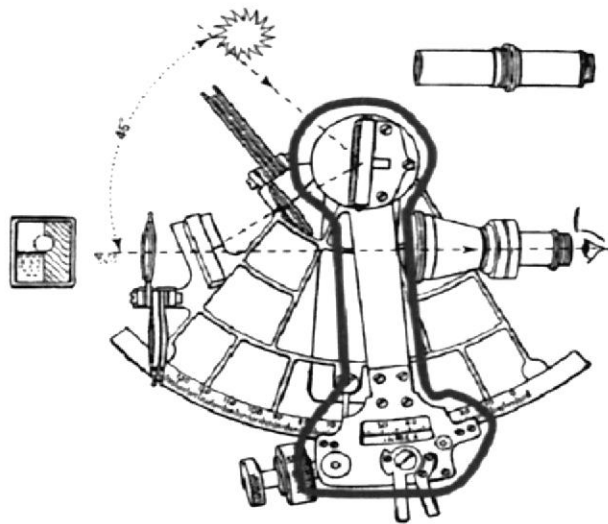


Figura V.- Alidada⁵

Espejo pequeño (o de horizonte): Va montado fijo sobre la armadura a la izquierda del sector.

Es perpendicular al plano del sextante, su superficie ha de ser paralela a la de la alidada cuando ésta marque 0° .

Está dividido en 2 partes, la mitad próxima al bastidor está azogada y la otra mitad es transparente.

El soporte de este espejo lleva dos tornillos para ajustar su posición en caso necesario.

Espejo grande (o espejo de índice): Va montado solidario sobre la alidada. Su superficie de reflexión ha de coincidir con el eje de giro de la alidada.

Es perpendicular al plano del sector y longitudinalmente coincidente con el eje de giro de la alidada.

El soporte de este espejo lleva también unos tornillos de ajuste en su parte posterior.

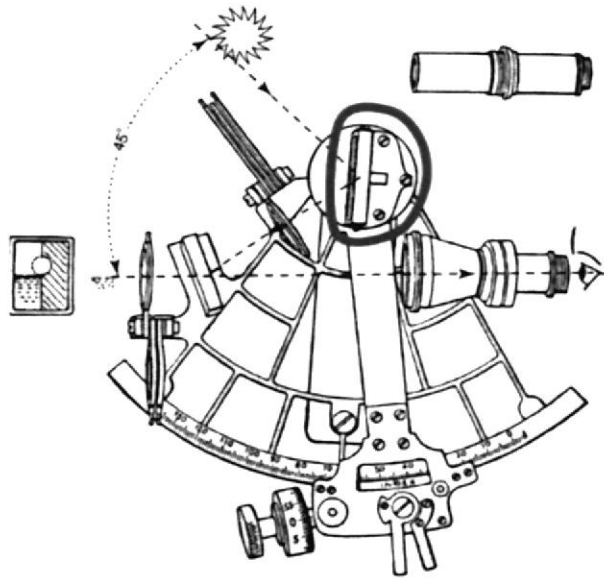


Figura VI.- Espejo grande⁶

Anteojos: A la derecha del bastidor y a la altura del espejo chico va montado un anteojo. El centro del anteojo está alineado con la divisoria espejo cristal del espejo horizonte. Algunos sextantes tienen 2 o más anteojos intercambiables.

Filtros: Delante de cada espejo hay un juego de filtros para reducir la luminosidad de los astros cuando sea necesario para su observación.

Mango: Está en la parte posterior del plano, sirve para asirlo cómodamente durante las observaciones.

Algunos sextantes llevan dentro del mango una pila para alimentar a una bombilla que ilumina la graduación y facilitar así su lectura de noche.

1.3 Teoría y Aplicación

Con la alidada a cero, se comprueba que el tornillo de presión esté aflojado (o que tengamos la palanca del tambor bien apretada).

Se desplaza la alidada suavemente hacia adelante hasta tener a coincidencia el objeto a observar si el índice de la alidada coincide con una graduación del limbo, la lectura es directa si no, hay que medir la separación entre la graduación de la derecha y la línea de fe. Eso se hace, o bien con el nonio solidario a la alidada, o bien con un micrómetro de tambor.

Para tomar la altura de un astro, el sextante se sujeta verticalmente con una mano y se dirige la mirada por el anteojo hacia la vertical del astro en el horizonte. Un rayo de luz procedente del astro observado se refleja, en primer lugar en el espejo grande y después en la superficie trasera del espejo pequeño antes de atravesar el anteojo. Mediante una suave rotación del espejo grande a lo largo de su eje, la imagen sobrepuesta del astro se alinea con la imagen del horizonte. La altura correspondiente es el doble que el ángulo formado por los planos de la lente de horizonte y el espejo grande.

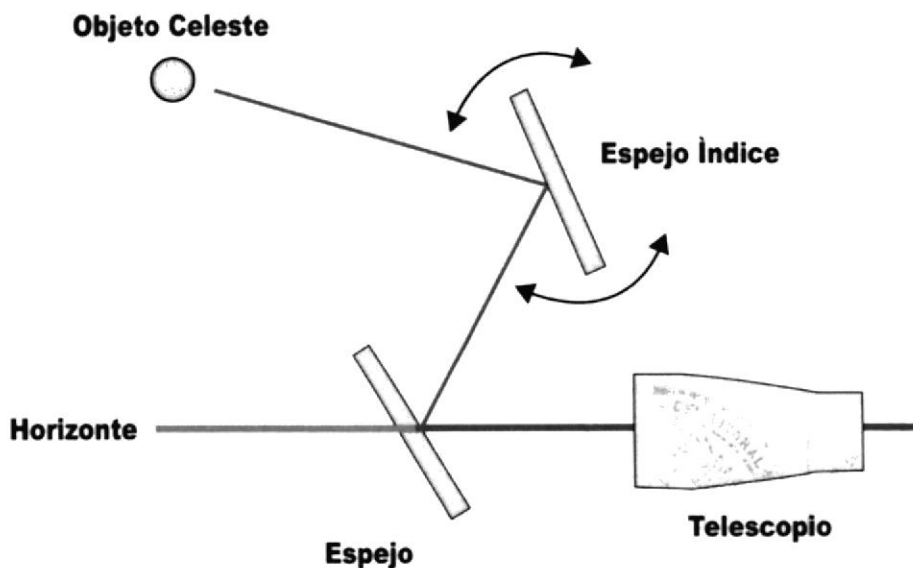


Figura VII.- Aplicación⁷

Sextante de nonio

- La graduación del limbo puede ser: de 20' en 20' (en los sextantes más antiguos) 3 divisiones per grado de 15' en 15'; 4 divisiones per grado de 10' en 10' (en los sextantes más modernos) 6 divisiones per grado.
- En estos sextantes los grados y las divisiones principales se miden en la alidada y las fracciones en el nonio.
- Si el limbo está graduado de 20' en 20', el nonio tiene la escala dividida en 20' con marcas cada minuto y cada medio minuto y se aprecian 30".
- Si el limbo está graduado de 10' en 10', el nonio tiene la escala dividida en 30 divisiones correspondientes a 10' y puede apreciar hasta veinteavos de minuto.

Sextante de tambor

- Cada vuelta del tambor son 60' (es decir 1°).
- Los grados se miden directamente en el limbo a partir de la línea de fe de la alidada.
- Los minutos se miden en el tambor micrométrico
- Las fracciones de minuto se leen en el nonio pequeño (hay nonios que dan 1/10 de ' y otros 1/6 de ') o se aprecian directamente
- La lectura es más fácil en los sextantes de tambor que en los de nonio



CAPÍTULO II

ERRORES EN EL SEXTANTE

Existen dos tipos de errores: Errores o defectos de construcción no subsanables y errores subsanables o ajustables.

Errores no subsanables.- Errores de fabricación, como son: defectos en la graduación del arco, pivote del giro de la alidada que no esta justamente en el centro del arco, mala graduación del nonio, cristales de los espejos que no tienen las caras paralelas y planas, etc.

Errores subsanables.- La falta de paralelismo del anteojo al plano del sector, y la falta de perpendicularidad de los espejos al plano del sector, lo que implica la falta de paralelismo entre los espejos cuando la alidada esta a 0° .

2.1 Error de falta de perpendicularidad.

Se debe a que el espejo grande no es perpendicular al plano del bastidor. Se comprueba poniendo el sextante plano encima de una mesa, se mueve la alidada hasta que la línea de fe nos marque aproximadamente $45^\circ 50'$.

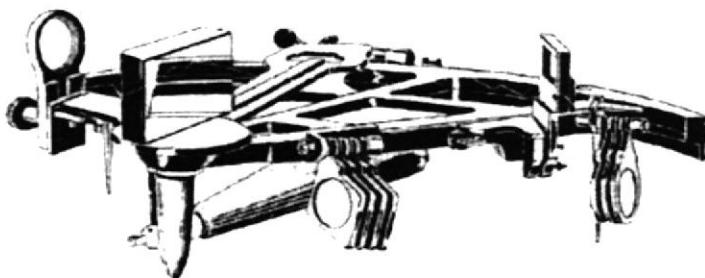


Figura VIII.- Sextante de Tambor⁸

Con el ojo a la altura del espejo índice, se mira el limbo y se mueve la alidada poco a poco. Se ve la parte del limbo que nos queda a la derecha directamente y también por reflexión a través del espejo. Si el arco real y el refleja se confunden en una sola línea continua como en la Figura IX (2) no hay error de perpendicularidad. Si hay un salto, como en la Figura IX (1), hay error, y se ha de corregir moviendo suavemente los tornillos que hay en la parte posterior del espejo. (En sextantes antiguos hay que sacar el espejo del marco y rellenar la base hasta conseguir la perpendicularidad).

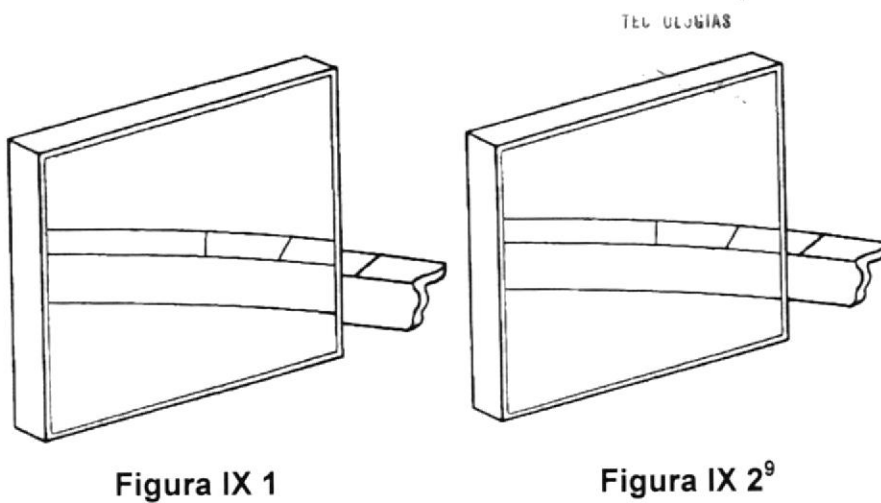


Figura IX.-Espejo

El arco del sextante que parece continuar sin interrupción en el espejo. Si hay un error, entonces los dos puntos de vista parecen estar rotos. Ajuste el espejo hasta que la reflexión y la visión directa del arco parece ser continua.

2.2 Error lateral

Es originado por falta de perpendicularidad del espejo horizonte con el bastidor.

Para ver si hay error lateral, se ajusta la alidada a 0° y se enfoca el sextante al Sol, la Luna o una estrella brillante, (en algunos sextantes antiguos conviene escoger una estrella no demasiado brillante).

También se puede enfocar un punto lejano. Se hacen los ajustes finos necesarios hasta que las imágenes real y reflejada queden superpuestas.

Si las imágenes se superponen, no hay error, (Fig. X b) si se ven una al lado de la otra hay error (Fig. X a)

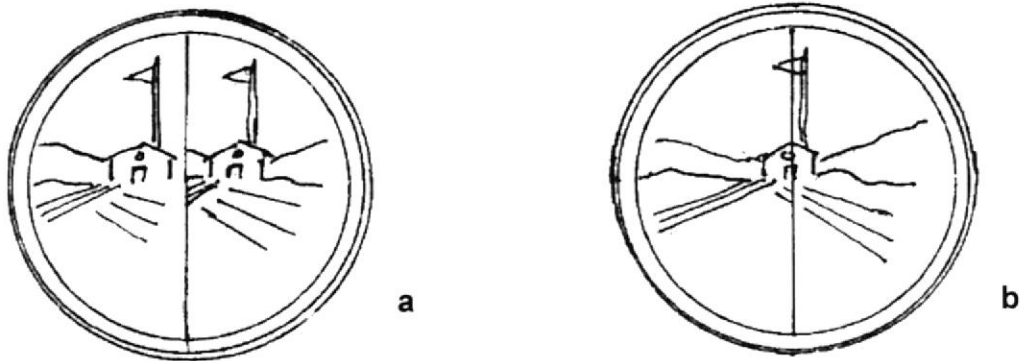


Figura X.- Error lateral a y b¹⁰

Este error se corrige moviendo suavemente el tornillo de detrás del espejo pequeño (el más alejado del bastidor), e ir mirando hasta conseguir que las imágenes se superpongan.

En caso de cambiar de una posición a otra la imagen reflejada pasa directamente sobre la imagen, irreflexiva, no existe error lado. Si se pasa a un lado, existe error lado. El usuario puede almacenar el sextante en su lado y observar el horizonte para comprobar el sextante durante el día. Si hay dos horizontes hay un error de lado, ajustar el horizonte de vidrio / espejo hasta que las estrellas se funden en una sola imagen o los horizontes se funden en uno. Error lateral es generalmente insignificante para las observaciones y puede ser ignorado o reducido a un nivel que es más conveniente.

2.3 Error de índice

Es debido a que los espejos no son exactamente paralelos cuando el índice de la alidada marca 0°. Se descubre igual que el error lateral. Se lleva el

índice a 0° y miramos el horizonte con el sextante vertical (se puede mirar a un punto lejano). Si la imagen directa y la reflejada no coinciden, hay error. Es más práctico tenerlo en cuenta al hallar el ángulo o la altura, que corregir los espejos. Esto se puede hacer en la noche con una estrella o la luna. Este error de índice, o desfase, se sumará al ángulo medido si la alidada está a la derecha de 0° y se restará si está a la izquierda.

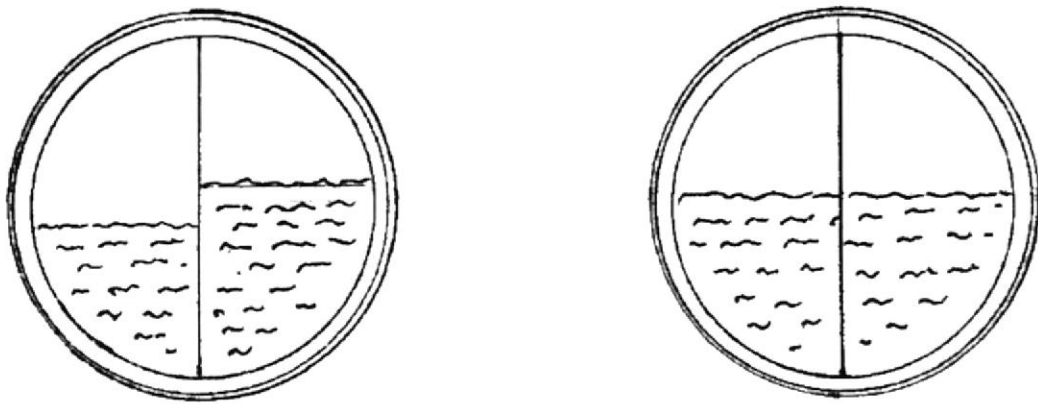


Figura XI.- Error de Índice¹¹

Se corrige manipulando suavemente el tornillo que hay detrás del espejo pequeño (el más cercano al bastidor) hasta que el horizonte real y el reflejado formen una línea recta.

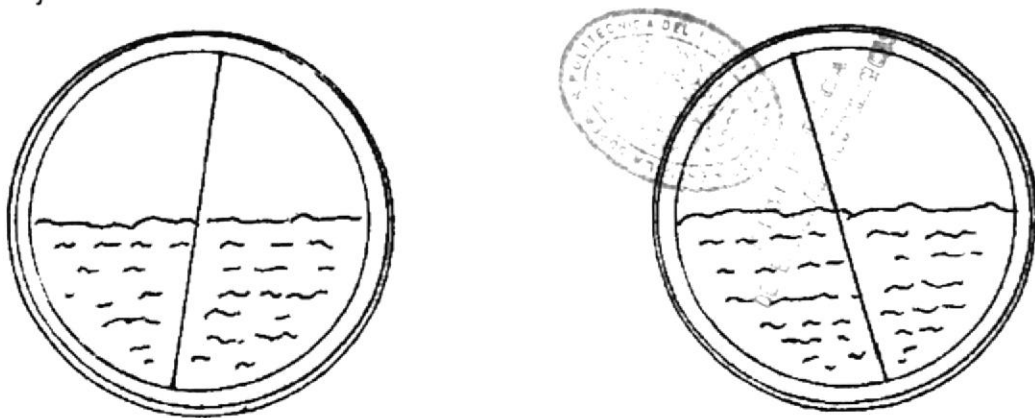


Figura XII.- Error de Índice¹²

Hay que tener en cuenta que puede volver a aparecer error lateral, entonces hay que volver a eliminar el error lateral como se ha explicado, y si queda un

error de índice residual, se anota (se admite un error de índice residual inferior a 3').

2.4 Otros errores

2.4.1 Error de colimación

Debido a la falta de paralelismo del eje óptico con el plano del bastidor porqué el collarín de soporte del anteojo no está bien alineado con el eje óptico.

Esto es cuando el telescopio o monocular no es paralelo al plano del sextante. Para comprobar es necesario observar dos estrellas separadas 90° o más. Acercar a las dos estrellas en coincidencia sea a la izquierda o la derecha del campo de visión. Mueva el sextante un poco para que las estrellas se muevan hacia el otro lado del campo de visión. Si se separan no hay error de colimación.

2.4.2 Error de excentricidad

Debido a que el eje de giro de la alidada no coincide con el centro geométrico del arco del limbo. (Es usualmente pequeño $\approx 1'$ y habitual en sextantes antiguos)

NOTA: Los errores de colimación y de excentricidad no se pueden corregir.

2.5 Bases físicas.

El sextante se basa en las leyes de la reflexión siguientes:

- a) Si un rayo de luz se refleja en una superficie plana, el rayo incidente y el reflejado están en un plano perpendicular al plano de reflexión.
- b) El ángulo de incidencia del rayo con la normal al plano de reflexión, es igual al ángulo de reflexión del rayo con la normal.

- c) Si un rayo sufre dos reflexiones en el mismo plano, el ángulo que forman la primera y la última dirección es igual al doble del ángulo agudo formado por las dos superficies reflectoras.

En la figura, podemos ver que:

- ED es \perp al espejo M y DN es \perp al espejo N, MT y NT son prolongación del plano de los espejos
- Los ángulos en D y T son iguales (por lados \perp)
- En el triángulo MNO el ángulo exterior en M ($2e$) vale $2e = h + 2v$
- En el triángulo MND el ángulo exterior en M (e) vale $e = a + v$
- Así: $2a = h$

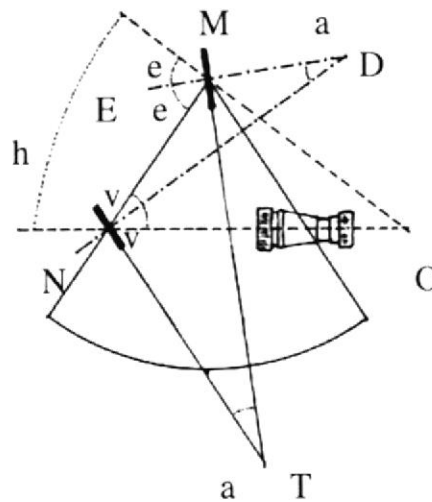


Gráfico I.- Triángulo MND¹³

CAPÍTULO III

CORRECCIÓN Y AJUSTE

3.1 Otras correcciones

3.1.1 Correcciones instrumentales

Al usar el valor medido de la altura (o la altura instrumental) en los cálculos se deben tener en cuenta algunas correcciones. Estas correcciones son: la altura del ojo, el semidiámetro del astro, el error instrumental la reflexión y el paralaje. La correcta aplicación de estas correcciones en la altura instrumental, nos provee de la llamada altura corregida.

Antes de hacer cualquier medida se ha de conocer el error de índice, enfocando un objeto lejano (o el horizonte), haciendo coincidir la imagen directa y la doblemente reflejada.

Error de Índice es positivo (está dentro del limbo), se resta de cada lectura del sextante.

Error de Índice es negativo (está fuera del limbo), se añade a cada lectura del sextante.

Si la coincidencia es a la izquierda del cero la corrección es negativa y si es a la derecha, positiva.

3.1.2 Punto inicial y punto de paralelismo:

Punto inicial: punto donde se detiene la alidada cuando coincide la imagen directa y la doblemente reflejada de un objeto visto a través del antejo.

El punto inicial varía con la distancia al objeto y es constante cuando el objeto está en el infinito (los espejos son paralelos). Éste es el punto de paralelismo (la alidada debería de marcar 0).

En la práctica los espejos se pueden considerar paralelos cuando formen un ángulo suficientemente pequeño (por ejemplo 2") (las normales también formaran el mismo ángulo de 2").

La distancia L a que se encuentre un objeto para qué el punto inicial sea el de paralelismo será:

$$L / MN = \sin(180 - 2v) / \sin(2v - 2e)$$

Y como $v = e - a \Rightarrow 2v - 2e = 2a$ tenemos: $L = MN \sin 2v / \sin 2a$

En los Cassens&Plath: $MN = 0,08 \text{ m}; 2v = 30^\circ \Rightarrow L = 2062 \text{ m}$

Si $2a = 10''$ (considerando paralelos los espejos, cuando formen un ángulo de 5") $\Rightarrow L = 825 \text{ m}$

Formas de hallar la corrección de índice:

Por el horizonte; se coloca el sextante en posición vertical con la alidada a 0° , se busca la coincidencia de las imágenes directa y reflejada. La lectura de la alidada da E_1

Por una estrella; se pone la alidada a 0° , se busca la coincidencia de las imágenes directa y reflejada. La lectura de la alidada nos da E_1 . Se suelen elegir estrellas de 3ª magnitud. Es el mejor método porque permite comprobar al mismo tiempo el paralelismo de los espejos.

Los otros métodos para medir el Error de Índice incluyen:

Alinear las imágenes directa y reflejada de una estrella o el Sol

(Para el Sol use los filtros de espejo)

Llevar los limbos del Sol para tangentear.

Los navegantes deben siempre controlar el antes y después de una serie de observaciones; el promedio del Error de Índice de antes y después será usado en los cálculos.

Por el Sol; se pone la alidada a 0° , se busca la coincidencia de las imágenes directa y reflejada del disco solar.

La lectura de la alidada da E_1 .

Como el Sol tiene un diámetro apreciable, es difícil determinar la coincidencia, por lo que se lleva a tangentear la imagen reflejada con la directa y se anota la lectura l . Se repite la operación con los otros dos limbos y anotamos la nueva lectura l' .

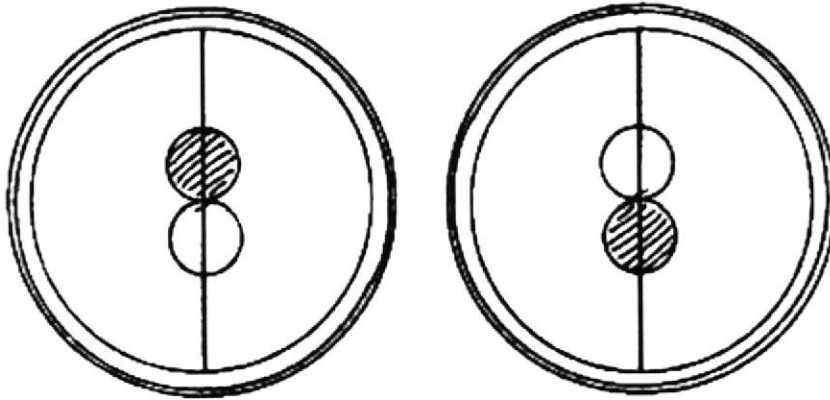


Figura XIII.- Lectura de la Alidada¹⁴

El error de índice se obtiene entonces por:

$$E_1 = \frac{1}{2} (l + l')$$

Con esta operación se puede determinar el semidiámetro del Sol, ya que

$$SD = \frac{1}{4} (l' - l)$$

Hay que notar que la resta es algebraica.

Si al comparar el valor del SD obtenido con el que da el A. N. para el día de la fecha, resultan valores muy parecidos, la corrección de índice está bien obtenida, en caso contrario, tendremos que volverla a obtener.

3.1.3 Correcciones atmosféricas

Refracción: La luz viaja a velocidad constante y en línea recta si el medio en que se propaga es homogéneo e isótropo.

Si la luz pasa de un medio a otro de diferentes propiedades (dadas éstas por su índice de refracción n) sigue la ley de Snell de la refracción.

Debido a la diferencia de densidad de las sucesivas capas atmosféricas, la luz que proviene de un astro no se propaga en línea recta, sino que sufre refracciones sucesivas y se curva. El resultado es que aparentemente, los astros parecen estar más altos de lo que realmente están.

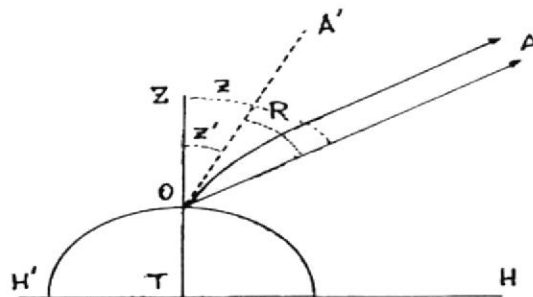


Gráfico II.- Refracción Atmosférica¹⁵

Si a_v es la altura verdadera y a_{ap} es la altura aparente: $a_v = a_{ap} - R$

Siendo R la refracción atmosférica, que depende de la altura del astro.

Hay diversas formas de calcular la refracción atmosférica.

Pero siempre hay que suponer una "atmósfera standard" (con el gradiente de densidad más probable), y obtener una fórmula que nos dé la refracción.

En una primera aproximación, $R = \alpha \tan z' = 60,37'' \tan z'$

La fórmula de Smart – Laplace:

$R (^{\circ}) = 0,97127 \cotan a_{ap} (^{\circ}) - 0,00137 \cotan^3 a_{ap} (^{\circ})$ da buenos resultados para alturas aparentes de 15° a 90° .

A menos de 5° los errores aumentan progresivamente.

Para alturas menores que 5° da buenos resultados la fórmula empírica siguiente:

$$R(^{\circ}) = \frac{34,133 + 4,197a_{ap} + 0,00428a_{ap}^2}{1 + 0,505a_{ap} + 0,0845a_{ap}^2}$$

La fórmula de Bennett, menos exacta, pero con suficiente precisión para la navegación, válida para cualquier altura.

$$R(^{\circ}) = \frac{1}{\tan\left(a_{ap} + \frac{7,31}{a_{ap} + 4,4}\right)}$$

Pero da errores sistemáticos para alturas $\approx 12^{\circ}$ que se corrigen por:

$$R_c (^{\circ}) = R (^{\circ}) - 0,06 \sin (14,7R (^{\circ}) + 13).$$

La atmósfera real puede diferir de la calculada en condiciones anómalas (inversiones térmicas, espejismos).

Las condiciones standard son: $p = 1010$ hPa i $T = 10^{\circ}\text{C}$. En otras condiciones hay que corregir R por un factor F

$$f = (p/1010) (283/273 + T)$$

Depresión del horizonte: Un observador en O mide la altura de un astro sobre el horizonte visible o de la mar y no sobre el horizonte racional, por lo cual mide un ángulo mayor que $AOH_1 = Aah$.

- * Si no hubiese atmósfera mediría AOh_2
- * Per efecto de la refracción mide AOh_3

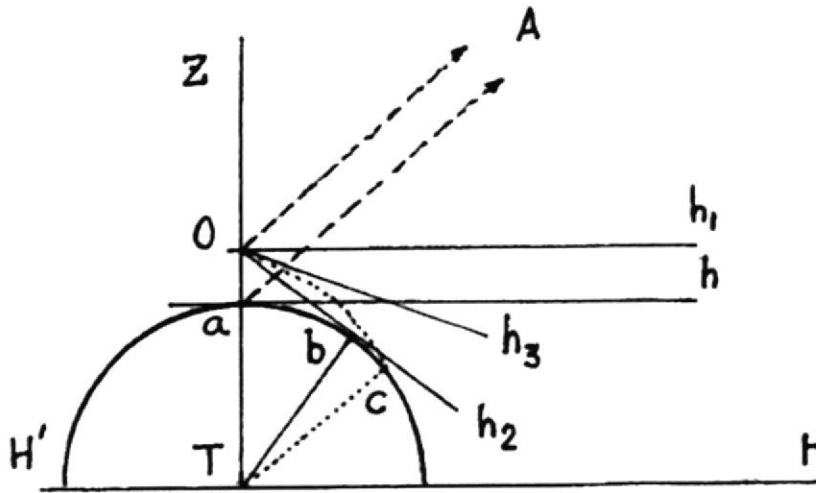


Gráfico III.- Ángulo AOh_3 ¹⁶

El ángulo $AOh_3 = AOh_1 + h_1Oh_3 = Aah + h_1Oh_3$

Dónde:

Aah es la altura aparente

h_1Oh_3 es la depresión aparente

AOh_3 es la altura observada

h_1Oh_2 es la depresión verdadera

Cálculo de la depresión aparente

De la figura; $h_1Oh_3 = h_1Oh_2 - h_2Oh_3$ así; $D_a = D_v - R_t$ donde R_t es la llamada refracción terrestre.

Si hacemos: $R_t = \alpha OTb$

Como $OTb = h_1Oh_2 = D_v$, tenemos: $R_t = \alpha D_v$

Donde α el llamado "coeficiente de refracción terrestre"

(Experimentalmente hallado por Delambre):

$\alpha = 0,08$ (0,0784) Así: $D_a = D_v - \alpha D_v = D_v (1 - \alpha)$

Suponiendo la Tierra esférica y de radio R:

$$\tan D_v = \frac{\sqrt{OT^2 - Ta^2}}{Ta} = \frac{\sqrt{(R + Oa)^2 - R^2}}{R} = \frac{\sqrt{2ROa + Oa^2}}{R}$$

Como Oa/R es muy pequeño, podemos despreciar el término cuadrático, y como además D_v es también muy pequeño: $\tan D_v$ (en radianes)

Entonces; $D_v = (2Oa/R)^{1/2}$.

En consecuencia; $D_a = (2Oa/R)^{1/2} (1 - \alpha)$ rad [1]

Recordando que:

$$1 \text{ rad} = 180/\pi = 180 \text{ } 60'/\pi = 10800'/\pi$$

Que la longitud de una circunferencia es: $L = 2 \pi R \rightarrow R = L/2 \pi$

Y que según la primera definición de metro: "cuarenta millonésima parte del meridiano terrestre",

$$R = L/2 \pi = 4 \times 10^7 \text{ m} / 2\pi$$

Sustituyendo en [1] tenemos:

$$D_a = \frac{10800'}{\pi} \sqrt{\frac{2Oa2\pi}{4 \times 10^7} (1 - \alpha)} = 1,92685 \sqrt{Oa(1 - \alpha)}$$

Y como el valor medio de $\alpha = 0,08$

Tenemos que: $D_a = 1,7757' (Oa)^{1/2} = 106,54'' (Oa)^{1/2}$

3.1.4 Correcciones astrales

Paralaje: Es el ángulo que subtiende el radio de la Tierra visto desde el astro.

El efecto de la paralaje es que hace disminuir las alturas. En el cenit es nula y en el horizonte es máxima. Para un observador en la superficie de la Tierra O, y un astro en A' la paralaje es el ángulo OA'T.

En el Gráfico IV

$A'TH = A'Bh = A'Oh + OA'T$ on:

$A'TH =$ altura verdadera

$A'Oh =$ altura aparente

$OA'T =$ paralaje

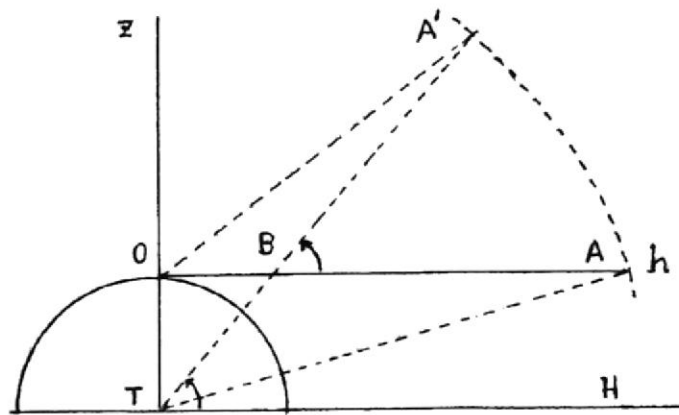


Gráfico IV.- Clases de Paralaje¹⁷

Clases de Paralaje:

Horizontal.- Cuando el astro se encuentra en el horizonte.

En altura.- Cuando el astro está a una altura dada por encima del horizonte.

Relación entre las dos: Del triángulo $OA'T$, por el teorema de los senos, tenemos:

$$\frac{OT}{\sin OA'T} = \frac{TA'}{\sin A'OT} \rightarrow \frac{OT}{TA'} = \frac{\sin OA'T}{\sin A'OT}$$

Siendo:

OT el radio de la Tierra R_t

$OA'T$ la paralaje en altura p

TA' la distancia entre los centros de los dos astros D

AOA' la altura aparente a

Así pues:

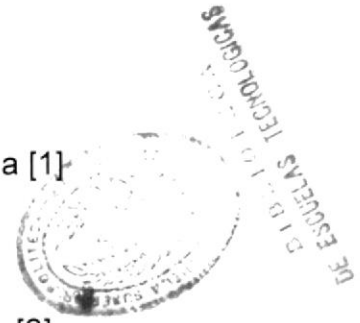
$$\frac{R_t}{D} = \frac{\sin p}{\sin(90 + a)} = \frac{\sin p}{\cos a} \rightarrow \sin p = \frac{R_t}{D} \cos a$$

Si p es muy pequeño, entonces $\sin p \approx p \rightarrow p = (R_t/D) \cos a$ [1]

A' está en el cenit $\rightarrow a = 90 \rightarrow \cos a = 0$

$D \rightarrow \infty$ (es el caso de las estrellas) $\rightarrow p \rightarrow 0$

A' está en el horizonte $A \rightarrow p_H = R_t/D$



[2]

Entre [1] y [2] tenemos: $p/p_H = \cos a$

Notas: Las estrellas, están muy lejos de la Tierra, ven a la Tierra como un punto y su paralaje es nula. El Sol y los planetas, más cercanos, ven a la Tierra muy pequeña (esférica) y tienen paralaje apreciable.

La Luna, mucho más cercana, percibe que la Tierra no es esférica, que tiene forma de un elipsoide oblató y su paralaje p varía con el radio local del observador en la superficie de la Tierra R .

Cuanto mayor sea el radio local, mayor será la paralaje. Como el radio máximo de la Tierra es el radio ecuatorial, la paralaje es máxima para un observador ecuatorial.

La paralaje horizontal ecuatorial será pues: $P_{HE} = R_{eq} / D$

Mientras que la paralaje horizontal a una latitud l será: $P_H = R_l / D$

La relación entre ambas se obtiene dividiendo ordenadamente:

$$\frac{P_{HE}}{P_H} = \frac{R_{eq}}{R_l} \rightarrow P_H = P_{HE} \frac{R_l}{R_{eq}}$$

Se puede demostrar que: $R_l = R_{eq} (1 - f \sin^2 l)$ donde f es el achatamiento del elipsoide terrestre.

$$f = R_{eq} - R_p / R_{eq} = 1/298,257 \ 1/300$$

Con lo que resulta: $P_H = P_{HE} (1 - f \sin^2 l)$

Semidiámetro: Al medir la altura de un astro, se ha de medir la altura del centro del astro.

Si las dimensiones del astro, visto desde la Tierra no son despreciables, se mide la altura de uno de sus limbos y se corrige esta altura por semidiámetro.

Se define semidiámetro como el ángulo que subtiende desde la Tierra, el radio angular del astro.

Clases de semidiámetro: Si el ángulo se mide desde el centro de la Tierra, tenemos el semidiámetro geocéntrico y si lo medimos desde la superficie de la Tierra tenemos el semidiámetro topocéntrico.

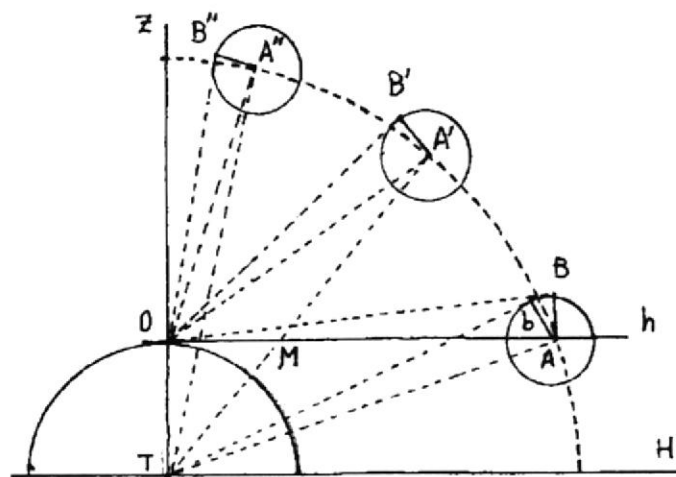


Gráfico V.- Triángulo TbA¹⁸

El semidiámetro geocéntrico se deduce del triángulo TbA.

$$\sin bTA = \sin SD_g = \frac{bA}{TA} = \frac{r}{D}$$

Donde r es el radio angular del astro y D la distancia del astro a la Tierra. Como el ángulo es pequeño: $\sin SD_g \approx SD_g = r/D$. Éste ángulo varía en razón inversa a la distancia de la Tierra.

El semidiámetro topocéntrico aumenta con la altura del astro sobre el horizonte.

En efecto, los triángulos OTA , OTA' , OTA'' ... tienen: un lado común: OT
 Los lados TA , TA' , TA'' ... iguales y como los ángulos comprendidos por ellos son cada vez más pequeños a medida que la altura del astro aumenta, los lados opuestos también han de ser cada vez más pequeños.

Es decir: la distancia del astro al observador se hace más pequeña y por tanto el semidiámetro aumenta. Podemos distinguir entre:

Semidiámetro topocéntrico horizontal BOA ; $\sin BOA = \sin SD_{Th} = r/D$ o aproximadamente $SD_{Th} = r/D$

Semidiámetro topocéntrico en altura $B'OA'$; $\sin B'OA' = \sin SD_{Ta} = r/d$ o aproximadamente $SD_{Ta} = r/d$ Así: $OA/OA' = D/d = SD_{Ta} / SD_{Th}$.

Relación entre semidiámetro y paralaje.

En el triángulo $OA'T$ por el teorema de los senos, tenemos que:

$$\frac{OA'}{OT} = \frac{\sin OTA'}{\sin OTA'T} \rightarrow OA' = OT \frac{\sin OTA'}{\sin OA'T}$$

Calculemos OTA' : $OTA' = 90 - A'HT = 90 - A'Mh$

Pero $A'Mh$ al ser un ángulo exterior del triángulo $A'MO$ será:

$A'Mh = A'Oh + OA'T$ de forma que: $OTA' = 90 - (A'Oh + OA'T) = 90 - (a + p)$

Y de esta manera: $OA' = OT \frac{\cos(a + p)}{\sin p}$ siendo: $OA = TH = D$

Si dividimos ordenadamente, teniendo en cuenta que $OT = R_t$ obtenemos:

$$\frac{SD_g}{SD_t} = \frac{OA'}{OA} = \frac{\sin P_{HE}}{\sin p} (\cos a - p \sin a) = 1 - \sin P_{HE} \sin a$$

Como p es un ángulo pequeño $\sin p \approx p$ y $\cos p \approx 1$ y además:

$\sin P_{HE} / \sin p = 1 / \cos a$.

Y entonces: $SD_t = SD_g \frac{1}{1 - \sin P_{HE} \sin a} \cong SD_g (1 + \sin P_{HE} \sin a + \dots)$

Como la P_{HE} máxima de la Luna es $62'$ y $\sin 62' \approx 1/55$, despreciando los términos superiores al segundo tenemos: $SD_t = SD_g (1 + \sin a/55)$

CONCLUSIONES

El sextante marino es el instrumento de mano más preciso de medida de ángulos ideado hasta la actualidad.

Con la alidada a cero, se comprueba que el tornillo de presión esté aflojado (o que tengamos la palanca del tambor bien apretada).

Para tomar la altura de un astro, el sextante se sujeta verticalmente con una mano y se dirige la mirada por el anteojo hacia la vertical del astro en el horizonte

El error de falta de perpendicularidad se debe a que el espejo grande no es perpendicular al plano del bastidor.

Cuando hay un error de falta de perpendicularidad, el arco del sextante que parece continuar sin interrupción en el espejo, entonces los dos puntos de vista parecen estar rotas.

El error lateral es originado por falta de perpendicularidad del espejo horizonte con el bastidor. Si las imágenes se superponen, no hay error, si se ven una al lado de la otra hay error.

El error de índice es debido a que los espejos no son exactamente paralelos cuando el índice de la alidada marca 0° . Si la imagen directa y la reflejada no coinciden, hay error.

Es importante aplicar paso a paso cada solución y corrección, para obtener una mejor lectura en el sextante marino.

RECOMENDACIONES

El error de falta de perpendicularidad se comprueba poniendo el sextante plano encima de una mesa, se mueve la alidada hasta que la línea de fe nos marque aproximadamente $45^{\circ} 50^{\circ}$.

El error de falta de perpendicularidad también se puede corregir ajustando el espejo hasta que la reflexión y la visión directa del arco parece ser continua.

Para ver si hay error lateral, se ajusta la alidada a 0° y se enfoca el sextante a un punto lejano. Se hacen los ajustes finos necesarios hasta que las imágenes real y reflejada queden superpuestas.

El error de índice se descubre igual que el error lateral. Se lleva el índice a 0° y miramos el horizonte con el sextante vertical (se puede mirar a un punto lejano). La imagen directa y la reflejada tienen que coincidir.

El aprendizaje y manejo del sextante marino debe ser obligatorio para los estudiantes de tecnología pesquera, ya que la tradición y la tecnología juegan un papel importante en la preparación profesional del estudiante.

BIBLIOGRAFÍA

- El Sextante .EL Portal de los Barcos [en línea]. España. [Fecha de acceso 10 de JUNIO de 2011]. URL disponible en:
http://www.elportaldelosbarcos.com.ar/sistema/pagina_submenu.php?opcion=389&id_menus=37&id_submenu=389
- Como funciona un Sextante. Wiki [en línea]. [Fecha de acceso 10 de JUNIO de 2011]. URL disponible en:
http://es.ingenieriatopografica.wikia.com/wiki/Como_funciona_un_sextante
- Sextante-Teoría y Ajuste. scribd [en línea]. [Fecha de acceso 10 de JUNIO de 2011]. URL disponible en:
<http://es.scribd.com/doc/25112152/Sextante-Teoria-y-Ajuste>
- El Sextante. Rodamedia [en línea]. [Fecha de acceso 10 de JUNIO de 2011]. URL disponible en:
<http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>

¹Construido por John Bird a instancias de John Campbell.

<http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>

²Desde 1732 los constructores de Instrumentos empezaron a fabricar horizontes artificiales.

<http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>

³Entre los accesorios "modernos" tenemos el espejo pequeño "todo horizonte"; una lente astigmática que distorsiona la imagen de las estrellas y la convierte en una línea recta para alinearla mejor con el horizonte

<http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>

⁴ <http://es.scribd.com/doc/25112152/sextante-teoria-y-ajust>

⁵ <http://es.scribd.com/doc/25112152/sextante-teoria-y-ajuste>

⁶ <http://es.scribd.com/doc/25112152/sextante-teoria-y-ajuste>

⁷ <http://es.scribd.com/doc/48502251/INTRODUCCION-A-LA-NAVEGACIONASTRONOMICA>

⁸El sextante plano encima de una mesa

<http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>

⁹ Error de perpendicularidad.

<http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>

¹⁰ <http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>

¹¹Si la imagen directa y la reflejada no coinciden, hay error.

<http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>

¹²El horizonte real y el reflejado formen una línea recta.

<http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>

¹³ <http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>

¹⁴Se busca la coincidencia de las imágenes directa y reflejada del disco solar.

<http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>

¹⁵Debido a la diferencia de densidad de las sucesivas capas atmosféricas, la luz que proviene de un astro no se propaga en línea recta, sino que sufre refracciones sucesivas y se curva.

<http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>

¹⁶<http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>

¹⁷<http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>

¹⁸<http://www.rodamedia.com/navastro/boufort/sextante.pdf>