

SHOA PUB. 3202

INSTRUCCIONES

OCEANOGRÁFICAS Nº 2

MÉTODO OFICIAL PARA EL CÁLCULO

DE LOS VALORES NO ARMÓNICOS DE LA MAREA

2ª EDICIÓN

1999



ARMADA DE CHILE
SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO

INSTRUCCIONES

OCEANOGRÁFICAS N^o 2

MÉTODO OFICIAL PARA EL CÁLCULO
DE LOS VALORES NO ARMÓNICOS DE LA MAREA

2^a EDICIÓN

1999



ARMADA DE CHILE
SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO

TABLA DE MATERIAS

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	5
II. MÉTODO OFICIAL PARA EL CÁLCULO DE LOS VALORES NO-ARMÓNICOS DE LA MAREA	5
2.1 Generalidades	5
2.2 Planos de Referencia de la Marea	6
2.2.1 Nivel Medio del Mar	7
2.2.2 Formulario de las Pleamares y las Bajamares	10
2.2.3 Nivel Medio de la Marea	10
2.2.4 Altura Media de la Pleamar	10
2.2.5 Altura Media de la Pleamar más Alta	11
2.2.6 Altura Media de la Bajamar	11
2.2.7 Altura Media de la Bajamar más Baja	12
2.2.8 Nivel de Reducción de Sondas (N.R.S.)	12
2.2.9 Cotas de Marea y Control del Nivel Cero	13
2.3 Rangos de la Marea	14
2.3.1 Rango Medio de la Marea	14
2.3.2 Rango de la Marea en Sicigias	15
2.3.3 Desigualdad Media Diurna	15
2.4 Intervalos de Tiempo	16
2.4.1 Intervalo Mareo-Lunar Local	16
2.4.2 Establecimiento del Puerto (E. del P.)	17
ANEXO 1 ALTURAS HORARIAS DEL NIVEL DEL MAR EN CENTÍMETROS	19
ANEXO 2 HORA Y ALTURA DE LA MAREA	21
ANEXO 3 TABLA PARA REDUCIR INTERVALOS DE GREENWICH A INTERVALOS LOCALES	23

EN BLANCO

I. INTRODUCCIÓN

El Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), de acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo M.D.N. (S.S.M.) N° 192 de fecha 6 de marzo de 1969, constituye el servicio oficial, técnico y permanente del Estado para dirigir y controlar las observaciones de marea que se llevan a efecto a lo largo del litoral chileno.

Para la redacción de estas Instrucciones Oceanográficas se tuvo presente las recomendaciones que al respecto establece la Oficina Hidrográfica Internacional en sus Resoluciones Técnicas contenidas en el Repertorio de 1983, capítulo A, sección 6 y las propias experiencias obtenidas a través de los años por el SHOA.

El objetivo de esta segunda edición, que reemplaza a la versión editada en 1962, es el de proporcionar los mayores elementos de juicio posible, a utilizar en la etapa de procesamiento de los registros de marea que se obtienen, ya sea para ayuda a la navegación, como para la determinación de parámetros básicos de referencia que se utilizan en la ingeniería portuaria.

II. MÉTODO OFICIAL PARA EL CÁLCULO DE LOS VALORES NO-ARMÓNICOS DE LA MAREA

2.1 GENERALIDADES

Los valores no-armónicos de la marea corresponden al conjunto de parámetros que permiten describir cabalmente el comportamiento de la marea en una localidad cualquiera, siendo inferidos directamente de las observaciones efectuadas en terreno.

La observación del ascenso y descenso periódico del nivel del mar, se realiza ya sea utilizando diversos tipos de mareógrafos automáticos o mediante dispositivos que requieren la atención constante de un observador que controle a intervalos discretos la altura de la marea, dispositivos conocidos como mareómetros, entre los que se destaca la conocida regla de marea.

Independientes del sistema de observación utilizado, los datos registrados deben ser sometidos previamente a un control de calidad que asegure la validez científica de la información que pueda ser deducida de los mismos.

Cada uno de estos valores tiene su importancia y su aplicación en los cálculos de mareas, prestando un valioso apoyo al navegante y permitiendo al ingeniero la determinación de planos de referencia y rangos de marea necesarios en la construcción de obras civiles, donde las condiciones de este fenómeno constituyen un factor de importancia.

En un instante cualquiera el nivel del mar observado se puede considerar como la suma de tres partes componentes:

Nivel Medio del Mar + Marea + Residuos Meteorológicos

Cada una de estas partes componentes responde a procesos físicos separados y las variaciones que cada componente experimente son esencialmente independiente de las otras.

El Nivel Medio del Mar es un plano que se extrae de las observaciones horarias del nivel del mar efectuadas en un lugar cualquiera y el procedimiento utilizado para su obtención será detallado posteriormente, cuando se definan los diversos planos del nivel del mar.

La marea es el movimiento periódico de ascenso y descenso del nivel del mar. Esta onda de marea es fundamentalmente la manifestación de las fuerzas de atracción gravitacional que ejercen los cuerpos celestes sobre la Tierra en rotación, en especial la Luna y el Sol, lo cual es conocido como "marea gravitacional". Sin embargo, también existe una marea más débil originada por variaciones periódicas de la presión atmosférica y de vientos que van en dirección mar-tierra o viceversa. Esta es una marea meteorológica y su importancia relativa dependerá de la época del año, de la latitud y de la proximidad de extensas áreas de aguas someras.

Estos residuos meteorológicos ajenos a la marea son irregulares y deben ser considerados en el análisis que se efectúe, pues los efectos del clima imperante en una determinada localidad pueden ocasionar que el nivel del mar observado se aparte notoriamente de los niveles previstos. Como ejemplo de lo anterior, se puede citar que un incremento de un milibar de presión atmosférica se traduce en una disminución de un centímetro en el nivel del mar. Por otra parte, el arrastre del viento sobre la superficie del mar pone el agua en movimiento; cuando este volumen transportado es obstaculizado por fronteras terrestres, se produce un incremento del nivel del mar.

Estudios desarrollados a la fecha indican que las desviaciones típicas normales de los niveles observados respecto de los niveles de marea previstos o pronosticados, varían entre 0,03 m. en las islas tropicales oceánicas y 0,25 m. o más en altas latitudes tormentosas donde las plataformas continentales son poco profundas.

En nuestro país, estos factores meteorológicos cobran gran importancia de Puerto Montt al sur, debido a las severas condiciones meteorológicas típicas de la zona, además de la especial conformación de los canales australes interiores. Es así, que al determinar residuos meteorológicos en datos del nivel del mar correspondientes a altas latitudes, se han detectado desviaciones de hasta 0,60 m. con respecto a los niveles normales de la marea.

A continuación, se definen los valores no-armónicos de la marea y se detalla el procedimiento de cálculo de cada uno de estos parámetros, utilizando para ello los datos de nivel del mar recolectados en la estación de marea de Antofagasta, la cual forma parte de la red mareográfica nacional.

2.2 PLANOS DE REFERENCIA DE LA MAREA

Los planos de referencia de la marea son aquellos planos que se infieren en base al fenómeno de ascenso y descenso periódico del nivel del mar, recibiendo cada uno de ellos una denominación particular.

Los principales planos de la marea se muestran en la figura 1, la cual esquematiza los diferentes niveles que alcanza la marea durante el período de observación con respecto a un plano arbitrario definido por el cero del instrumento registrador o el cero de la regla de marea.

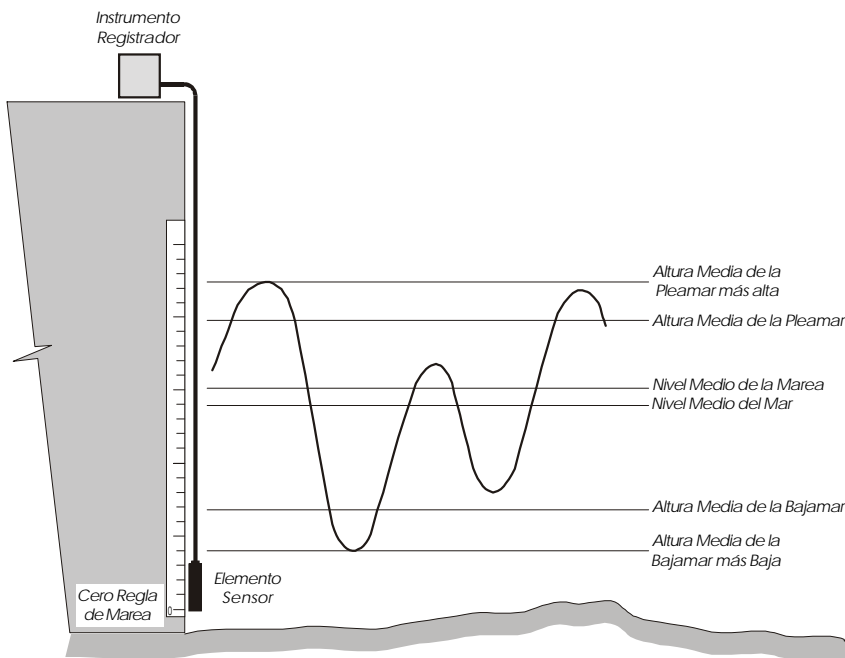


Figura 1.- Principales planos de la marea.

Dado que el factor predominante en la generación de la marea es la variación del campo gravitacional sobre la superficie terrestre, debido a los movimientos planetarios regulares en las relaciones Tierra-Luna y Tierra-Sol, se recomienda para la obtención de valores representativos de los diferentes planos de la marea, una longitud del registro mareal de a lo menos treinta días de observación; período que asegura la ocurrencia de las cuatro fases lunares, luna nueva y luna llena (sicigias), cuarto creciente y cuarto menguante (cuadraturas).

La figura 2 muestra en forma gráfica las alturas horarias de la marea observadas durante el mes de noviembre de 1997, en diversas localidades a lo largo de la costa de Chile.

2.2.1 Nivel Medio del Mar

El nivel medio del mar se calcula en base a la observación horaria de la altura de la marea y puede ser definido en una primera aproximación como el plano en torno al cual oscila la marea. El método más sencillo consiste en determinar el promedio aritmético, pero hay métodos más elaborados, tales como la aplicación de filtros numéricos de paso bajo para eliminar las mareas y oleajes antes de obtener el promedio. Para fines prácticos, el nivel medio del mar corresponde al promedio de las alturas horarias de la marea y puede ser diario, semanal, mensual y anual.

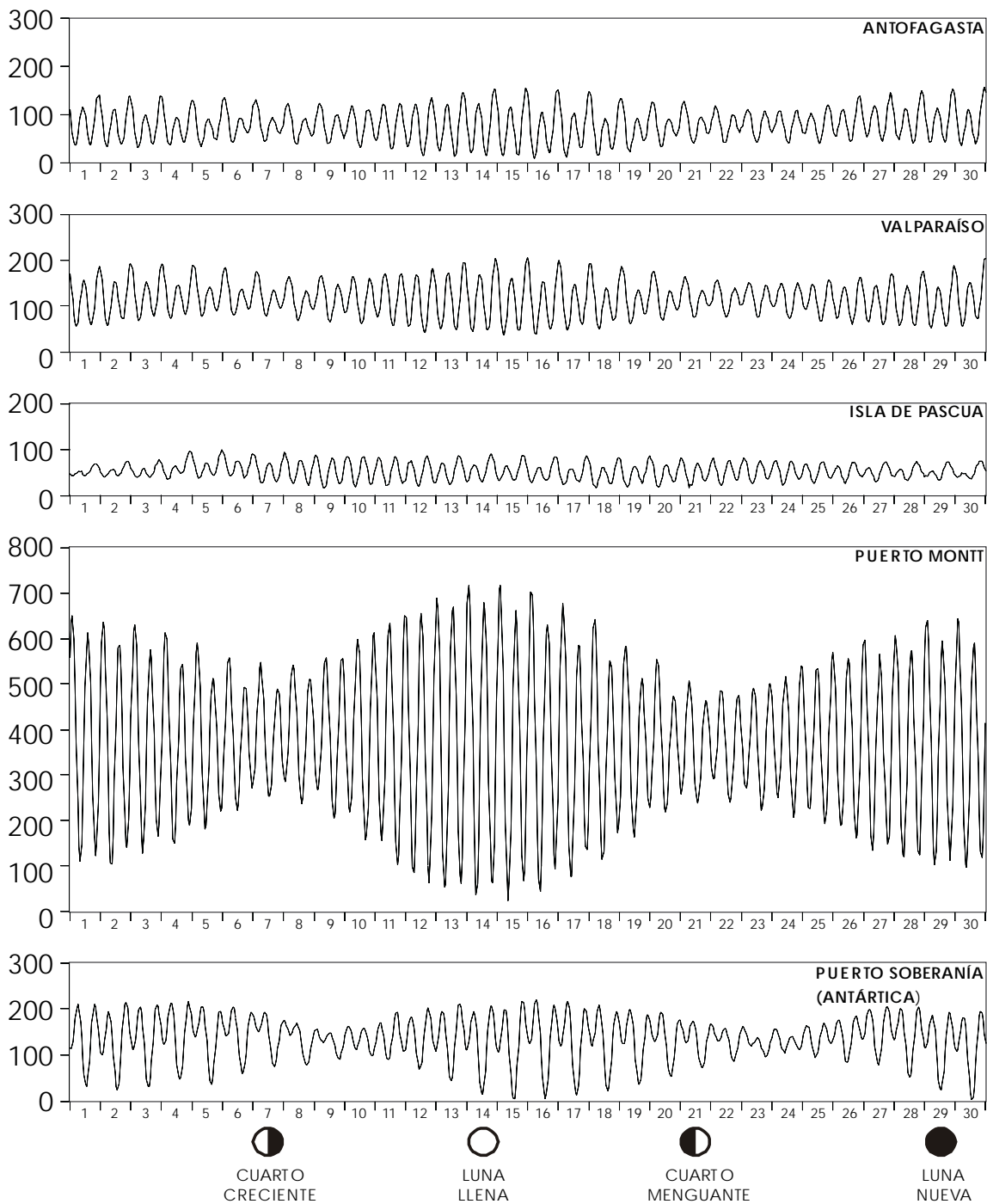


Figura 2.- Ejemplos de alturas horarias de la marea a lo largo de la costa de Chile.

La figura 3 muestra para la estación de marea de Antofagasta las anomalías del nivel mensual del mar en el periodo 1980-1998. Se puede observar las variaciones con respecto al nivel medio del mar histórico de Antofagasta, destacando aquellas correspondientes a los períodos de ocurrencia del fenómeno "El Niño".

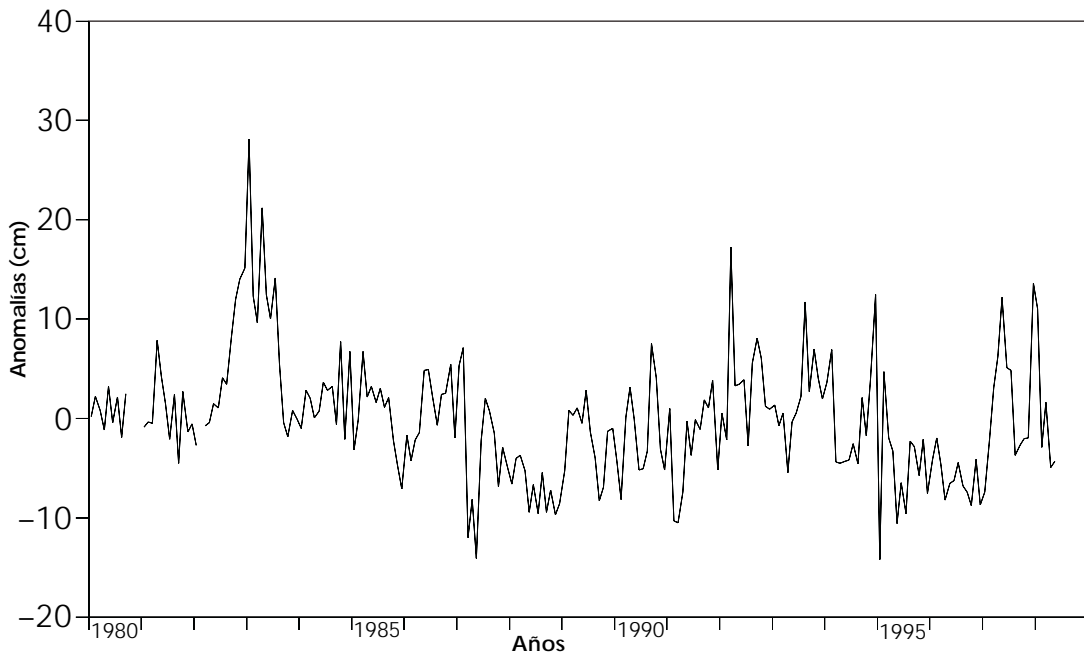


Figura 3.- Anomalías del nivel mensual del mar en el período 1980-1998, en la estación Antofagasta.

Las variaciones anuales y semianuales del nivel del mar que se observan en la figura 3 se deben fundamentalmente a los cambios estacionales de presión atmosférica, de densidad del agua y de circulación del océano.

Si no hubiera variaciones de densidad y circulación de los océanos, la superficie marina adoptaría una forma denominada geoide, superficie a la cual se refieren las alturas topográficas. Sin embargo, hay variaciones de densidad y corrientes que hacen que el nivel medio del mar real varíe hasta un metro del geoide. Por lo anterior, se debe tener presente que el plano de nivel medio del mar extraído de una serie corta de observación de la marea, corresponde a un plano local que puede diferir del nivel medio del mar determinado a partir de una serie de tiempo más extensa de observaciones horarias de la marea.

En el Anexo 1 se muestran los valores de alturas horarias del nivel del mar para las observaciones realizadas en Antofagasta durante el mes de noviembre de 1997. Los valores se tabulan desde las 0 horas hasta las 23 horas y para el cálculo solamente se emplean días enteros y consecutivos. En este caso se observó durante 30 días completos lo que equivale a $30 \times 24 = 720$ alturas horarias. A su vez, la suma de las alturas horarias durante ese período es de 1969,65 m; luego el nivel medio del mar local se obtiene como:

$$\text{Nivel Medio del Mar} = \frac{1969,65}{720} = 2,736 \text{ m. sobre el cero instrumental.}$$

2.2.2 Formulario de las Pleamares y Bajamares

En el Anexo 2 se muestra en formato de pleamares y bajamares, la tabulación de los valores que posibilitan la obtención del nivel medio de la marea, el intervalo mareo lunar, y otros parámetros no-armónicos que se detallarán posteriormente. Estos valores se extraen de las mareas observadas en Antofagasta durante el mes de noviembre de 1997 y en el caso de los valores astronómicos éstos corresponden al paso de la luna por el meridiano de Greenwich.

La hora de ocurrencia de las pleamares, bajamares y pasos lunares por el meridiano de Greenwich se expresará en horas y décimos de hora, numeradas consecutivamente desde 0 (medianoche) hasta 23 (11 p.m.). Una pleamar o bajamar que ocurra a la medianoche (hora 0) se considera que pertenece al día que comienza en ese momento. Cuando se registre una sola pleamar o una sola bajamar en un día del calendario, el espacio no usado deberá marcarse con una raya diagonal.

Las alturas de la pleamar y bajamar se tabularán en metros utilizando dos decimales, y se refieren a un plano de referencia uniforme durante toda la serie de observaciones. Lo más adecuado será tomar como plano de referencia el cero del instrumento o el cero de la regla de marea utilizada.

Se utilizará exclusivamente la hora estándar correspondiente al meridiano del lugar (para el caso de Chile 60° W, Z+4), sin tomar en cuenta el adelanto horario que pudiere ocurrir a lo largo del año.

2.2.3 Nivel Medio de la Marea

El plano definido como nivel medio de la marea corresponde al promedio de todas las pleamares y bajamares registradas durante el período de observación. Este valor es muy próximo al ya definido nivel medio del mar, sin embargo difieren en su procedimiento de cálculo.

En base a los datos del ejemplo incluido en Anexo 2 se procede como sigue :

Suma de las pleamares	= 185,25 m.	Número de pleamares	= 58
Suma de las bajamares	= 134,25 m.	Número de bajamares	= 58
Suma total	= 319,50 m.	Total de ocurrencias	= 116

$$\text{Nivel Medio de la Marea} = \frac{319,50}{116} = 2,75 \text{ m. sobre el cero instrumental.}$$

2.2.4 Altura Media de la Pleamar

El plano definido como altura media de la pleamar corresponde al promedio de todas las pleamares registradas durante el período de observación.

Para el puerto de Antofagasta durante el mes de noviembre de 1997 se obtuvo los siguientes valores:

$$\text{Altura Media de la Pleamar} = \frac{185,25}{58} = 3,19 \text{ m.}$$

2.2.5 Altura Media de la Pleamar Más Alta

En la costa de Chile la marea se presenta preferentemente con una notoria diferencia de altura entre dos pleas consecutivas. De las dos pleamares que se presentan en un día, se designará la de mayor altura como la pleamar más alta y la de menor altura como la pleamar más baja respectivamente. En el formulario de pleas y bajas, las pleamares más altas se indicarán convenientemente y cuando en un día la plea A.M. y la plea P.M. alcancen la misma altura se adoptará cualquiera de ellas como la pleamar más alta de ese día.

El promedio de las pleamares más altas durante el período de observación de la marea será definido como altura media de la pleamar más alta.

El componente diurno más importante de la marea tiene una periodicidad de 24 h. 50 min., que corresponde al tiempo entre dos pasadas sucesivas de la luna sobre el mismo meridiano. Debido a lo anterior existirán días calendario en los cuales se presente sólo una pleamar, ocurriendo la siguiente pleamar después de medianoche, vale decir, al siguiente día. En este caso se procederá dándole a la única pleamar que se presenta en ese día calendario el nombre opuesto de la inmediatamente anterior o posterior, esto es, si la inmediatamente anterior pleamar fue la pleamar más baja durante el día anterior, entonces la única pleamar será denominada la pleamar más alta para ese día y viceversa.

De acuerdo al ejemplo se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Suma de las alturas de pleamar más alta} &= 93,52 \text{ m.} \\ \text{Número de ocurrencias de pleamares más altas} &= 28 \end{aligned}$$

$$\text{Altura Media de la Pleamar más Alta} = \frac{93,52}{28} = 3,34 \text{ m.}$$

2.2.6 Altura Media de la Bajamar

El plano definido como altura media de la bajamar corresponde al promedio de todas las bajamares registradas durante el período de observación.

Para el puerto de Antofagasta durante el mes de noviembre de 1997 se obtuvo los siguientes valores:

$$\begin{aligned} \text{Suma de las bajamares} &= 134,25 \text{ m.} \\ \text{Número de ocurrencias} &= 58 \end{aligned}$$

$$\text{Altura Media de la Bajamar} = \frac{134,25}{58} = 2,31 \text{ m.}$$

2.2.7 Altura Media de la Bajamar Más Baja

Al igual que en el caso de la pleamar, la bajamar presenta un comportamiento similar exhibiendo la presencia de dos bajamares en el día con diferente altura. Se distinguirán llamando a la de mayor altura

como bajamar más alta y a la de menor altura como la bajamar más baja respectivamente.

El promedio de las bajamares más bajas durante el periodo de observación de la marea, será definido como altura media de la bajamar más baja.

El procedimiento es similar al detallado en 2.2.5 para el caso de la pleamar más alta. De esta manera se tiene para el puerto de Antofagasta durante el mes de noviembre 1997:

$$\begin{aligned} \text{Suma de las alturas de bajamar más baja} &= 67,64 \text{ m.} \\ \text{Número de ocurrencias de bajamar más baja} &= 30 \end{aligned}$$

$$\text{Altura Media de la Bajamar más Baja} = \frac{67,64}{30} = 2,25 \text{ m.}$$

2.2.8 Nivel de Reducción de Sondas (N.R.S.)

Es el plano al cual están referidas las sondas o profundidades de una localidad. Las necesidades de navegación requieren que la carta náutica en la cual se insertan las sondas muestre la mínima profundidad que se puede encontrar en un punto, por lo tanto, usualmente se adopta como "dátum de la carta" algún nivel relacionado con las bajamares.

Al no existir uniformidad en cuanto a la elección de este plano, se reconoció internacionalmente que "el dátum de marea de la carta náutica debería ser un plano tan bajo que la marea rara vez descendería bajo éste". Normalmente, el dátum de la carta náutica es también el dátum utilizado en las predicciones de marea que se incluyen en las tablas de marea.

Cada país adopta el N.R.S. de acuerdo a las características del régimen de marea de sus costas. Dado que el tipo de marea que predomina en el litoral chileno corresponde al de "marea semidiurna mixta", se adoptó para nuestras costas como nivel de reducción de sondas el plano determinado por la mayor bajamar en sicigias estando la Luna en perigeo.

Al igual que otros planos mareales, la exactitud que se obtenga en la determinación del N.R.S. dependerá de lo extenso del período durante el que se observó la marea.

De acuerdo a este criterio conservador, al disponerse de una serie de observación de la marea de corto período, una buena aproximación en la determinación del N.R.S. la entrega el nivel que alcanza la mayor bajamar registrada en el período.

Del Anexo 2 se extrae un valor de 2,05 metros sobre el cero de medida como la bajamar más baja observada en Antofagasta el día 16 de noviembre de 1997. Nótese que la luna llena ocurrió dos días antes, el 14 de noviembre. Factores meteorológicos y/o geomorfológicos pueden ocasionar que la mayor bajamar en una localidad ocurra en días apartados de las sicigias y perigeos, por lo que siempre se adoptará el valor más bajo alcanzado por la bajamar en el período de observación como el N.R.S. Otros procedimientos que permiten obtener una mejor aproximación a estos dátum, los cuales se basan en el análisis armónico de la marea o técnicas estadísticas, escapan a los propósitos de este manual.

2.2.9 Cotas de Marea y Control del Nivel Cero

Al realizar observaciones de la marea, es imprescindible instalar un sistema de cotas a las cuales se puedan referir los planos de marea anteriormente detallados. Como cota se utiliza normalmente un disco de bronce debidamente identificado, el cual se instala en una superficie estable tal como una roca expuesta, el muro de un malecón o una construcción notable. Estas cotas, distribuidas en número de 5 en las estaciones primarias de marea (observaciones de largo periodo) y 2 en las estaciones secundarias de marea (observación de corto periodo), representan puntos supuestamente invariables que se utilizarán como referencia para las elevaciones.

Mediante una nivelación diferencial se establece la diferencia entre el cero del registro instrumental de la marea y estas marcas terrestres, transformándose estas marcas en "COTAS FIJAS DE MAREA", las cuales deben ser verificadas periódicamente cuando se trate de observaciones de largo periodo. De esta manera, si las observaciones llegan a su término habiéndose retirado la regla de marea o el nivel cero del registro es alterado durante el transcurso de la observación, siempre será posible recuperar el nivel cero original o determinar la diferencia entre diferentes niveles cero de medida a partir de nivelaciones efectuadas oportunamente.

La figura 4 esquematiza los planos de marea más utilizados, obtenidos de un mes de observaciones del nivel del mar efectuados en Antofagasta y referidos a la cota fija de marea N° 8. La nivelación efectuada el día 1 de noviembre de 1997 entregó como diferencia de altura entre la cota fija N° 8 y el cero de la escala de marea un valor de 6,899 metros.

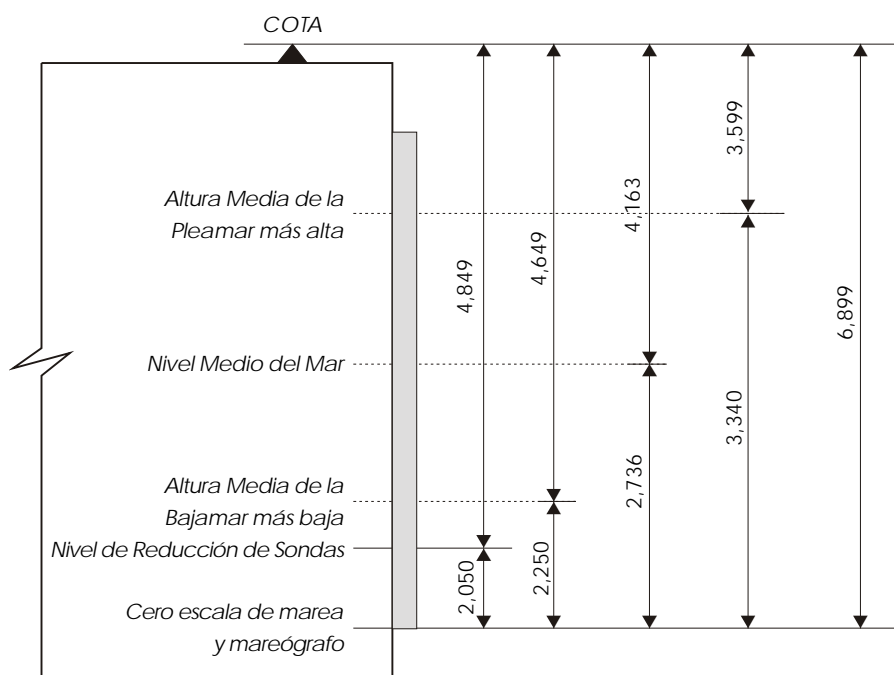


Figura 4.- Esquema de los planos de marea.

La figura 5 muestra un procedimiento sencillo de la nivelación diferencial utilizada como metodología para vincular y obtener la diferencia de altura entre la cota fija de marea y el cero de la regla de marea.

Se puede determinar la altura de la cota fija sobre el cero de la regla de marea como:

$$A = L + (a - b) + (c - d)$$

En ocasiones la cota se encuentra distante de la regla de marea por lo que será necesario ejecutar varios tramos de nivelación utilizando puntos intermedios (P.I.) debidamente señalados.

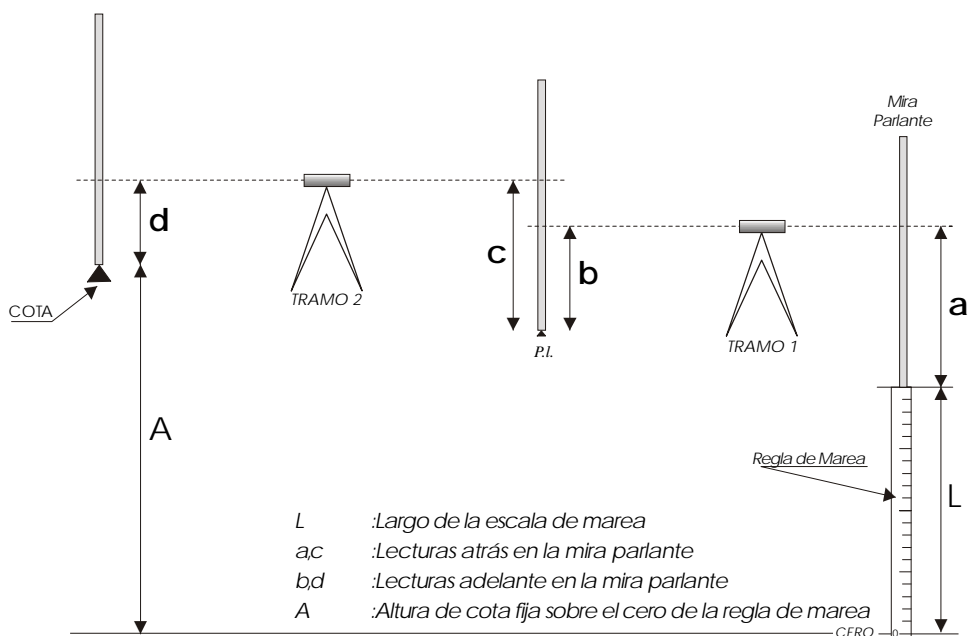


Figura 5.- Procedimiento para realizar la nivelación diferencial.

2.3 RANGOS DE LA MAREA

2.3.1 Rango Medio de la Marea

Se define el rango de la marea como la diferencia de altura entre pleamares y bajamares consecutivas.

Para el puerto de Antofagasta durante el mes de noviembre de 1997, el rango medio de la marea se obtendrá como:

Altura Media de la Pleamar	=	3,19 m.
Altura Media de la Bajamar	=	-2,31 m.
Rango Medio de la Marea	=	0,88 m.

2.3.2 Rango de la Marea en Sicigias

Se denominan sicigias a las fases de luna llena o nueva. En estos días, coincidirán la marea solar y marea lunar, pues la luna, el sol y la tierra se encuentran en línea recta en la esfera celeste, produciéndose de esta manera pleamares más altas y bajamares más bajas que lo usual, dando por resultado un mayor rango de marea en estas fechas.

En la práctica, las mareas de sicigias no ocurren en los días de luna nueva o luna llena, sino uno o dos días más tarde, retardo que se produce debido fundamentalmente a la inercia de las aguas. Este retardo se denomina "edad de la desigualdad de la fase" y más comúnmente se le llama "edad de la marea".

La media de estos rangos mareales de sicigias, se denomina Rango Medio de la Marea en Sicigias.

Durante el mes de noviembre de 1997 en el puerto de Antofagasta se registran los siguientes rangos máximos de la marea en condiciones de sicigias:

1,50 m. (15/11/97)
1,20 m. (30/11/97)
Suma = 2,70 m.

$$\text{Rango Medio de la Marea en Sicigias} = \frac{2,70}{2} = 1,35 \text{ m.}$$

2.3.3 Desigualdad Media Diurna

Se define la desigualdad diurna como la diferencia de altura entre las pleamares o bajamares, según sea el caso, de un día mareal. A su vez se denomina desigualdad media diurna de la pleamar y bajar al parámetro que corresponde a la mitad de la diferencia promedio entre las dos pleamares o bajamares de cada día mareal. En la práctica, la desigualdad media diurna de la pleamar se obtiene restando la altura media de la pleamar de la altura media de la pleamar más alta. Análogamente, la desigualdad media diurna de la bajar se obtiene restando la altura media de la bajar más baja de la altura media de la bajar.

La Luna se mueve en una órbita que intercepta el plano del ecuador con un ángulo de aproximadamente 23',5 E, por lo tanto, durante el mes la declinación de la Luna cambia constantemente lo que se traduce en una variación en los rangos consecutivos de la marea. Cuando la Luna está sobre el ecuador, vale decir, cuando la declinación es pequeña, las alturas de la pleamar A.M. y P.M. son sensiblemente similares y el valor de la desigualdad es casi nulo. Estas mareas se llaman "mareas ecuatoriales".

Cuando la Luna tiene su máxima declinación norte o sur, ocurren las mayores desigualdades, estas mareas se llaman "mareas tropicales".

De acuerdo a los valores ya obtenidos para el puerto de Antofagasta se tiene:

Altura media de la pleamar más alta	=	3,34	m.
Altura media de la pleamar	=	-3,19	m.
Desigualdad media diurna de la pleamar	=	0,15	m.
Altura media de la bajamar	=	2,31	m.
Altura media de la bajamar más baja	=	-2,25	m.
Desigualdad media diurna de la bajamar	=	0,06	m.

2.4 INTERVALOS DE TIEMPO

La observación metódica de la marea permite determinar la hora de ocurrencia de la pleamar y bajamar, valores que pueden ser relacionados con condiciones astronómicas, obteniéndose diferencias de tiempo que nos permitirán determinar a futuro, en base a un parámetro astronómico, la hora más probable de ocurrencia de la pleamar y bajamar en una localidad cualquiera.

2.4.1 Intervalo Mareo-Lunar Local

Se define el intervalo mareo-lunar local como el tiempo transcurrido entre el paso de la luna por el meridiano del lugar y la hora en que ocurre la siguiente pleamar o bajamar en un punto del mismo meridiano. Los intervalos para la pleamar y la bajamar deben obtenerse separadamente.

Usualmente se utilizará para el cálculo de los intervalos mareo-lunares los tránsitos de la luna por el meridiano de Greenwich en horas y décimos de hora, datos que pueden ser extraídos de publicaciones especializadas, editadas por el SHOA, como el "Almanaque Náutico", "Tablas de Marea", etc.

A la hora de cada pleamar o bajamar se le restará la hora del primer tránsito anterior de la Luna, y se anotará la diferencia en la columna apropiada del formulario en la misma línea de la marea de la cual se obtuvo. En caso de que la hora de la bajamar y la pleamar sea casi la misma del tránsito de la Luna se tomará el tránsito que precede a la marea en unas 12 horas, pero en ningún caso se usará el mismo tránsito para dos pleamares o dos bajamares consecutivos. Cuando el tránsito lunar ocurre en un día y la siguiente pleamar o bajamar acontece al siguiente día, hay que agregar 24 horas a la hora de esta marea previo a la resta de la hora del tránsito.

Los intervalos de pleamar y bajamar para el período de observación se suman por separado obteniéndose los promedios de intervalo mareo-lunar sin corregir.

En este cálculo hemos empleado el tránsito de la luna por el meridiano de Greenwich, mientras que las pleamares y bajamares se dan en la hora estándar del lugar en que se hacen las observaciones. Por lo tanto, para obtener los intervalos

mareo-lunares de Greenwich es necesario aplicar una corrección que corresponda al meridiano de tiempo del lugar de observación, sumando esta corrección cuando se trate de longitud oeste, y restándola cuando se trate de longitud este.

A su vez, para reducir el intervalo de Greenwich al intervalo local, se hace necesario aplicar una corrección equivalente al tiempo requerido para que la Luna pase del meridiano de Greenwich al meridiano del lugar en que se efectúan las observaciones.

El Anexo 3 incluye una tabla conteniendo la corrección para grados y minutos de longitud. Si se desea calcular este valor se debe tener presente que el retardo medio diario que experimenta la Luna es de 0,84 horas, cada hora será $0,84 : 24 = 0,035$ horas. Si la longitud de Antofagasta es de $70^{\circ} 25' W = 4,69$ horas W, el tiempo que tarda la Luna en recorrer del meridiano de Greenwich al meridiano del lugar será igual a $4,69 + 4,69 * 0,035 = 4,85$ horas. Al cambiar de Greenwich a intervalos locales, debe sustraerse esta corrección si el lugar de observación está en una longitud oeste, y sumarse si está en una longitud este.

Como los intervalos locales deben ser positivos y menores que el medio día lunar, puede sumarse o sustraerse el período lunar semidiurno de 12,42 horas según se desee.

Intervalo mareo-lunar	=	9,648 horas
zona	=	+ 4 horas
suma	=	13,648 horas
retardo	=	- 4,859 horas
I.M.L. local	=	8,789 horas = 08 horas 47 min.

2.4.2 Establecimiento del Puerto (E. del P.)

Corresponde al promedio de los intervalos mareo-lunares locales de pleamar para días de luna nueva y luna llena (sicigias) .

Durante el mes de noviembre de 1997, se producen las sicigias en las fechas 14 de noviembre (luna llena) y 29 de noviembre (luna nueva). De los datos del ejemplo incluido en Anexo 2 se extrae los valores de intervalos mareo-lunares en los días de sicigias.

Año	Mes	Día	Tránsito de la luna por el meridiano de Greenwich Hora	Pleamar Hora	Diferencia Hora
1997	Nov.	14	11,7	21,1	9,4
	Nov.	15	00,2	09,8	9,6
	Nov.	29	11,4	21,5	10,1
	Nov.	30	23,8 (Nov. 30)	09,3	9,5
				suma	38,6

Intervalo mareo-lunar promedio en sicigias.

$$\begin{array}{rcl} 38,6 / 4 & = & 9,650 \text{ horas} \\ \text{Zona} & = & + 4 \text{ horas} \\ & & 13,650 \text{ horas} \\ \text{Retardo} & = & - 4,859 \text{ horas} \\ & & 8,791 \text{ horas} \\ \text{E. del P.} & = & 08 \text{ horas } 47 \text{ min.} \end{array}$$

Si en los cálculos se obtiene un valor del E. del P. superior al período lunar semidiurno, se le restará 12 horas 25 minutos para así obtener el valor definitivo.

ANEXO 1

ALTURAS HORARIAS DEL NIVEL DEL MAR EN CENTÍMETROS

ANTOFAGASTA - Noviembre 1997

DÍA	HORAS																							
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	306	280	257	236	231	232	253	272	288	304	310	303	292	268	254	234	231	240	256	283	308	328	333	334
2	316	291	268	243	230	227	236	255	275	294	304	305	295	278	256	240	233	235	247	265	289	314	331	332
3	325	305	283	257	237	226	228	239	256	276	289	294	292	281	266	252	237	234	241	253	274	300	318	332
4	331	317	298	271	249	236	232	234	244	263	277	287	288	283	272	257	243	236	238	245	263	283	304	322
5	324	322	308	283	262	245	233	227	235	248	266	278	285	285	277	268	260	247	244	243	255	271	287	311
6	323	329	324	309	288	266	248	239	236	242	254	270	282	287	287	285	278	268	260	258	257	266	279	296
7	312	320	325	319	304	285	266	254	241	239	243	255	269	276	285	289	283	278	268	261	257	255	263	273
8	288	306	310	318	311	300	283	263	245	236	234	235	251	261	274	282	285	286	279	270	260	253	250	256
9	268	285	301	312	318	311	303	285	266	250	235	235	238	247	260	276	290	293	295	287	278	264	254	245
10	251	260	278	289	306	312	311	301	285	263	242	229	226	232	246	266	285	301	303	303	296	275	264	249
11	240	245	252	271	289	309	316	313	302	281	258	237	224	224	233	251	274	298	311	319	313	293	277	254
12	237	228	229	245	265	288	306	316	314	292	269	243	224	210	212	229	254	285	309	325	329	318	302	274
13	249	229	218	224	240	264	289	307	317	311	292	268	240	222	207	213	234	266	297	323	338	340	328	302
14	274	249	222	215	222	243	268	296	313	319	307	287	258	230	211	210	222	242	281	311	334	347	345	325
15	297	264	234	212	210	215	238	266	291	306	310	298	275	254	230	213	212	228	251	285	316	337	349	340
16	321	290	254	224	208	204	216	239	265	288	298	300	288	270	243	229	215	216	236	262	291	317	340	345
17	339	313	285	250	223	209	206	221	240	265	287	295	298	287	269	248	230	225	228	246	272	297	324	338
18	342	332	305	278	249	223	211	212	221	242	263	278	287	284	274	258	239	225	223	231	247	274	298	319
19	328	328	320	296	275	242	225	221	216	233	247	265	277	286	285	277	263	250	240	241	246	257	279	298
20	311	320	318	311	296	272	253	238	228	229	240	253	270	281	285	285	278	270	259	254	250	255	267	287
21	301	315	321	317	307	289	272	255	241	236	235	244	256	271	283	289	289	283	277	268	257	255	259	267
22	282	293	307	312	304	296	282	267	254	238	238	237	246	259	273	285	294	293	291	283	269	261	258	266
23	270	281	290	301	305	302	296	284	267	254	243	237	238	249	261	280	291	301	302	295	286	273	264	258
24	262	269	278	290	298	301	301	289	279	263	248	240	235	238	254	266	283	293	302	303	291	283	273	257
25	257	255	262	272	284	292	297	293	284	275	260	245	235	235	243	260	278	293	310	315	313	300	283	267
26	257	250	250	265	275	294	301	305	300	288	275	259	243	239	242	259	277	300	318	330	332	319	304	286
27	265	255	248	258	270	287	301	311	313	306	293	272	257	242	239	249	263	289	312	328	340	335	318	296
28	273	254	247	243	254	269	284	299	308	304	295	278	258	244	235	240	255	274	300	325	337	344	332	311
29	287	265	245	236	239	251	272	287	302	309	304	290	276	255	240	237	242	262	288	314	335	347	342	329
30	307	272	251	239	230	240	255	272	291	303	305	294	280	257	244	234	238	252	277	301	328	342	352	341

Dátum Referencia : Cero Instrumental
 Huso Horario : Z + 4 horas

EN BLANCO

ANEXO 2

HORA Y ALTURA DE MAREA ANTOFAGASTA – Noviembre 1997

Día (Hora)	Tránsito de la Luna por Greenwich (Hora)	Hora de Pleamar (Hora)	Hora de Bajamar (Hora)	Intervalo Mareo-Lunar (Hora)	Altura de Pleamar (m)	Altura de Bajamar (m)
1	0,3	11,2	4,2	10,9	3,15	2,30
	12,6	22,1	15,4	9,5	3,40	2,31
2	1,0	11,2	4,5	10,2	3,10	2,28
	13,5	22,7	16,5	9,2	3,35	2,31
3	1,9	11,2	5,0	9,3	3,00	2,29
	14,3	23,0	16,6	8,7	3,36	2,35
4	2,7	11,8	6,5	9,1	2,95	2,30
	15,2	/	17,5	9,1	3,31	2,36
5	3,6	0,3	6,9	8,6	2,93	2,28
	16,1	12,2	18,4	9,5	/	2,41
6	4,5	1,6	7,8	9,6	3,31	2,37
	17,0	14,1	19,3	8,5	2,95	2,57
7	5,4	1,5	8,7	9,4	3,28	2,37
	17,9	14,8	20,3	9,1	2,95	2,50
8	6,3	3,0	9,8	10,0	3,22	2,30
	18,7	16,3	21,7	9,3	2,94	2,50
9	7,2	4,0	10,8	10,0	3,25	2,35
	19,6	17,2	23,2	9,7	3,03	2,47
10	8,1	5,3	12,9	10,5	3,20	2,25
	20,5	18,6	/	10,0	3,12	/
11	9,0	6,5	0,5	10,2	3,22	2,37
	21,4	19,2	12,6	9,8	3,25	2,18
12	9,9	7,2	1,3	9,9	3,22	2,25
	22,3	19,8	13,7	9,9	3,36	2,12
13	10,8	8,2	2,2	9,7	3,25	2,15
	23,3	20,5	14,3	9,7	3,48	2,05
14	11,7	9,0	3,6	9,4	3,21	2,12
	/	21,1	14,9	/	3,52	2,06
15	0,2	9,8	3,8	9,6	3,15	2,08
	12,7	22,0	15,5	9,3	3,55	2,09
16	1,1	10,2	4,7	9,1	3,10	2,05
	13,6	22,8	15,9	9,2	3,50	2,12
17	2,1	11,3	5,2	9,2	3,04	2,05
	14,5	23,4	17,4	8,9	3,45	2,22
18	3,0	12,3	6,6	9,3	2,93	2,08
	15,4	/	18,1	/	/	2,26
19	3,8	0,6	7,3	9,2	3,36	2,18
	16,3	13,1	18,7	9,3	2,90	2,42
20	4,7	1,3	8,8	9,0	3,30	2,25
	17,1	13,8	19,5	9,1	2,90	2,48
21	5,5	2,1	9,2	9,0	3,21	2,35
	17,8	15,2	21,3	9,7	2,95	2,55
22	6,2	3,1	10,5	9,3	3,15	2,35
	18,5	17,0	22,0	10,8	3,00	2,56
23	6,9	4,0	11,3	9,5	3,11	2,35
	19,3	17,8	23,3	10,9	3,04	2,55
24	7,6	4,8	11,7	9,5	3,05	2,30
	20,0	18,2	/	10,6	3,10	/
25	8,3	6,2	0,1	10,2	3,05	2,53
	20,7	19,3	12,5	11,0	3,20	2,30
26	9,0	7,2	1,2	10,5	3,05	2,50
	21,4	17,4	13,2	8,4	3,35	2,40
27	9,8	7,8	2,2	10,4	3,18	2,50
	22,1	20,1	13,4	10,3	3,45	2,40
28	10,6	8,2	2,8	10,1	3,15	2,41
	22,9	20,5	14,2	9,9	3,45	2,35
29	11,4	8,9	2,8	10,0	3,12	2,37
	23,8	21,5	14,7	10,1	3,50	2,35
30	12,2	9,3	4,3	9,5	3,10	2,30
	/	22,1	15,0	9,9	3,55	2,38

EN BLANCO

ANEXO 3

**TABLA PARA REDUCIR INTERVALOS DE GREENWICH
A INTERVALOS LOCALES**

LONGITUD	CORRECCIÓN		LONGITUD	CORRECCIÓN		LONGITUD	CORRECCIÓN		LONGITUD	CORRECCIÓN		LONGITUD	CORRECCIÓN		LONGITUD	CORRECCIÓN	
	'	HORA		°	HORA		°	HORA		°	HORA		°	HORA		°	HORA
1	0,001	31	0,036	1	0,069	31	2,139	61	4,209	91	6,279	121	8,439	151	10,420		
2	0,002	32	0,037	2	0,138	32	2,208	62	4,278	92	6,348	122	8,418	152	10,489		
3	0,003	33	0,038	3	0,207	33	2,277	63	4,347	93	6,417	123	8,487	153	10,558		
4	0,005	34	0,039	4	0,276	34	2,346	64	4,416	94	6,486	124	8,556	154	10,627		
5	0,006	35	0,040	5	0,345	35	2,415	65	4,485	95	6,555	125	8,625	155	10,696		
6	0,007	36	0,041	6	0,414	36	2,484	66	4,554	96	6,624	126	8,694	156	10,765		
7	0,008	37	0,043	7	0,483	37	2,553	67	4,623	97	6,693	127	8,763	157	10,834		
8	0,009	38	0,044	8	0,552	38	2,622	68	4,692	98	6,762	128	8,832	158	10,903		
9	0,010	39	0,045	9	0,621	39	2,691	69	4,761	99	6,831	129	8,901	159	10,972		
10	0,012	40	0,046	10	0,690	40	2,760	70	4,830	100	6,900	130	8,970	160	11,041		
11	0,013	41	0,047	11	0,759	41	2,829	71	4,899	101	6,969	131	9,039	161	11,110		
12	0,014	42	0,048	12	0,828	42	2,898	72	4,968	102	7,038	132	9,108	162	11,179		
13	0,015	43	0,049	13	0,897	43	2,967	73	5,037	103	7,107	133	9,177	163	11,248		
14	0,016	44	0,051	14	0,966	44	3,036	74	5,106	104	7,176	134	9,246	164	11,317		
15	0,017	45	0,052	15	1,035	45	3,105	75	5,175	105	7,245	135	9,315	165	11,386		
16	0,018	46	0,053	16	1,104	46	3,174	76	5,244	106	7,314	136	9,384	166	11,455		
17	0,020	47	0,054	17	1,173	47	3,243	77	5,313	107	7,383	137	9,453	167	11,524		
18	0,021	48	0,055	18	1,242	48	3,312	78	5,382	108	7,452	138	9,522	168	11,593		
19	0,022	49	0,056	19	1,311	49	3,381	79	5,451	109	7,521	139	9,591	169	11,662		
20	0,023	50	0,058	20	1,380	50	3,450	80	5,520	110	7,590	140	9,660	170	11,731		
21	0,024	51	0,059	21	1,449	51	3,519	81	5,589	111	7,659	141	9,729	171	11,800		
22	0,025	52	0,060	22	1,518	52	3,588	82	5,658	112	7,728	142	9,798	172	11,869		
23	0,026	53	0,061	23	1,587	53	3,657	83	5,727	113	7,797	143	9,867	173	11,938		
24	0,028	54	0,062	24	1,656	54	3,726	84	5,796	114	7,866	144	9,936	174	12,007		
25	0,029	55	0,063	25	1,725	55	3,795	85	5,865	115	7,935	145	10,005	175	12,076		
26	0,030	56	0,064	26	1,794	56	3,864	86	5,934	116	8,004	146	10,074	176	12,145		
27	0,031	57	0,066	27	1,863	57	3,933	87	6,003	117	8,073	147	10,143	177	12,214		
28	0,032	58	0,067	28	1,932	58	4,002	88	6,072	118	8,142	148	10,212	178	12,283		
29	0,033	59	0,068	29	2,001	59	4,071	89	6,141	119	8,211	149	10,281	179	12,352		
30	0,035	60	0,069	30	2,070	60	4,140	90	6,210	120	8,280	150	10,351	180	12,421		

EN BLANCO

**Títulos de la Serie “Instrucciones Hidrográficas y Oceanográficas”
del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico
de la Armada de Chile (SHOA)**

SHOA Pub. 3101 Instrucciones Hidrográficas Nº 1	“Líneas de Sonatas para completar Sondaje de Cartas Náuticas”.
SHOA Pub. 3103 Instrucciones Hidrográficas Nº 3	“Determinación de Nombres Geográficos”.
SHOA Pub. 3104 Instrucciones Hidrográficas Nº 4	“Instrucciones para la Determinación de la Playa y Terreno de Playa en la Costa de Litoral y en la Ribera de Lagos y Ríos”.
SHOA Pub. 3105 Instrucciones Hidrográficas Nº 5	“Especificaciones Técnicas para la realización de Sondajes de Precisión”.
SHOA Pub. 3106 Instrucciones Hidrográficas Nº 6	“Instrucciones Generales para la Mantención y Actualización de los Derroteros de la Costa de Chile en Terreno”.
SHOA Pub. 3107 Instrucciones Hidrográficas Nº 7	“Especificaciones Técnicas para Sondaje Oceánico”.
SHOA Pub. 3108 Instrucciones Hidrográficas Nº 8	“Instrucciones para la Confección de los Planos de Ubicación Geográfica y de la Concesión o Autorización de Acuicultura”.
SHOA Pub. 3110 Instrucciones Hidrográficas Nº 10	“Especificaciones Técnicas para la Elaboración de Planos Marítimos del Borde Costero”.
SHOA Pub. 3201 Instrucciones Oceanográficas Nº 1	“Mediciones y Análisis Oceanográficos”.
SHOA Pub. 3202 Instrucciones Oceanográficas Nº 2	“Cálculo de los valores no Armónicos de la Marea”.
SHOA Pub. 3203 Instrucciones Oceanográficas Nº 3	“Instrucciones Generales sobre el Sistema Nacional de Alarmas de Maremotos”.

Estas publicaciones pueden adquirirse directamente en el SHOA o en Melgarejo 59, local 5, Valparaíso, correo electrónico: ventas@geoceano.cl, fono-fax 32-257731 - 450387. Asimismo, en agencias autorizadas o en las Gobernaciones Marítimas a lo largo de todo el país.

