

ESTABLECIMIENTO DEL DÁTUM VERTICAL PARA LA CARTOGRAFÍA DEL ECUADOR 2010

Jorge Alavera¹
Jorge Nath¹

RESUMEN

En el Ecuador se encuentran dos tipos de Cartografía Oficial: la cartografía terrestre y la cartografía náutica elaboradas por el Instituto Geográfico Militar y el Instituto Oceanográfico de la Armada respectivamente; sin embargo, el presente ensayo tiene como objetivo detallar la metodología que se establece para obtener un dátum vertical a partir de los registros de la variación del nivel del mar en la Estación Patrón de la Libertad (02°13' 04"S, 80°54'23"W).

ABSTRACT

In Ecuador there are two types of official cartography: land mapping and nautical charting developed by the Military Geographic Institute and the Oceanographic Institute of the Navy respectively, however, this essay aims to detail the methodology for establishing obtain a vertical datum from the records of sea level change in the pattern of Liberty Station (02°13' 04"S, 80°54'23"W).

¹ Departamento de Hidrografía, Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador, levantamiento@inocar.mil.ec

¹ Departamento de Hidrografía, Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador, jnath@inocar.mil.ec

*Figura obtenida de la dirección electrónica www.danotario.com/articulos/articulo15.php

INTRODUCCIÓN

El proceso cartográfico cualquiera que sea su objetivo, necesita de un plano de referencia horizontal y vertical (dátum horizontal y vertical respectivamente) como punto de partida para plasmar las mediciones geodésicas, topográficas e hidrográficas obtenidas en campo a un plano de dos dimensiones, tales como los mapas, cartas náuticas y planos; un sistemas geodésicos de referencia en general puede clasificarse en dos tipos: aquellos que pueden ser descritos por modelos matemáticos y los descritos por los modelos físicos; como ejemplo de los modelos matemáticos se cita al elipsoide, mientras que el geoide constituye un buen ejemplo para los modelos físicos.

La cartografía terrestre y la cartografía náutica en el Ecuador son elaboradas por el Instituto Geográfico Militar (IGM) y el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) respectivamente; sin embargo, el presente ensayo tiene como objetivo el establecimiento de un dátum vertical a partir de los registros de la variación del nivel del mar en la Estación de la Libertad, Paredes (2004) describe el desarrollo y necesidad de establecer un Datum Vertical oficial, y la instalación de una estación mareográfica en la localidad de La Libertad, la misma que fue instalada en 1948, el Datum calculado son aplicados y referidos a las cotas que el IGM transporta a todas las ciudades del Ecuador.

Superficie de Referencia Vertical para Cartografía Terrestre

En virtud de que un sistema de referencia busca definir la forma y dimensiones de la tierra, el Geoide (Ver Figura 1) conceptualizado como la superficie equipotencial del campo de la fuerza de gravedad y por tanto depende de la distribución de la masa de la tierra, constituye una excelente superficie de referencia vertical para planificación, ejecución y control de obras de ingeniería, manejo de planes ante desastres, modelos para tsunamis así como para las tareas cartográficas terrestres, entre otras aplicaciones; este Plano de Referencia Vertical

o Dátum Vertical puede ser materializada por el Nivel Medio del Mar y de allí la importancia para calcular éste a través de los registros de la variación del nivel del mar registradas en un período determinado.

El Instituto Oceanográfico de la Armada como órgano asesor del Estado en temas técnicos relacionado a la Cartografía Náutica ha considerado conveniente el establecimiento de una Red Mareográfica Nacional permanente con la finalidad de que el monitoreo constante de la variación del nivel del agua tanto en la zona costera como a lo largo del río Guayas permita determinar diferentes planos de referencia vertical, siendo la estación más antigua la instalada en la localidad de “La Libertad”.

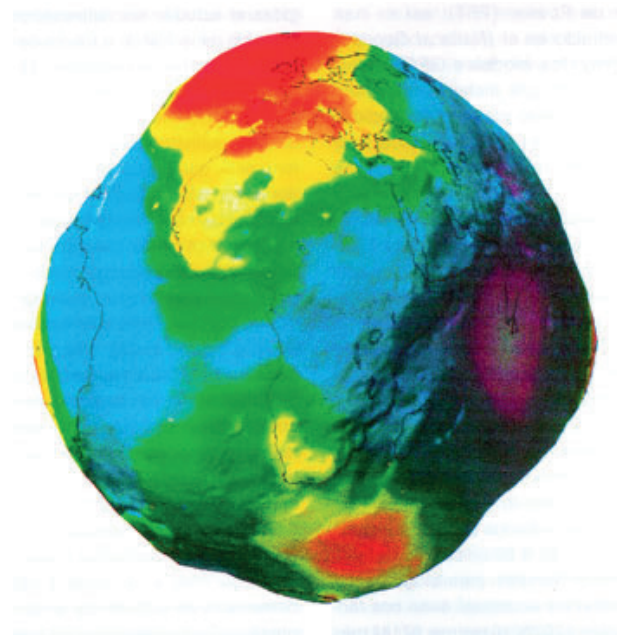


Figura 1, Ondulación del geoide obtenida mediante perturbaciones orbitales de satélites geodésicos.*

Para establecimiento del Nivel Medio del Mar es necesario en primer lugar determinar la serie de tiempo idónea para su cálculo y por tanto es menester primero entender cuáles son las fuerzas generadoras de mareas. Las fuerzas generadoras básicamente lo constituyen las fuerzas de atracción del sol y de la luna, siendo esta última 2,5 veces mayor que la del sol a pesar de que posee una masa 352 veces menor; por tanto el movimiento oscilatorio del mar está mayormente influenciado por los movimientos de la luna. Los movimientos de la luna más conocidos pueden ser descritos por los ciclo

de sición cuadratura, de apogeo perigeo, de declinación y el menos conocido de éstos es el ciclo de Metón o movimiento de precesión cuyo período es de 18,9 años, por lo tanto varios Servicios hidrográficos han convenido adoptar a 20 años de observación como el período ideal para realizar cualquier tipo de análisis.

METODOLOGÍA

Previo al análisis estadístico de los registros de la variación del nivel del mar es necesario que todos los datos sean llevados a un plano de referencia común, esto se debe a que cada vez que el sensor registrador del nivel del mar es removido para mantenimiento, se genera un nuevo plano de referencia para los registros (Ver Ejemplo Gráfico 1).

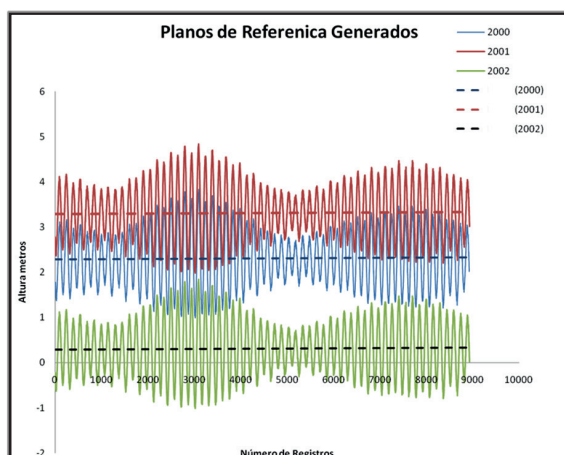


Gráfico 1.- Diferencias entre planos de referencia de los registros

Como segundo paso se procede a revisar por método gráfico la calidad de los datos (Ver Gráfico 2), eliminando aquellos datos que se encuentran fuera de lo normal (outlayer, spike).

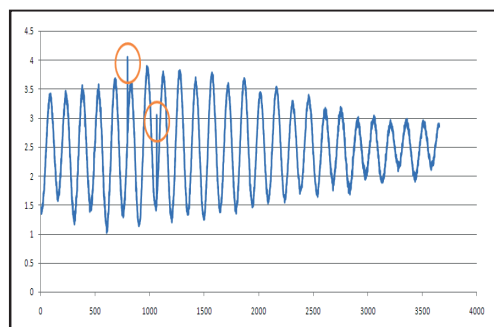


Gráfico 2, Eliminación de registros falsos

Para cuantificar la diferencia entre los planos de referencia generados, primero se debe escoger la nivelación de referencia o punto de partida, para luego mediante sustracción directa obtener el valor que se sumará algebraicamente a la serie de datos recolectados; es decir la diferencia de los planos de referencia se obtendrá al restar del valor tomado como punto de partida los valores de las cotas calculadas para esa marca de nivel en cada una de las nivelaciones realizadas. Es importante que cada nivelación sea acompañada con la fecha a la cual se ejecutó la nivelación puesto que es la única manera de vincular la diferencia encontrada con los registros.

RESULTADOS OBTENIDOS

Del registro de las nivelaciones ejecutadas entre el cero de la regla y las cotas de marea asociadas a la estación mareográfica La Libertad se puede determinar claramente que la mejor cota para tomarla como referencia es la cota llamada BM 48 (02°13'13" S, 80°54'16"O), en virtud de que es la cota que tiene mayor densidad de datos de nivelación.

Conforme a la metodología propuesta se procede al cálculo de las diferencias entre los distintos planos generados por la variación de la ubicación del cero del sensor a lo largo del tiempo, para lo cual se toma como punto de partida la nivelación de 1952, tal como se muestra en la Tabla 1, metodologías utilizadas por Paredes (1986) y Vera (2004).

Una vez calculadas las diferencias pertinente entre los planos de referencia se procede a aplicar las correcciones a los registros conforme las fechas de las nivelaciones para así continuar con el análisis estadístico descriptivo; considerando que el promedio es un estadístico influenciado por valores extremos, esta metodología propone excluir los valores anómalos; Vera (2004) manifiesta que los valores extremos eliminados pueden ser no reemplazados con sus valores medios no afecta el resultado final; es decir, aquellos valores asociados a los años en que estuvo presente condiciones atípicas del nivel del mar, específicamente aquellas influenciadas por eventos "El Niño" y "La Niña" ocurridas entre 1982 - 1983 y 1997 - 1998 para así evitar cualquier tipo de sesgo.

Estacion	FECHA	14/07/1952	20/11/1952	20/08/1953	15/01/1955	16/07/1955	17/04/1956	30/03/1957	20/11/1957	19/11/1958	06/07/1967	25/02/1970	18/02/1971	24/10/1971
BM 8	1948	14.717	14.717	14.717	14.628	14.731	14.732	14.732	14.747	14.256	14.261	14.358	14.166	14.180
DIF 52	BM 48	0.000	0.000	0.000	0.089	-0.014	-0.015	-0.015	-0.030	0.461	0.456	0.359	0.551	0.537

Estacion	FECHA	29/11/1972	10/06/1973	24/09/1975	18/10/1977	24/04/1983	01/01/1984	18/03/1985	04/09/1986	31/08/1987	02/08/1988	29/09/1989	28/04/1990	02/10/1990
BM 8	1948	14.178	14.183	14.176	14.195	14.317	14.411	14.411	14.412	14.415	14.413	14.418	14.478	14.490
DIF 52	BM 48	0.539	0.534	0.541	0.522	0.400	0.306	0.306	0.305	0.302	0.304	0.299	0.239	0.227

Estacion	FECHA	14/02/1991	04/05/1991	03/05/1992	27/03/1993	15/03/1995	27/03/1998	29/03/1999	16/02/2000	08/04/2002	06/04/2003	21/05/2004	01/11/2006	02/05/2008	02/05/2009
BM 8	1948	14.557	14.623	14.476	14.476	14.496	14.503	14.506	14.495	14.477	14.515	14.525	14.548	14.553	14.575
DIF 52	BM 48	0.160	0.094	0.241	0.242	0.221	0.214	0.211	0.223	0.240	0.202	0.192	0.170	0.164	0.146

Tabla 1.- Nivelaciones históricas de la estación "La Libertad"

ANÁLISIS

datos horarios como cada cinco en el período 2000-2007. (Ver Tabla 2.)

Ya que hasta el año 1999 sólo se guardaban registros horarios de la variación del nivel del mar. la incertidumbre asociada a determinar el promedio es mucho más grande a la obtenida al utilizar datos más frecuentes (c/ 5 minutos) y por tanto es necesario determinar esta diferencia y para lo cual se va a contrastar los promedios obtenidos tanto utilizando

El análisis estadístico descriptivo aplicado a la diferencia entre los promedios obtenidos, muestran que los promedios mensuales provenientes de los datos horarios tienen una incertidumbre de ± 1.5 cm al 95% de confianza respecto a los obtenidos con los registros más frecuentes, por tanto si podemos inferir los resultados obtenidos de comparación, los

año mes	2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007	
	min	Hr	min	Hr	min	Hr	min	Hr	min	Hr	min	Hr	min	Hr	min	Hr
Enero			2.59	2.58	2.53	2.52	2.59	2.57	2.58	2.60	2.55	2.54			2.61	2.60
Febrero	2.48	2.48	2.58	2.58	2.63	2.62	2.55	2.53	2.59	2.61	2.57	2.59	2.68	2.68	2.54	2.53
Marzo	2.55	2.55	2.53	-	-	2.61	2.59	2.57	2.56	2.58	2.72	2.74	2.60	2.60	2.54	2.53
Abril	2.62	2.62	2.49	2.49	2.60	2.60	2.56	2.57	2.56	2.57	2.80	2.83	2.61	2.61	2.55	2.54
Mayo	2.65	2.65	2.49	2.48	2.63	2.61	2.60	2.61	2.66	2.66	2.74	2.73	2.66	2.66	2.62	2.61
Junio	2.64	2.63	2.48	-	-	2.60	2.53	2.55	2.72	2.72	2.69	2.72	2.61	2.61	2.60	2.59
Julio	2.53	2.54	2.48	2.49	2.56	2.55	2.57	2.60	2.51	2.51	-	-	2.61	2.60	2.59	2.58
Agosto	-	-	2.47	2.47	2.51	2.49	2.58	2.59	2.54	2.54	2.65	2.68	2.60	2.60	2.57	2.56
Septiembre	2.53	2.53	2.50	2.50	2.56	2.53	2.54	2.54	2.53	2.56	2.68	2.72	2.62	2.62	2.56	2.55
Octubre	2.55	2.54	2.56	2.56	2.60	2.58	2.60	2.61	2.58	2.61	2.68	2.71	2.64	2.64	2.57	2.55
Noviembre	2.50	2.50	2.55	2.54	2.68	2.66	2.61	2.63	2.54	2.57	2.73	2.76	2.60	2.60	2.62	2.61
Diciembre	2.54	2.54	2.54	2.53	2.67	2.65	2.65	2.67	2.54	2.56	2.64	2.68	2.60	2.60	2.61	2.61

Tabla 2. Comparación promedio datos horarios vs. Intervalos de 5 min.

	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ENERO	2.470	2.480	2.590	2.690	2.580	2.520	2.610	2.610	2.690	2.600	2.610	2.650	2.530	2.540		2.586	2.532	2.594	2.581	2.545	2.654	2.606	2.655	2.595
FEBRERO	2.530	2.510	2.490	2.770	2.580	2.550	2.570	2.640	2.780	2.620	2.570	2.640	2.550	2.520	2.483	2.584	2.633	2.551	2.588	2.565	2.675	2.538	2.641	2.618
MARZO	2.560	2.520	2.550	2.610	2.610	2.590	2.560	2.590	2.780	2.580	2.540	2.540	2.520	2.570	2.552	2.530	2.605	2.592	2.562	2.715	2.600	2.540	2.652	2.640
ABRIL	2.540	2.530	2.570	2.660	2.550	2.610	2.570	2.580	2.740	2.650	2.570	2.520	2.510	2.530	2.624	2.493	2.602	2.563	2.557	2.803	2.607	2.553	2.715	2.686
MAYO	2.570	2.550	2.570	2.690	2.550	2.610	2.540	2.620	2.610	2.680	2.620	2.530	2.540	2.620	2.652	2.485	2.627	2.598	2.661	2.737	2.655	2.617	2.769	2.776
JUNIO	2.560	2.590	2.600	2.620	2.580	2.600	2.520	2.610	2.630	2.640	2.640	2.560	2.520	2.550	2.635	2.483	-	2.531	2.719	2.694	2.613	2.596	2.741	2.746
JULIO	2.550	2.510	2.620	2.590	2.570	2.550	2.510	2.590	2.570	2.580	2.570	2.560	2.520	2.520	2.525	2.481	2.561	2.573	2.510	-	2.605	2.586	2.540	2.730
AGOSTO	2.570	2.540	2.570	2.620	2.540	2.550	2.530	2.590	2.560	2.550	2.350	2.500	2.500	2.450	2.501	2.467	2.514	2.581	2.542	2.649	2.599	2.566	2.514	2.728
SEPTIEMBRE	2.550	2.540	2.550	2.620	2.540	2.560	2.570	2.540	2.530	2.550	2.350	2.510	2.520	2.460	2.530	2.503	2.555	2.543	2.532	2.684	2.619	2.561	2.627	2.710
OCTUBRE	2.540	2.540	2.630	2.630	2.520	2.600	2.570	2.600	2.550	2.580	2.650	2.520	2.500	2.490	2.547	2.559	2.598	2.599	2.583	2.675	2.641	2.566	2.601	2.706
NOVIEMBRE	2.540	2.520	2.650	2.610	2.500	2.610	2.550	2.660	2.570	2.680	2.670	2.500	2.510	2.480	2.499	2.545	2.679	2.608	2.543	2.728	2.603	2.623	2.603	2.757
DICIEMBRE	2.560	2.550	2.590	2.570	2.520	2.600	2.550	2.630	2.650	2.670	2.680	2.490	2.510	2.480	2.543	2.535	2.670	2.647	2.535	2.642	2.603	2.610	2.615	2.853
PROMEDIO	2.550	2.530	2.580	2.640	2.550	2.580	2.550	2.610	2.640	2.620	2.570	2.540	2.520	2.520	2.550	2.520	2.600	2.580	2.580	2.680	2.620	2.580	2.640	2.710

Tabla 3. Promedio mensual de las variaciones del nivel del mar en la estación “La Libertad”

promedios obtenidos hasta 1999 poseen una incertidumbre igual a la encontradas, cabe indicar que esta incertidumbre es incrementada por la precisión del sensor empelado para su medición y registro y por tanto es muy difícil determinar alguna tendencia.

Una vez considerado los factores antes descritos se procede a construir la Tabla 3 en la cual se detallan los promedios mensuales de la variación del nivel del mar entre el 2000-2009 a partir de los registros guardados cada 5 minutos, mientras que hasta 1999 son obtenidos a partir de los datos horarios.

Los promedios resumidos en la Tabla 3 y mostrados en el Gráfico 3, sugieren que el nivel medio del mar tiene un comportamiento oscilatorio en los últimos 20 años, sin embargo a partir del 2000 se puede apreciar una tendencia positiva en los datos sin perder el comportamiento antes mencionado.

La tendencia positiva mostrado en los datos anuales del nivel medio del mar en la última década pueden ser mejor observados en el Gráfico 4 y expresada con la ecuación

$y = 0,014x + 2.518$, lo que indica que el nivel medio del mar ha ido aumentando a razón de 1.2 cm por año aproximadamente en este periodo de estudio.

Debido a que durante el procesamiento de la información se utilizó como punto de partida la nivelación de 1952 y considerando que en la actualidad la regla de marea se encuentra generando otro plano de referencia, es necesario referir el nivel medio calculado al cero de la regla de marea actual.

En la Tabla 4. se muestra el cuadro resumen del análisis estadístico de los promedios anuales entre 1984 y el 2009; el nivel medio calculado se ubica a 2.585 metros del cero de la regla de 1952, para referir el nivel medio del mar de la estación La Libertad calculado al cero de la regla actual simplemente se resta la diferencia encontrada al comparar las cotas de la marca de nivel BM48 en 1952 y en el 2009, existe una diferencia de 0.16 metros como se aprecia en la Tabla 1, obteniéndose por tanto que el nivel medio del mar esté a 2.441 metros del cero de la regla.

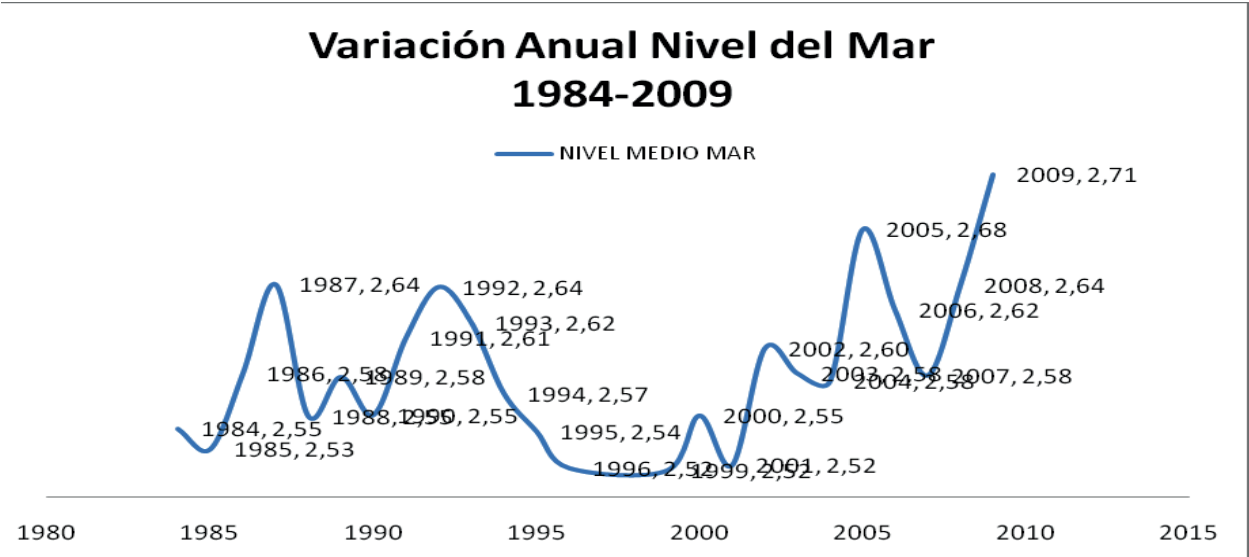


Gráfico 3. Nivel medio del mar 1984-2007 “La Libertad”

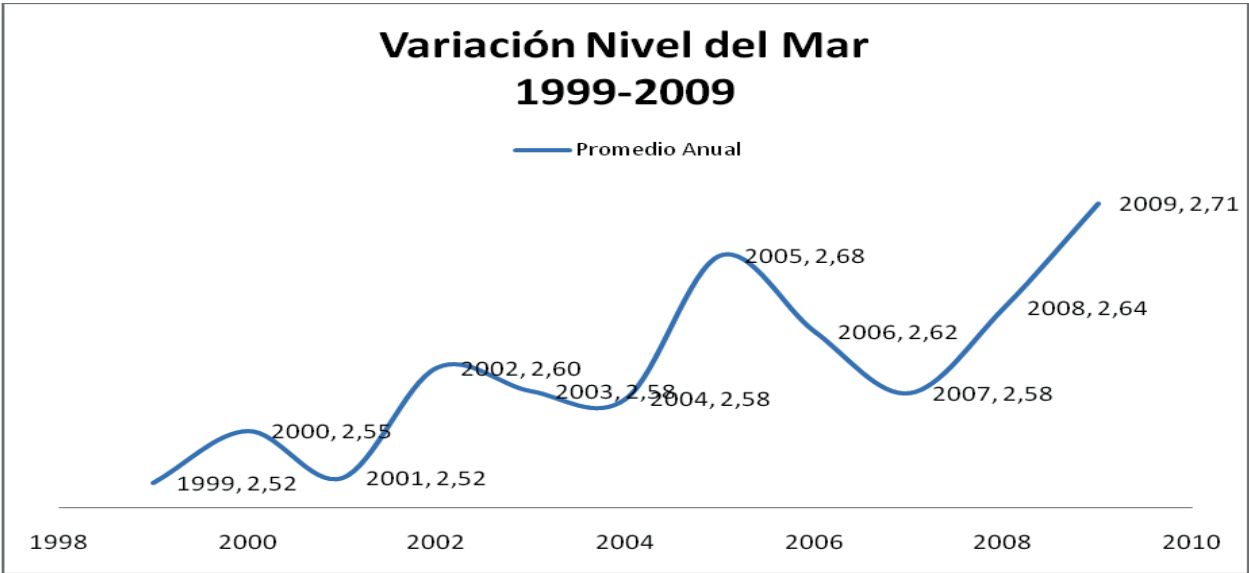


Gráfico 4. Nivel medio del mar 1999-2009 “La Libertad”

	84-89	90-99	00-09	84-09	88-09
Enero	2.560	2.610	2.590	2.590	2.590
Febrero	2.570	2.610	2.590	2.590	2.590
Marzo	2.570	2.590	2.600	2.590	2.590
Abril	2.580	2.580	2.620	2.600	2.600
Mayo	2.590	2.600	2.660	2.620	2.620
Junio	2.590	2.580	2.640	2.610	2.610
Julio	2.570	2.550	2.570	2.560	2.560
Agosto	2.570	2.500	2.570	2.550	2.540
Septiembre	2.560	2.500	2.590	2.550	2.550
Octubre	2.580	2.560	2.610	2.580	2.580
Noviembre	2.570	2.580	2.620	2.590	2.600
Diciembre	2.570	2.580	2.630	2.600	2.600
Promedio	2.570	2.570	2.610	2.585	2.588

Tabla 4. Cuadro resumen del nivel medio del mar.

CONCLUSIÓN

Pacifico, Vol 3(1), 1986

La cota de marea de nivel BM 3 (02°13'10"S, 80°54'19"O) es considerada como punto de partida para el arrastre de la nivelación de toda la red de Control Básico Vertical del País ejecutado por IGM, por lo cual la nivelación calculada en el 2010 es de 8.7122 metros referidos al cero de la regla, considerando que el valor de 2,441 es el nivel medio del mar referido al cero de la regla; podemos determinar que la elevación desde el nivel medio del mar de la Cota BM3 es de 6.2707 metros para este periodo de estudio.

Pugh, David T., Tide, -Surges and Mean Sea Level, John Wiley & Sons, Chichester: Bath Press, Avon 1987

Vera L. Estudio del Nivel Medio del Mar en Puerto Bolívar, Acta Oceanográfica del Pacifico, Vol. 12(1), 2003-2004.

BIBLIOGRAFÍA:

Boon, John D.; Secrets of the Tide Horwood Publishing, Chichester, U. K., 2004

Comité Permanente de Mareas y del Nivel del Mar, Comité Intergubernamental para Levantamiento y Mapeo, Australian Tide Manual (Publicación Especial S-9), Wollomgong, 2004

Doodson A.; The Harmonic Development of Tide Generating Potential, Proc. R Soc, 1921

Harris, Pt., Manual de Marea, Washington DC, 1895

IOC, Manual on Sea – Level measurement and interpretation vol. III, UNESCO 2002

Marner, H.A., Tidal Datum Plane, Washington: U.S. Government Printing Office, 1951

NOAA; Special Publication, Tidal Datum and their Applications, febrero 2001, extraído <http://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/>

OHI, Manual de Hidrografía (IHO M-13), Mónaco, 2005, pp. 313-368

Paredes N. Determinación del Datum Vertical en la Libertad, Ecuador, Acta Oceanográfica del