

NOTA BREVE

ADAPTACION DE SUBROUTINAS DE CALCULO PARA LA CORRECCION
POR MAREA TERRESTRE EN DATOS GRAVIMETRICOS DE CHILE

María Soledad Avendaño

Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.
Casilla 2777, Santiago, Chile.

Con el objetivo de contar con un programa para la corrección por marea terrestre para datos gravimétricos chilenos, se procedió a la adecuación de dos subrutinas programadas por S. Nakai (1979, subrutina TIDE) y Y. Tamura (1982, subrutina TIDEG) del International Latitude Observatory of Mizusawa (Japón) presentándose los valores de esta corrección para los 29 primeros pilares de la línea 9-E, Santiago - Los Andes, (ver Apéndice).

Estas subrutinas cuantifican el efecto que ejercen en cada lugar y tiempo la atracción luni-solar que modifica la gravedad observada en las distintas estaciones.

Existen dos métodos de cálculo que llevan a la cuantificación de esta atracción luni-solar. Uno está basado en la expansión armónica del potencial de marea, y el otro en el cálculo de la posición de la luna y el sol obteniéndose directamente la atracción en cualquier tiempo y lugar.

En ambas subrutinas se llega a determinar esta atracción, utilizando el último de los métodos citados. La diferencia entre una y otra subrutina radica en la precisión que tiene el valor determinado para dicha corrección. Ambas aseguran una precisión de 0.1 μgal , y la máxima diferencia encontrada entre una y otra subrutina es de 0.146 μgal . La subrutina más precisa es la desarrollada por Y. Tamura (TIDEG).

Las dos subrutinas calculan la marea gravitacional teórica, es decir, consideran a la tierra como cuerpo rígido; sin embargo, debido a la atracción luni-solar, la tierra se deforma elásticamente, siendo necesaria la consideración de este efecto que amplifica la marea gravitacional teórica. El factor modificador se denomina factor gravimétrico FG (Dehlinger, 1978).

El rango de este factor gravimétrico FG se encuentra entre 1.13 a 1.24, recomendándose FG = 1.16 en la Asamblea General del I.U.G.G. - I.A.G. (Camberra, 1979).

Estas dos subrutinas se modificaron y adaptaron de manera que entreguen la corrección por marea terrestre, corrección que es sumada a los valores de la gravedad observada en distintas estaciones.

Formulación utilizada en subrutinas TIDE y TIDEG.

El potencial de marea debido a la luna se expresa como:

$$V = \frac{GM}{R} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{r}{R}\right)^n P_n(\cos z) = \frac{GMr^2}{R^3} \left[\frac{1}{2}(3 \cos^2 z - 1) + \frac{1}{2} \frac{r}{R} (5 \cos^3 z - 3 \cos z) + \frac{1}{8} \left(\frac{r}{R}\right)^2 (35 \cos^4 z - 30 \cos^2 z + 3) + \dots \right] \quad (1)$$

en que $\cos z$ está dado por:

$$\cos z = \sin \psi \sin \delta + \cos \psi \cos \delta \cos H$$

donde M es la masa de la luna, r es la distancia geocéntrica del punto de observación, R es la distancia geocéntrica de la luna, z es el ángulo cenital de la luna, ψ es la latitud geocéntrica del punto de observación, δ es la declinación de la luna y H es el ángulo horario de la luna. El potencial debido al sol es desarrollado de la misma manera.

Se tiene que:

$$V = V_{(1)} + V_{(s)}$$

es el potencial de marea debido a la luna (1) y al sol (s).

Si diferenciamos esta última expresión se tienen las tres componentes de la fuerza de marea referidas a coordenadas geocéntricas, las que referidas a coordenadas geodésicas permiten calcular la marea gravitacional teórica.

La diferencia fundamental entre TIDE y TIDEG se encuentra en que TIDEG considera más términos en la serie de la expresión (1) que TIDE.

PROGRAMA MATE

El programa MATE usa la subrutina TIDE que calcula sólo dos de las componentes de la corrección por marea terrestre, es decir, COMANA_{abajo} y COMANA_{sur}, amplificadas por el factor gravimétrico $FG = 1.16$.

Con el fin de corregir los datos gravimétricos por marea, sólo se utiliza la componente hacia abajo, la cual se suma con su signo a los valores de gravedad observada.

La entrada de datos aparece explícitamente en el programa MATE y la salida es el valor de la corrección por marea COMANA en μgal .

```
C  PROGRAMA MATE: CORRECCION POR MAREA TERRESTRE
C  USANDO SUBROUTINA DE S. NAKAI (REFERENCIA N° 2)
    IMPLICIT REAL*8 (A-H, O-Z)
    COMMON/AREA/FG
    FG = 1.16
    DIMENSION COMANA (1)
    WRITE (3,22)
    1 READ (1,700, END = 99) DELTAT, JAÑO, JMES, JDIA, JHORA,
      *JMIN, FLONG, FLAT, ALT, TL, NN, IC, IH, EST
    700 FORMAT (F5.2, 5I3, 2F12.7, F6.1, F4.0, 3I2, A6)
    CALL TIDE (COMANA, DELTAT, JAÑO, JMES, JDIA, JHORA,
      *JMIN, FLONG, FLAT, ALT, TL, NN, IC, IH, FG)
    21 FORMAT ('1', 40X, 'CORRECCION DE DATOS GRAVIMETRI-
      *COS',/, 41X, 33('*')
      *//, 46X, 'POR MAREA TERRESTRE',/, 46X, 21('*'), ////)
    22 FORMAT (10X, '*', 3X, 'ESTACION', 3X, '*', 5X, 'FECHA',
      *4X, '*', 5X, 'HORA', 5X
      *, '*', 3X, 'LATITUD', 4X, '*', 3X, 'LONGITUD', 3X,
      *'*, 4X, 'ALTURA', 4X, '*', 5
      *X, 'CORRECCION', 4X, '*'//)
    WRITE (3,100) EST, JDIA, JMES, JAÑO, JHORA, JMIN, FLAT,
      *FLONG, ALT, COMANA (1)
    100 FORMAT (10X, '*', 4X, A6, 4X, '*', 2X, I2, '/', I2,
      *'/', I4, 2X, '*', 5X, I2, ':',
      *I2, 4X, '*', 2X, F10.6, 2X, '*', 2X, F10.6, 2X, '*',
      *4X, F6.1, 4X, '*', 2X, F10.2,
      *7X, '*', //)
    GO TO 1
    99 STOP
    END
```

La definición de los coeficientes citados en el programa MATE es la siguiente:

COMANA	= Corrección por marea
DELTAT	= Intervalo de tiempo en horas
JAÑO	= Las dos últimas cifras del año o el origen
JMES	= Mes
JDIA	= Día
JHORA	= Horas
JMIN	= Minutos
TL	= ET - UT en segundos
NN	= Número de cálculos
IC	= Identificación de la componente IC = 1 (hacia abajo), IC = 2 (hacia el sur), IC = 3 (hacia el oeste)
IH	= Identificación del sistema de tiempo IH = 0 (tiempo universal), IH = 1 (tiempo en Japón).
FLONG	= Longitud de la estación en grados (negativa hacia el oeste)
FLAT	= Latitud de la estación en grados (negativa hacia el sur)
ALT	= Cota de la estación en metros
EST	= Estación

PROGRAMA MATE 1

El programa MATE 1 usa la subrutina TIDEG y calcula la componente COMATA_{arriba} amplificada por el factor gravimétrico $FG = 1.16$, la cual se suma con su signo a los valores de la gravedad observada.

La entrada de datos aparece explícitamente en el programa MATE 1, y la salida es el valor de la corrección por marea COMATA en μgal .

```

C   PROGRAMA MATE 1: CORRECCION POR MAREA TERRESTRE USAN-
C   DO SUBROUTINA DE Y. TAMURA (REFERENCIA N° 3).
      IMPLICIT REAL *8 (A-H, O-Z)
      COMMON/AREA 1/FG
      FG = 1.16
      DIMENSION COMATA (1)
      WRITE (3,21)
      WRITE (3,22)
40  READ (4,10) DELTAT, JAÑO, JMES, JDIA, JHORA, JMIN,
      *FLONG, FLAT, ALT, TL, OT, EST
      IF (DELTAT.EQ.-1) GO TO 55
10  FORMAT (F6.3, I 4, 4 (I2), F (14.10, F 11.7, F 6.1, F 3.0,
      *F 2.0, 2 (A4))
      CALL TIDEG (COMATA, 1, 1, DELTAT, JAÑO, JMES, JDIA, JHORA,
      *JMIN, FLONG, FLAT, ALT, TL, OT, FG)
21  FORMAT ('1', 40X, 'CORRECCION DE DATOS GRAVIMETRICOS' /,
      *41X, 33('*'), //
      *//, 46X, 'POR MAREA TERRESTRE', /, 46X, 21 ('*'), //)
22  FORMAT (10X, '*', 3X, 'ESTACION', 3X, '*', 5X, 'FECHA',
      *4X, '*', 5X, 'HORA', 5X
      *, '*', 3X, 'LATITUD', 4X, '*', 3X, 'LONGITUD', 3X,
      ***, 4X, 'ALTURA', 4X, '*' 5
      *X, 'CORRECCION', 4X, '*')
      WRITE (3,20) EST, JDIA, JMES, JAÑO, JHORA, JMIN, FLAT,
      FLONG, ALT, COMATA (1)
20  FORMAT (10X, '*', 6X, A4, 4X, '*', 2X, I2, '/', I2,
      *'/', I4, 2X, '*', 5X, I2, ':', I
      *2, 4X, '*', 2X, F10.6, 2X, '*', 2X, F10.6, 2X, '*',
      *4X, F6.1, 4X, '*', 2X, F10.2, 7
      *X, '*', //)
      GO TO 40
55  STOP
      END

```

La definición de los coeficientes citados en el programa MATE 1 es la siguiente:

COMATA = Corrección por marea
DELTAT = Intervalo de tiempo en horas
JAÑO = Año origen (1901 < JA < 2099)
JMES = Mes
JDIA = Día
JHORA = Hora
JMIN = Minutos
FLONG = Longitud de la estación en grados (negativa hacia el Oeste)
FLAT = Latitud de la estación en grados (negativa hacia el Sur)
ALT = Cota de la estación en metros
TL = ET - UT en segundos
OT = Sistema de tiempo (tiempo en Japón = 9.DO); tiempo universal = 0.DO).

En el programa MATE y MATE 1 se define TL como ET - UT en segundos, donde ET es el tiempo de efemérides y UT es el tiempo universal.

REFERENCIAS

- DEHLINGER, P., 1978. Marine Gravity, Elsevier p. 62.
NAKAI, S., 1979. Proc. Int. Latit. Obs. Mizusawa 18, 124, 4938-4950.
TAMURA, Y., 1982. Publ. Int. Latit. Obs. Mizusawa 16, N° 1, 1-20.

APENDICE
CORRECCION DE DATOS GRAVIMETRICOS POR MAREA TERRESTRE USANDO PROGRAMA MATE Y MATE 1

ESTACION	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	CORRECCION MATE	CORRECCION MATE 1
9E1	22/3/83	14:12	-33.361667	-70.698333	495.8	65.02	65.03
9E2	22/3/83	14:33	-33.348833	-70.691167	491.7	55.41	55.41
9E4	22/3/83	14:57	-33.325500	-70.696833	493.8	43.73	43.72
9E5	22/3/83	15:16	-33.313000	-70.704500	507.6	34.10	34.09
9E6	22/3/83	15:26	-33.297167	-70.697500	506.4	28.94	28.93
9E7	22/3/83	15:32	-33.281667	-70.700333	508.3	25.85	25.83
9E8	22/3/83	15:57	-33.267167	-70.697333	517.7	12.88	12.87
9E9	22/3/83	16:14	-33.251000	-70.695667	529.6	4.17	4.17
9E10	22/3/83	16:23	-33.237833	-70.696000	538.7	-0.35	-0.35
9E11	22/3/83	16:34	-33.226167	-70.687833	553.7	-5.79	-5.80
9E12	22/3/83	16:42	-33.212833	-70.683667	564.9	-9.66	-9.66
9E13	22/3/83	16:50	-33.198500	-70.672500	593.9	-13.46	-13.46
9E14	22/3/83	17:05	-33.186667	-70.660000	630.9	-20.32	-20.32
9E15	22/3/83	17:16	-33.180333	-70.648667	659.7	-25.12	-25.11
9E16	22/3/83	17:22	-33.172333	-70.640667	699.5	-27.64	-27.63
9E17	22/3/83	17:39	-33.162333	-70.640000	750.5	-34.36	-34.35
9E18	22/3/83	17:46	-33.153333	-70.647333	739.1	-36.93	-36.91
9E19	22/3/83	17:55	-33.141667	-70.657500	710.8	-40.07	-40.05
9E20	22/3/83	18:08	-33.130167	-70.665833	690.8	-44.28	-44.26
9E21	22/3/83	18:17	-33.119167	-70.674500	672.8	-46.94	-46.92
9E22	22/3/83	18:26	-33.106833	-70.685500	676.8	-49.39	-49.37
9E23	22/3/83	18:33	-33.090833	-70.691333	683.7	-51.15	-51.13
9E24	22/3/83	18:40	-33.078167	-70.692667	679.0	-52.78	-52.77
9E25	22/3/83	18:47	-33.060833	-70.693000	661.3	-54.28	-54.26
9E26	22/3/83	18:56	-33.044833	-70.692667	668.4	-56.02	-56.00
9E27	22/3/83	19:05	-33.030167	-70.690833	690.7	-57.54	-57.53
9E28	22/3/83	19:12	-33.016167	-70.692167	710.0	-58.57	-58.55
9E29	22/3/83	19:23	-33.002667	-70.687833	756.9	-59.93	-59.92
9E30	22/3/83	19:30	-32.997000	-70.685000	763.8	-60.63	-60.62