

# Mareas

Jesús Valenzuela Nieblas

## 1. Mareas

La marea es el cambio periódico del nivel del mar producido principalmente por la fuerza de atracción gravitatoria que ejercen el Sol y la Luna sobre la Tierra. Aunque dicha atracción se ejerce sobre todo el planeta, tanto en su parte sólida como líquida y gaseosa, nos referiremos en este artículo a la atracción de la Luna y el Sol, juntos o por separado, sobre las aguas de los mares y océanos. Sin embargo, hay que indicar que las mareas de la litosfera son prácticamente insignificantes, con respecto a las que ocurren en el mar u océano (que pueden modificar su nivel en varios metros) y, sobre todo, en la atmósfera, donde puede variar en varios km de altura, aunque en este caso, es mucho mayor el aumento del espesor de la atmósfera producido por la fuerza centrífuga del movimiento de rotación en la zona ecuatorial (donde el espesor de la atmósfera es mucho mayor) que la modificación introducida por las mareas en dicha zona ecuatorial.



## 2. Fenómeno físico de las mareas

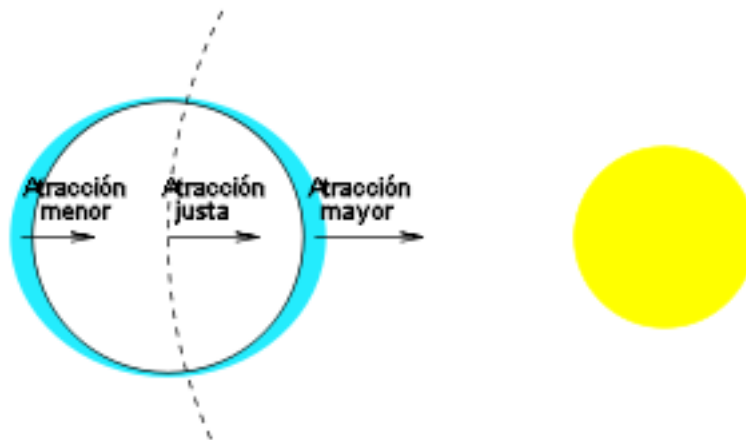
La explicación completa del mecanismo de las mareas, con todas las periodicidades, es extremadamente larga y complicada. Así que se comenzará empleando todas las simplificaciones posibles para luego acercarse a la realidad suprimiendo algunas de estas simplificaciones.

Se considerará que la Tierra es una esfera sin continentes rodeada por una hidrosfera y que gira alrededor del Sol en una trayectoria elíptica sin girar sobre su eje. Por ahora no se tendrá en cuenta la Luna.

Cuando un astro está en órbita alrededor de otro, la fuerza de atracción gravitacional entre los dos viene dada por la ley de gravitación de Newton:

$$F_g = G \frac{M_1 M_2}{d^2}$$

$G=6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$  es la constante de gravitación universal.  
 $M_1$  y  $M_2$  son las masas de los dos cuerpos.  
 $d$  es la distancia entre los centros de masas de los dos astros.



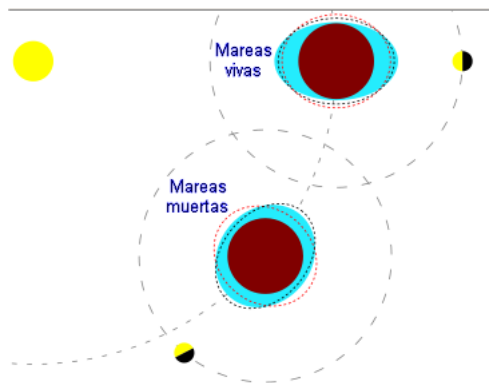
### 3. Teoría de mareas

La teoría convencional que trata de explicar el origen de las mareas, teoriza que los abombamientos mareométricos de los mares, son el resultado final de las fuerzas gravitatorias del Sol y la Luna sobre la Tierra. Se involucra la fuerza centrífuga para tratar de explicar el por qué las mareas más altas no ocurren en el ecuador terrestre, donde lógicamente tenían que ocurrir las mareas más altas del planeta, por su ubicación ecuatorial en el Sistema Solar; claro, si verdaderamente las mareas se originaran fundamentalmente por causas de la atracción gravitatoria ejercida entre la Luna y el Sol.

Los mares no están siendo influenciados por las fuerzas centrífugas, porque si así fuera, entonces las mareas ecuatoriales tendrían que orientarse hacia el este o en la misma dirección rotación de la Tierra. Las fuerzas centrífugas orientan y expulsan masas en dirección a sus giros, no en la dirección contraria (las ondas de las mareas ecuatoriales se orientan en sentido oeste).

#### Mareas Vivas y muertas

El elipsoide debido a las mareas solares tiene el eje mayor dirigido hacia el Sol. El elipsoide debido a las mareas lunares tiene el eje mayor dirigido hacia la Luna. Como la Luna gira alrededor de la Tierra, los ejes mayores de los elipsoides no giran a la misma velocidad. Con respecto a las estrellas, el periodo de rotación del elipsoide solar es de un año. El elipsoide de la Luna es de 27,32 días. El resultado es que los ejes de los dos elipsoides se acercan cada 14,7652944 días. Cuando los ejes mayores de los dos elipsoides están alineados, la amplitud de las mareas es máxima y se llaman mareas vivas o mareas sizigias. Esto sucede en las lunas nuevas y en las lunas llenas. En cambio, cuando el eje mayor de cada elipsoide está alineado con el eje menor del otro, la amplitud de las mareas es mínima. Esto sucede en los cuartos menguantes y los cuartos crecientes. Estas mareas se llaman mareas muertas o mareas de cuadratura.



## 4. Código

Se creó un programa que encontrara las mareas máximas y mínimas de cada mes, así como de cada día. Se analizó los datos de 5 meses y cinco días. Los cuales arrojan diversos resultados.

```
Program Marea
  implicit none
  real, dimension (7674):: h
  integer::i
  real::Mam1,Mam2,Mam3,Mam4,Mam5
  real::Tmx1,Tmx2,Tmx3,Tmx4,Tmx5
  real::Mim1,Mim2,Mim3,Mim4,Mim5
  real::Tmn1,Tmn2,Tmn3,Tmn4,Tmn5
  real::Mxd1,Mxd2,Mxd3,Mxd4,Mxd5
  real::Tdx1,Tdx2,Tdx3,Tdx4,Tdx5
  real::Mnd1,Mnd2,Mnd3,Mnd4,Mnd5
  Real::Tnd1,Tnd2,Tnd3,Tnd4,Tnd5
  real::Dmx,Dmn,Ddx,Ddn
  real::Pmx1,Pmx2,Pmx3,Pmx4,Pmx5
  real::Pmn1,Pmn2,Pmn3,Pmn4,Pmn5
  real::Pdx1,Pdx2,Pdx3,Pdx4,Pdx5
  real::Pdn1,Pdn2,Pdn3,Pdn4,Pdn5
  real::Pmmax,Pmmin,Pdmax,Pdmin

  open(1,file="Mareas.csv")
  open(2,file="Maxmes.dat")
  open(3,file="Minmes.dat")
  open(4,file="Maxdia.dat")
  open(5,file="Mindia.dat")
  do i=1,7674
    read(1,*) h(i)
  end do
  close(1)
  !-----
  Mam1=0
  do i=1,1344
    Dmx=Mam1-h(i)
    If (Dmx<0) then
      Mam1=h(i)
      Tmx1=i/48.0
    end if
  end do
```

```
write(2,*) Mam1,Tmx1*48
```

```
    Mam2=0
    do i=1345,2689
        Dmx=Mam2-h(i)
        If (Dmx<0) then
            Mam2=h(i)
            Tmx2=i/48.0
        end if
    end do
write(2,*) Mam2,Tmx2*48
```

```
    Mam3=0
    do i=2690,4034
        Dmx=Mam3-h(i)
        If (Dmx<0) then
            Mam3=h(i)
            Tmx3=i/48.0
        end if
    end do
write(2,*) Mam3,Tmx3*48
```

```
    Mam4=0
    do i=4035,5379
        Dmx=Mam4-h(i)
        If (Dmx<0) then
            Mam4=h(i)
            Tmx4=i/48.0
        end if
    end do
write(2,*) Mam4,Tmx4*48
```

```
    Mam5=0
    do i=5380,6724
        Dmx=Mam5-h(i)
        If (Dmx<0) then
            Mam5=h(i)
            Tmx5=i/48.0
        end if
    end do
write(2,*) Mam5,Tmx5*48
```

```
!-----
```

```
Mim1=0
do i=1,1344
```

```

        Dmn=Mim1-h(i)
        If(Dmn>0)then
            Mim1=h(i)
            Tmn1=i/48.0
    end if
end do
write(3,*) Mim1,Tmn1*48

    Mim2=0
    do i=1345,2689
        Dmn=Mim2-h(i)
        If(Dmn>0)then
            Mim2=h(i)
            Tmn2=i/48.0
    end if
end do
write(3,*) Mim2,Tmn2*48

    Mim3=0
    do i=2690,4034
        Dmn=Mim3-h(i)
        If(Dmn>0)then
            Mim3=h(i)
            Tmn3=i/48.0
    end if
end do
write(3,*) Mim3,Tmn3*48

    Mim4=0
    do i=4035,5379
        Dmn=Mim4-h(i)
        If(Dmn>0)then
            Mim4=h(i)
            Tmn4=i/48.0
    end if
end do
write(3,*) Mim4,Tmn4*48

    Mim5=0
    do i=5380,6724
        Dmn=Mim5-h(i)
        If(Dmn>0)then
            Mim5=h(i)
            Tmn5=i/48.0
    end if
end do

```

```
write(3,*) Mim5,Tmn5*48
```

```
!-----
```

```
Mxd1=0  
do i=18,65  
Ddx=Mxd1-h(i)  
if (Ddx<0)then  
Mxd1=h(i)  
Tdx1=i*0.5  
end if  
end do
```

```
write(4,*)Mxd1,Tdx1*2
```

```
Mxd2=0  
do i=66,113  
Ddx=Mxd2-h(i)  
if (Ddx<0)then  
Mxd2=h(i)  
Tdx2=i*0.5  
end if  
end do  
write(4,*)Mxd2,Tdx1*2
```

```
Mxd3=0  
do i=114,161  
Ddx=Mxd3-h(i)  
if (Ddx<0)then  
Mxd3=h(i)  
Tdx3=i*0.5  
end if  
end do  
write(4,*)Mxd3,Tdx3*2
```

```
Mxd4=0  
do i=162,209  
Ddx=Mxd4-h(i)  
if (Ddx<0)then  
Mxd4=h(i)  
Tdx4=i*0.5  
end if  
end do  
write(4,*)Mxd4,Tdx4*2
```

```
Mxd5=0
```

```

do i=210,257
Ddx=Mxd5-h(i)
if (Ddx<0)then
Mxd5=h(i)
Tdx5=i*0.5
end if
end do
write(4,*)Mxd5,Tdx5*2

```

!-----

```

Mnd1=0
do i=18,65
Ddn=Mnd1-h(i)
if(Ddn>0)then
Mnd1=h(i)
Tnd1=i*0.5
end if
end do

```

```

write(5,*)Mnd1,Tnd1*2

```

```

Mnd2=0
do i=66,113
Ddn=Mnd2-h(i)
if(Ddn>0)then
Mnd2=h(i)
Tnd2=i*0.5
end if
end do

```

```

write(5,*)Mnd2,Tnd2*2

```

```

Mnd3=0
do i=114,161
Ddn=Mnd3-h(i)
if(Ddn>0)then
Mnd3=h(i)
Tnd3=i*0.5
end if
end do

```

```

write(5,*)Mnd3,Tnd3*2

```

```

Mnd4=0
do i=162,209

```



```

Ddn=Mnd4-h(i)
if(Ddn>0)then
Mnd4=h(i)
Tnd4=i*0.5
end if
end do

write(5,*)Mnd4,Tnd4*2

Mnd5=0
do i=210,257
Ddn=Mnd5-h(i)
if(Ddn>0)then
Mnd5=h(i)
Tnd5=i*0.5
end if
end do

write(5,*)Mnd5,Tnd5*2
!-----

Pmx1=Tmx1
Pmx2=Tmx2-Tmx1
Pmx3=Tmx3-Tmx2
Pmx4=Tmx4-Tmx3
Pmx5=Tmx5-Tmx4

Pmn1=Tmn1
Pmn2=Tmn2-Tmn1
Pmn3=Tmn3-Tmn2
Pmn4=Tmn4-Tmn3
Pmn5=Tmn5-Tmn4

Pdx1=Tdx1
Pdx2=Tdx2-Tdx1
Pdx3=Tdx3-Tdx2
Pdx4=Tdx4-Tdx3
Pdx5=Tdx5-Tdx4

Pdn1=Tnd1
Pdn2=Tnd2-Tnd1
Pdn3=Tnd3-Tnd2
Pdn4=Tnd4-Tnd3
Pdn5=Tnd5-Tnd4

Pmmax=(Pmx1+Pmx2+Pmx3+Pmx4+Pmx5)/5.0

```

```

Pmmin=(Pmn1+Pmn2+Pmn3+Pmn4+Pmn5)/5.0
Pdmax=(Pdx1+Pdx2+Pdx3+Pdx4+Pdx5)/5.0
Pdmin=(Pdn1+Pdn2+Pdn3+Pdn4+Pdn5)/5.0

```

```

write(*,*) 'Las mareas Máximas mensuales fueron:'
write(*,*) 'Primer mes: ',Mam1, 'm sobre el nivel del mar en el día: ',Tmx1
write(*,*) 'Segundo mes: ',Mam2,'msobre el nivel del mar el día: ',Tmx2
write(*,*) 'Tercer mes: ',Mam3, 'm sobre el nivel del mar en el día: ',Tmx3
write(*,*) 'Cuarto mes: ',Mam4, 'm sobre el nivel del mar en el día: ',Tmx4
write(*,*) 'Quinto mes: ',Mam5, 'm sobre el nivel del mar en el día: ',Tmx5
write(*,*) '=====,'
write(*,*) 'Las mareas mínimas mensuales fueron'
write(*,*) 'Primer mes: ',Mim1, 'm sobre el nivel del mar en el día: ',Tmn1
write(*,*) 'Segundo mes: ',Mim2,'msobre el nivel del mar el día: ',Tmn2
write(*,*) 'Tercer mes: ',Mim3, 'm sobre el nivel del mar en el día: ',Tmn3
write(*,*) 'Cuarto mes: ',Mim4, 'm sobre el nivel del mar en el día: ',Tmn4
write(*,*) 'Quinto mes: ',Mim5, 'm sobre el nivel del mar en el día: ',Tmn5
write(*,*) '=====,'
write(*,*) 'Las mareas máximas diarias fueron:'
write(*,*) 'Primer día: ',Mxd1
write(*,*) 'Segundo día: ',Mxd2
write(*,*) 'Tercer día: ',Mxd3
write(*,*) 'Cuarto día: ',Mxd4
write(*,*) 'Quinto día: ',Mxd4
write(*,*) '=====,'
write(*,*) 'Las mareas mínimas diarias fueron:'
write(*,*) 'Primer día: ',Mnd1
write(*,*) 'Segundo día: ',Mnd2
write(*,*) 'Tercer día: ',Mnd3
write(*,*) 'Cuarto día: ',Mnd4
write(*,*) 'Quinto día: ',Mnd4
write(*,*) '=====,'
write(*,*) 'El periodo mensual de la marea máxima es de ',Pmmax,' días'
write(*,*) 'El periodo mensual de la marea mínima es de ',Pmmin,' días'

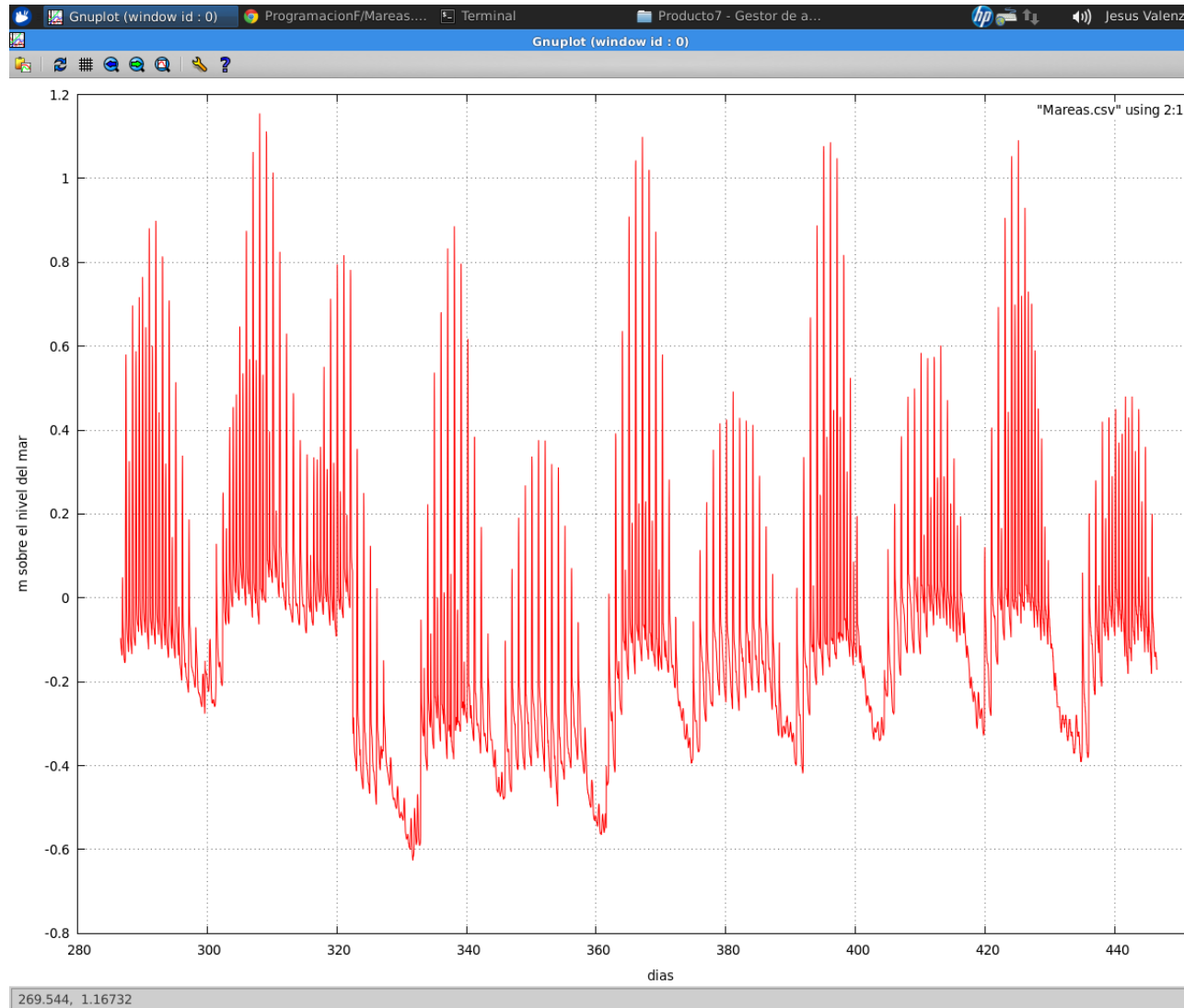
write(*,*) 'El periodo diario de la marea máxima es de ',Pdmax, 'hrs'
write(*,*) 'El periodo diario de la marea mínima es de ',Pdmin, 'hrs'
end program Marea

```

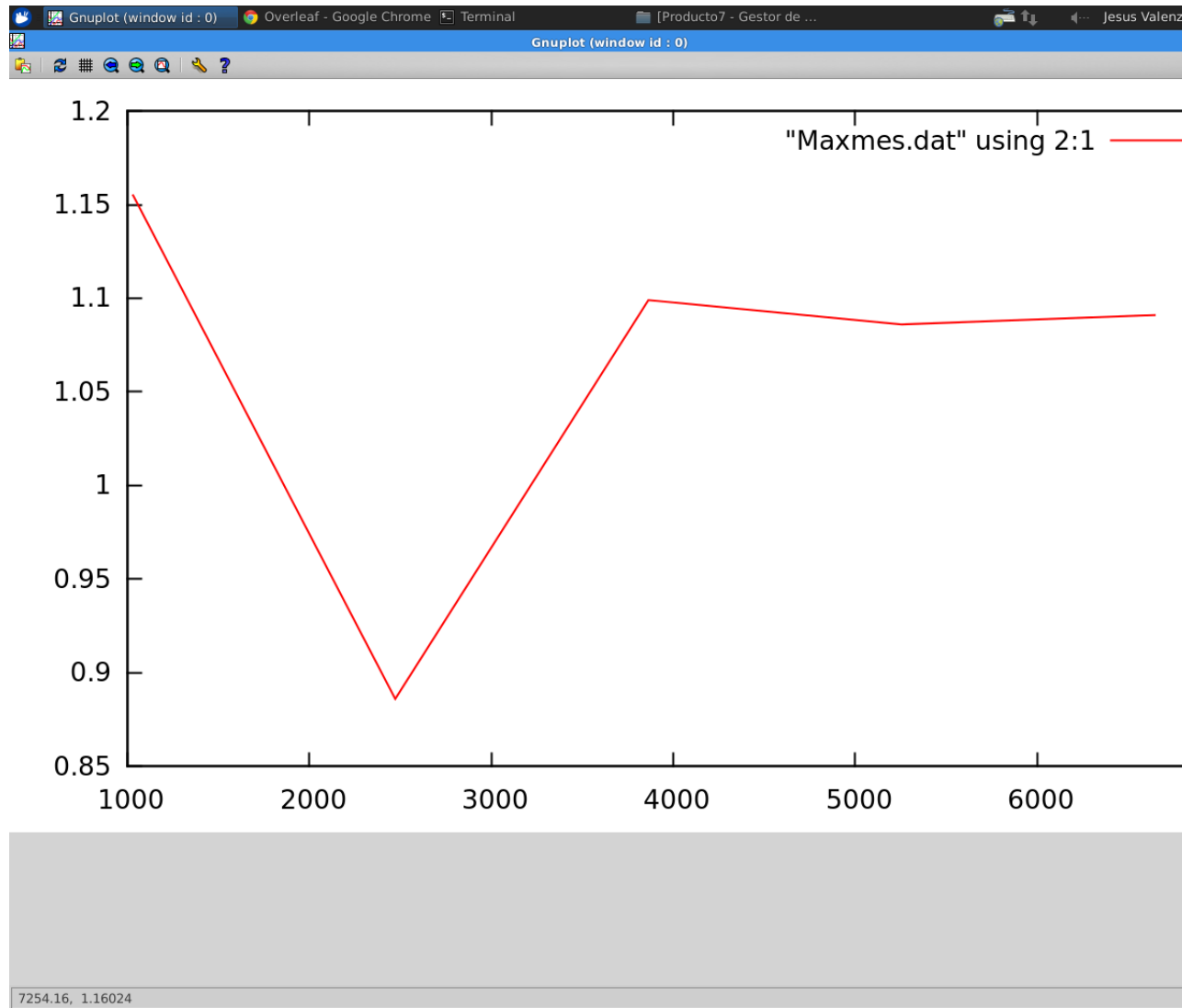
## 4.1. Resultados

```
Mareas.f90 - LibreOffice... Overleaf - Google Chrome Terminal [Producto7 - Gestor de ... Jesus Valenz
Terminal
Archivo Editar Ver Terminal Pestañas Ayuda
jvalenzuela@ltsp34:~$ cd ProgFortran
jvalenzuela@ltsp34:~/ProgFortran$ cd Producto7
jvalenzuela@ltsp34:~/ProgFortran/Producto7$ ./xMareas
Las mareas Máximas mensuales fueron:
Primer mes: 1.15499997 m sobre el nivel del mar en el día: 21.4791660
Segundo mes: 0.885999978 msobre el nivel del mar el día: 51.5000000
Tercer mes: 1.09899998 m sobre el nivel del mar en el día: 80.5000000
Cuarto mes: 1.08599997 m sobre el nivel del mar en el día: 109.500000
Quinto mes: 1.09099996 m sobre el nivel del mar en el día: 138.479172
=====
Las mareas mínimas mensuales fueron
Primer mes: -0.275999993 m sobre el nivel del mar en el día: 13.0000000
Segundo mes: -0.625999987 msobre el nivel del mar el día: 45.0833321
Tercer mes: -0.564999998 m sobre el nivel del mar en el día: 74.1666641
Cuarto mes: -0.418500006 m sobre el nivel del mar en el día: 105.229164
Quinto mes: -0.340999991 m sobre el nivel del mar en el día: 117.125000
=====
Las mareas máximas diarias fueron:
Primer día: 0.579999983
Segundo día: 0.697000027
Tercer día: 0.717000008
Cuarto día: 0.764999986
Quinto día: 0.764999986
=====
Las mareas mínimas diarias fueron:
Primer día: -0.155000001
Segundo día: -0.133000001
Tercer día: -9.00000036E-02
Cuarto día: -0.123000003
Quinto día: -0.123000003
=====
El periodo mensual de la marea máxima es de 27.6958351 días
El periodo mensual de la marea mínima es de 23.4249992 días
El periodo diario de la marea máxima es de 21.2999992 hrs
El periodo diario de la marea mínima es de 25.7000008 hrs
jvalenzuela@ltsp34:~/ProgFortran/Producto7$
jvalenzuela@ltsp34:~/ProgFortran/Producto7$
jvalenzuela@ltsp34:~/ProgFortran/Producto7$
```

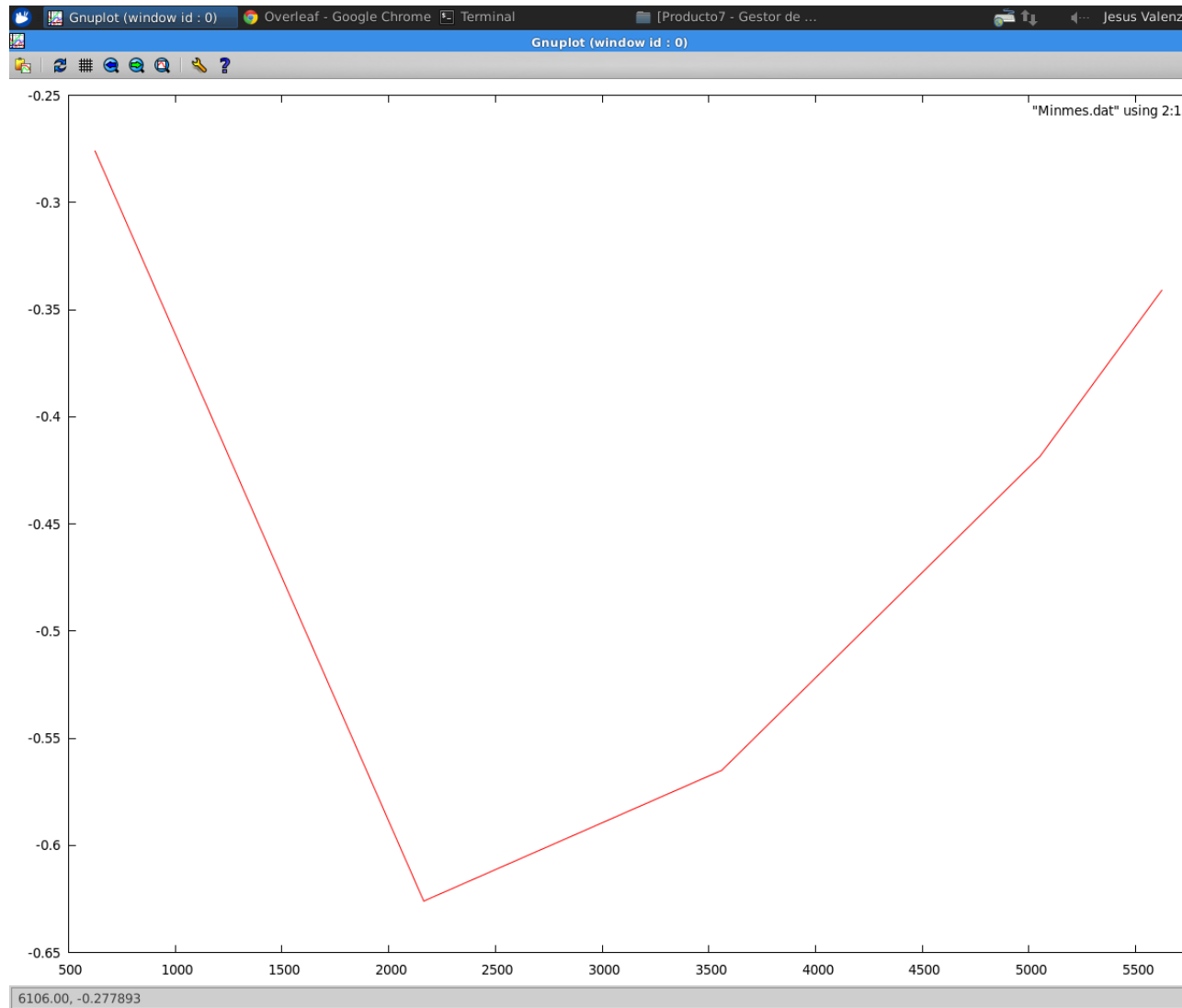
## 5. Gráfica



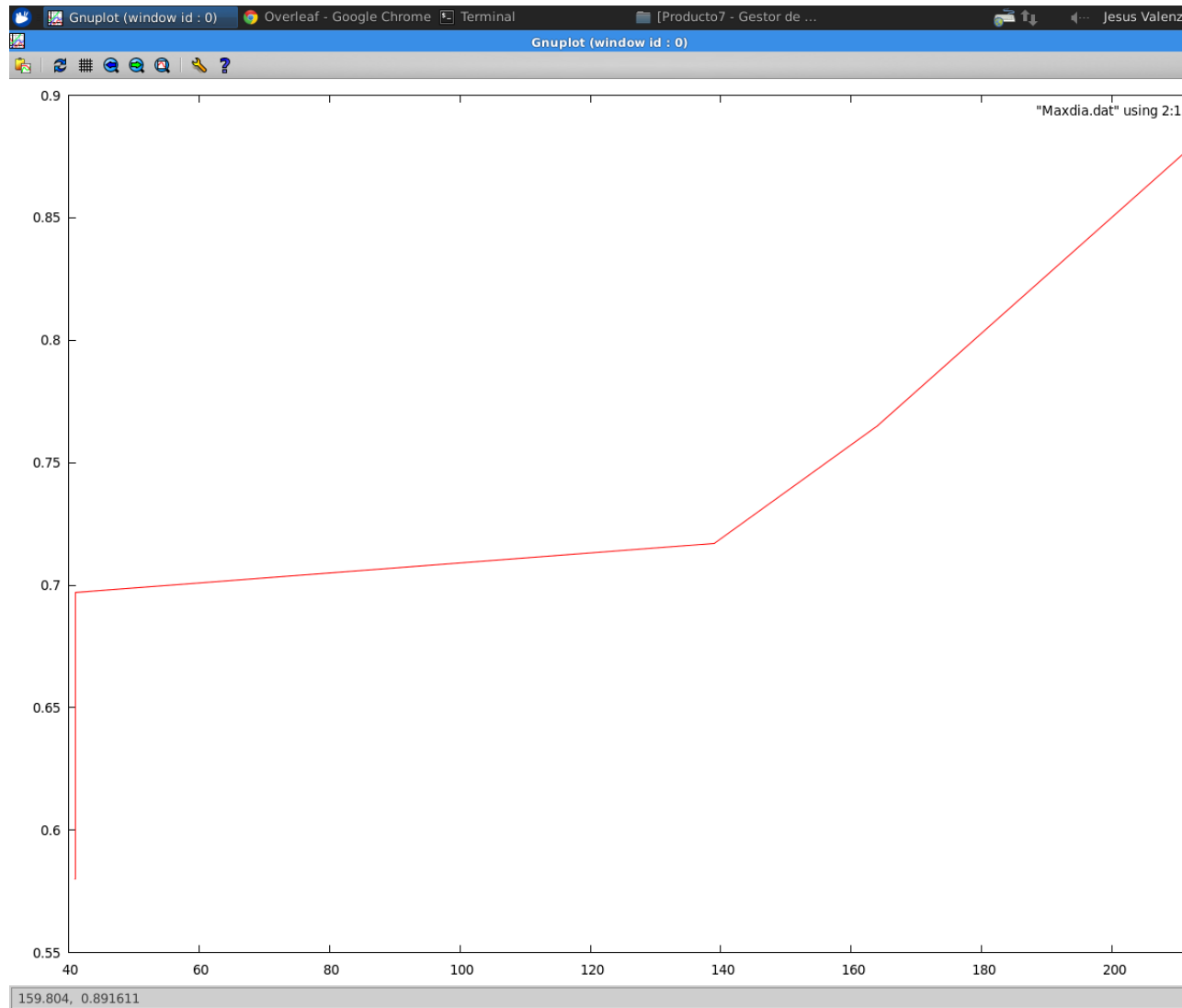
### 5.0.1. Maximo mes



### 5.0.2. Mínimas por mes



## 5.1. Maximos día



## 5.2. Mínimos día

