Práctica de ordenador 1: Movimiento relativo: el tiro.

Laura Mei Gutiérrez Ramis

DNI: 77172684W

Curso 2022/2023, grado de Física.

ÍNDICE

Introducción

En esta práctica hemos estudiado el tiro parabólico, considerado como una aproximación al movimiento que realiza un objeto que cruza la atmósfera sin ningún sistema de propulsión o sustentación. Hemos analizado el efecto de la rotación de la Tierra sobre un tiro parabólico puro, con velocidades similares a los proyectores de artillería clásicos.

Establecemos 2 sistemas de referencia: uno que rota con la Tierra y otro fijo (‘), los cuales comparten origen y en los que el eje z coincide con con el eje de rotación de la Tierra.

Partimos de la fórmula

$$\vec{a} = \vec{a}\,' + \vec{r} \times \vec{\alpha} + (\vec{\omega} \times \vec{r}) \times \vec{\omega} + 2\vec{v} \times \vec{\omega}$$

Donde el término en azul es el centrípeto y el rojo fuerza de Coriolis.

Para el caso terrestre $\alpha = 0$ y $\vec{a}\,' = \vec{g}$:

$$\vec{a} = \vec{g} + (\vec{\omega} \times \vec{r}) \times \vec{\omega} + 2\vec{v} \times \vec{\omega}$$

Considerando que el cambio de latitud debido al movimiento del proyectil es despreciable, el término centrípeto solo depende de la latitud φ del punto de lanzamiento, siendo su módulo:

$/(\vec{\omega} \times \vec{r}) \times \omega/ = 0.3373 \cdot \cos(\varphi)$.

Y partiendo de que la velocidad angular de la Tierra es:

$\vec{\omega} = (\omega x, 0, \omega y) = \omega(-\cos(\varphi), 0, \sin(\varphi))$,

El término de Coriolis queda:

$$2\, v_y\, \omega_z \vec{i} + 2\,(v_z\, \omega_x - v_x\, \omega_z)\vec{j} - 2 v_y \omega_x \vec{k}$$

1. Cuestión 1

En el programa, la aceleración se ha modificado con la fuerza centrípeta y la fuerza de Coriolis. Para saber cuál de las dos es más importante hemos anulado primero una y luego la otra y hemos estudiado el movimiento.

Si analizamos el tiro sin anular ninguna de las fuerzas:

Componente z de la velocidad angular: 0.019793595908032504

Tiro contando rotación:

n =23857

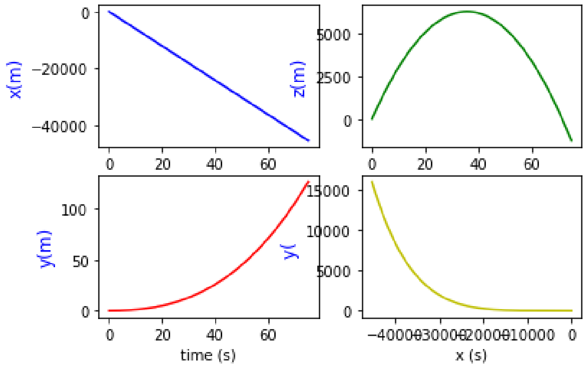
xf= -43346.59388433487   yf= 111.77836677566341   zf=
-0.0025093007516261423

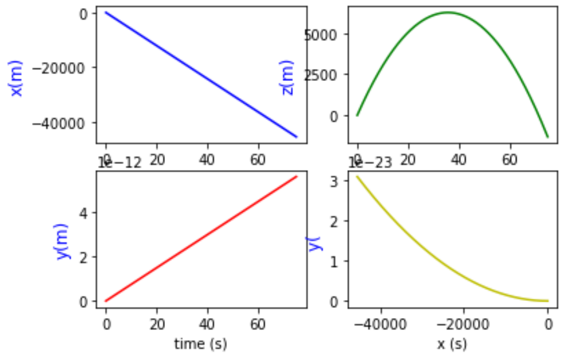
Tiro puro:

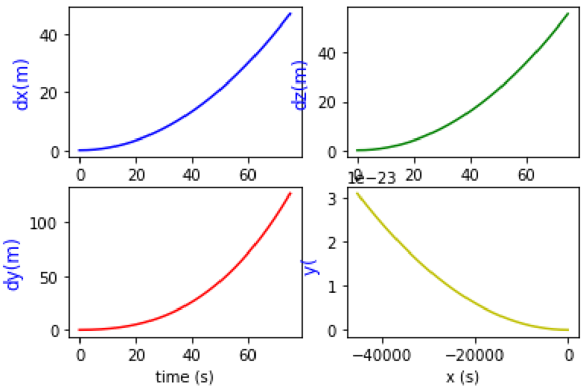
na= 23809

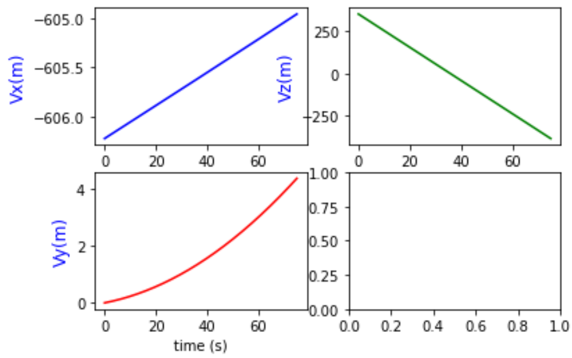
xaf= -43302.04964326347   yaf= 5.3029716492142415e-12
zaf=-0.450026101374533

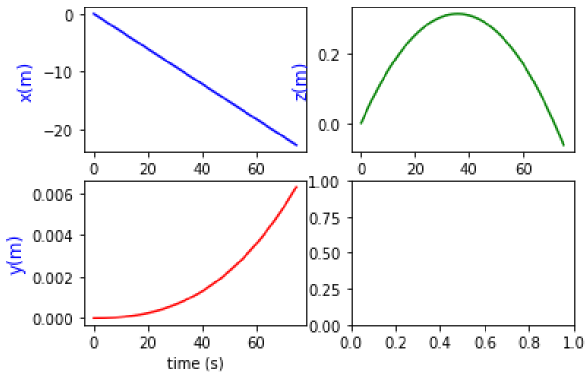
Error en el tiro = 120.32702394583166

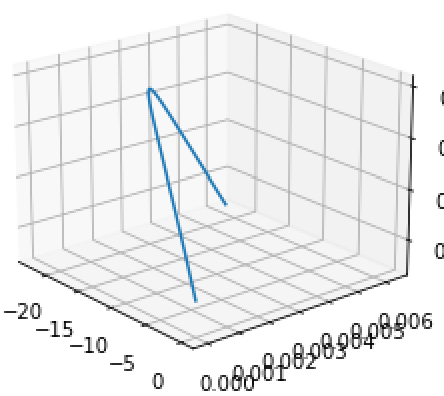

x(m)
z(m)
y(m)
y(
time (s)
x (s)

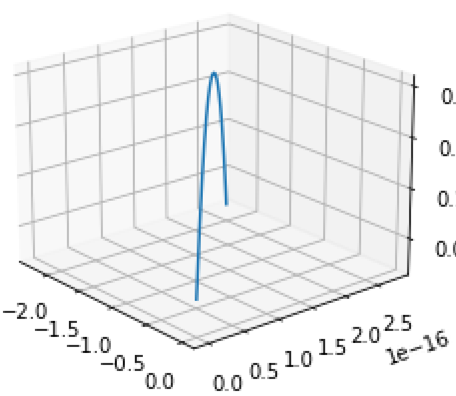

x(m)
z(m)
y(m)
y(
1e−12
1e−23
time (s)
x (s)


dx(m)
dz(m)
dy(m)
y(
1e−23
time (s)
x (s)


Vx(m)
Vz(m)
Vy(m)
time (s)


x(m)
z(m)
y(m)
time (s)




1e−16

Primero anulamos la fuerza de Coriolis:

Tiro contando rotación:

n= 23857

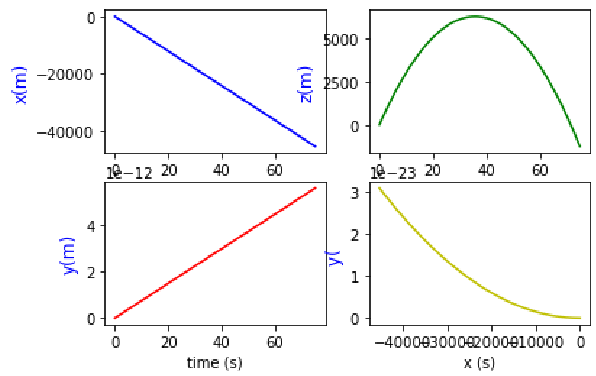
xf= -43346.80656979175   yf= 5.313662675261631e-12   zf= -0.2559779580042232

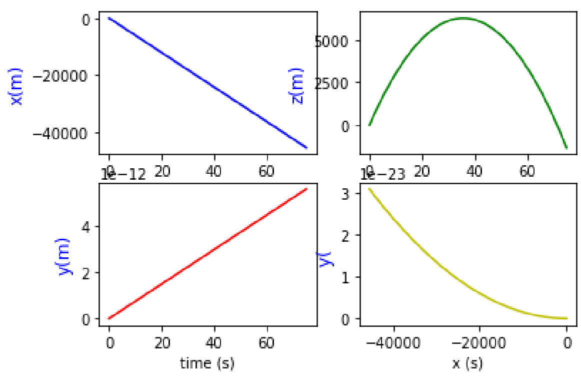
Tiro puro:

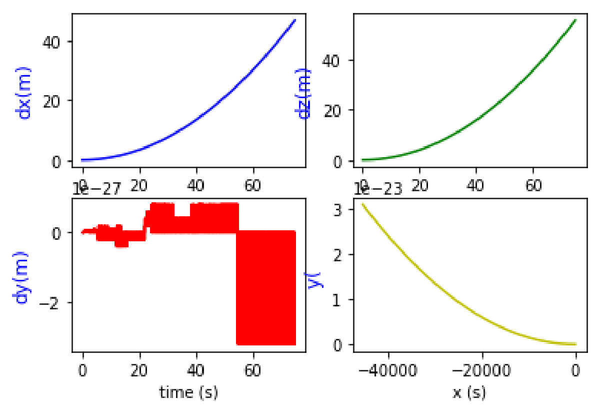
na= 23809

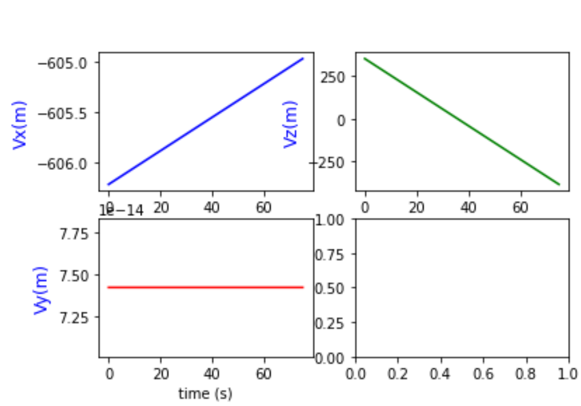
xaf= -43302.04964326347   yaf= 5.3029716492142415e-12
zaf=-0.450026101374533

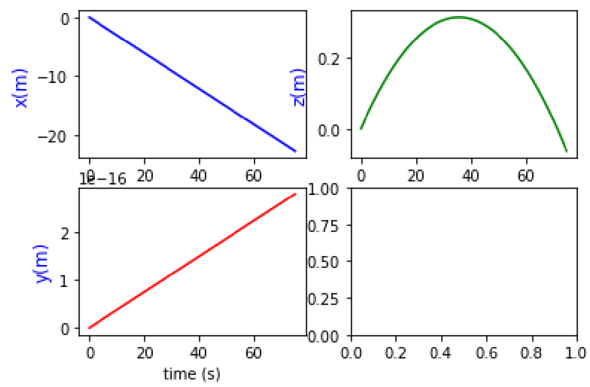
Error en el tiro = 44.75692652828002

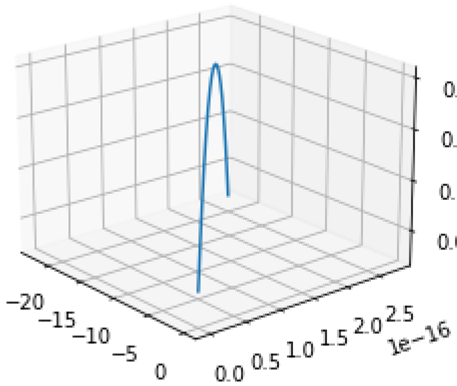


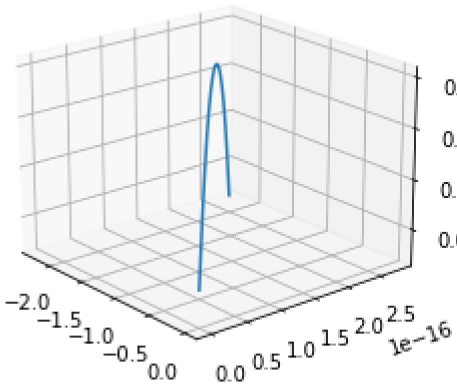












Posteriormente anulamos la fuerza centrípeta:

Tiro contando rotación:

n= 23809

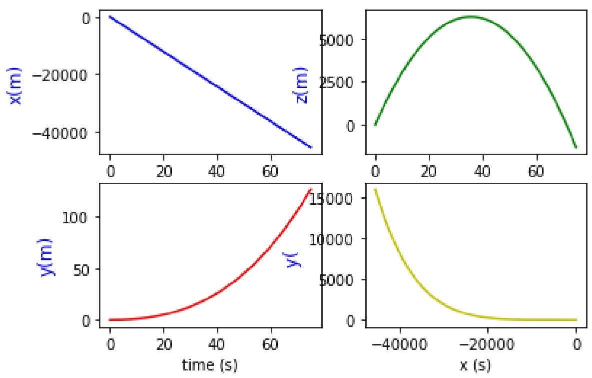
xf= -43301.838080445435   yf= 111.42405166403744   zf= -0.197895352879641

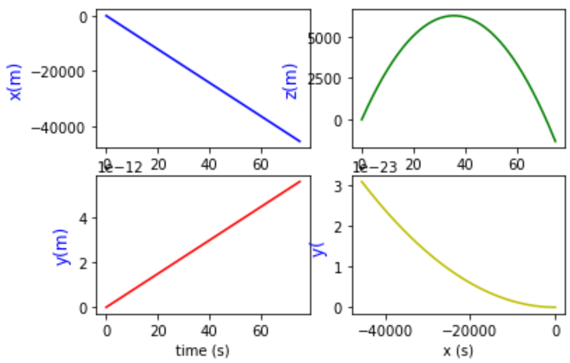
Tiro puro:

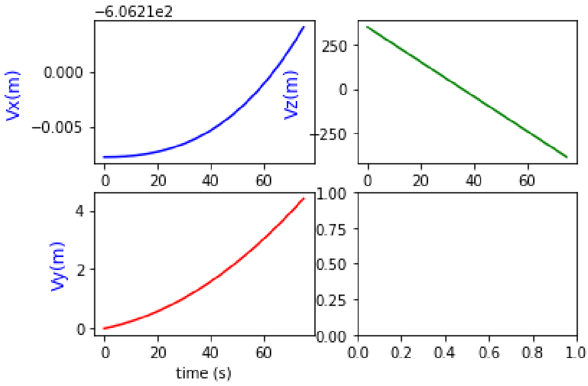
na= 23809

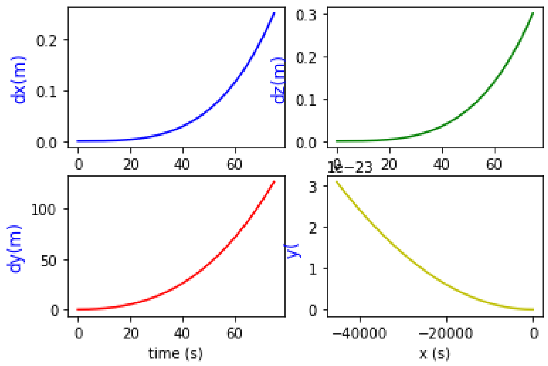
xaf= -43302.04964326347   yaf= 5.3029716492142415e-12
zaf=-0.450026101374533

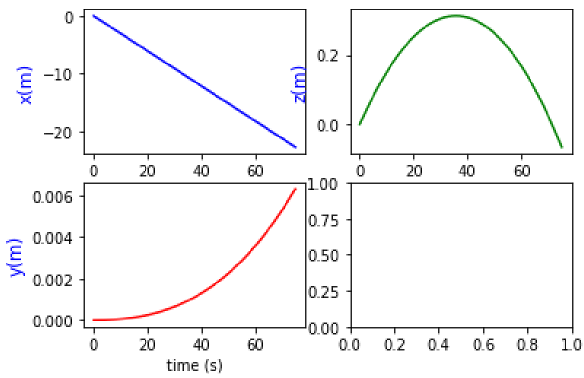
Error en el tiro = 111.42425251288373

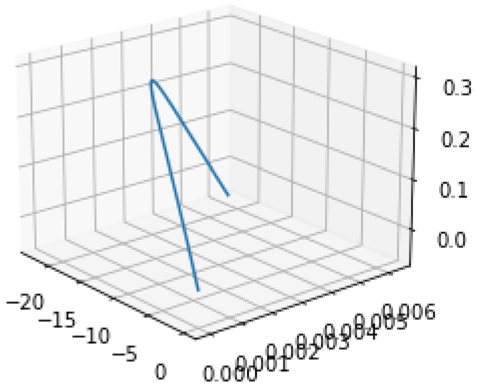

x(m)
z(m)
y(m)
y(
time (s)
x (s)

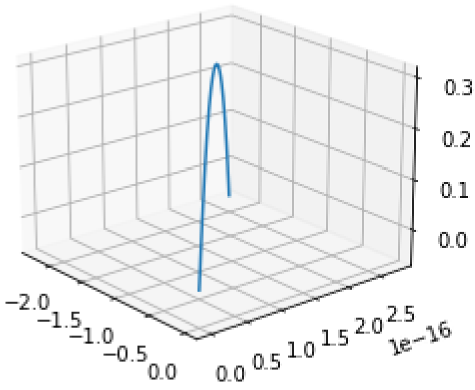

x(m)
z(m)
1e−12
y(m)
1e−23
y(
time (s)
x (s)


−6.0621e2
Vx(m)
Vz(m)
Vy(m)
time (s)


dx(m)
dz(m)
1e−23
dy(m)
y(
time (s)
x (s)


x(m)
z(m)
y(m)
time (s)



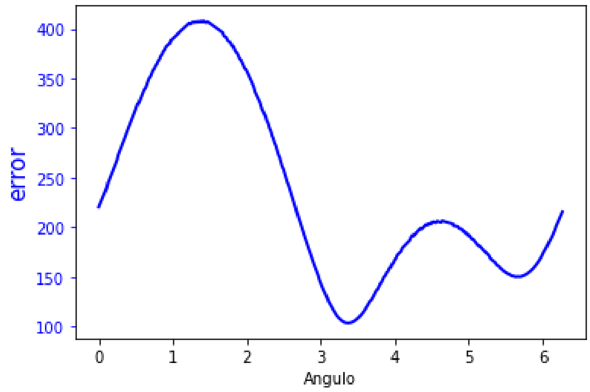


Conclusión:

El error del tiro en comparación con el tiro parabólico puro es: 120.327 m.
Al anular la fuerza de Coriolis: 44.757 m.
Al anular la fuerza centrípeta: 111.424 m.
De esta manera concluimos que la fuerza de Coriolis es la más importante ya que es la que más diverge del tiro puro. Por otra parte, la representación de la fuerza centrípeta mantiene la forma de la trayectoria teniendo en cuenta ambas.

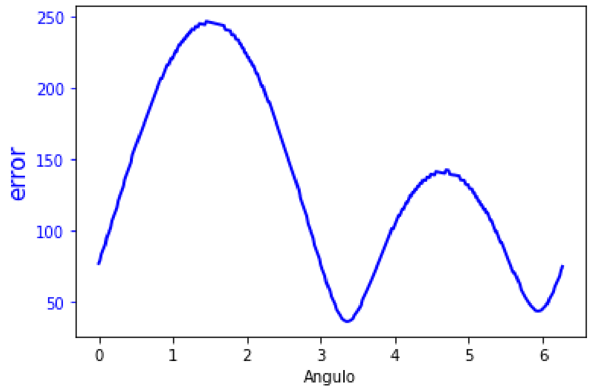
2. Cuestión 2

En esta cuestión hemos modificado los ángulos de lanzamiento de manera que el tiro caiga lo más cerca posible de la posición predicha por el tiro parabólico puro.
Los datos iniciales son los siguientes:
Latitud: lat= 40.0
Ángulo de alzada del tiro: alz=30.0
Ángulo plano 0º Sur eje X, 90º Este eje y, 180º Sur 270º Oeste: pla=180.0
Para los que el error en el tiro es 120.327 m.



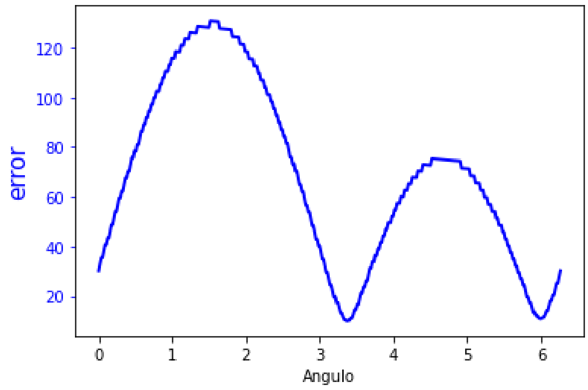
Si el ángulo de alzada es alz=15.0

Error en el tiro = 55.176 m.



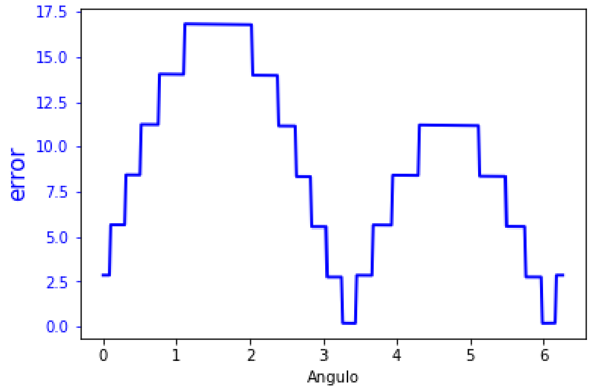
Si el ángulo de alzada es alz=7.5

Error en el tiro = 24.550 m.



Si el ángulo de alzada es alz=1

Error en el tiro = 2.058 m.

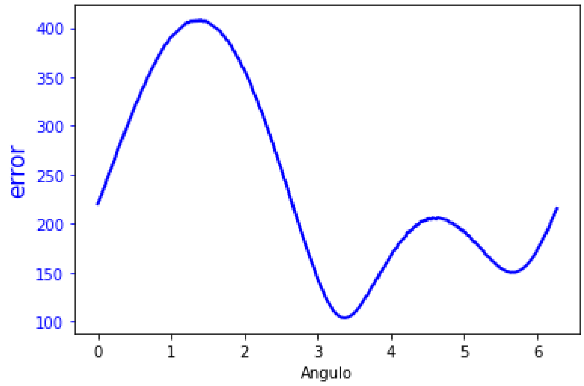


Conclusión:

Observamos que el error de tiro con respecto al tiro parabólico puro es menor cuanto más pequeño es el ángulo de lanzamiento.

3. Cuestión 3

Estudiamos en el segundo programa cómo la dirección en la que disparamos afecta al tiro e intentamos darle explicación al origen de esta diferencia.
Tomamos una latitud L=40:



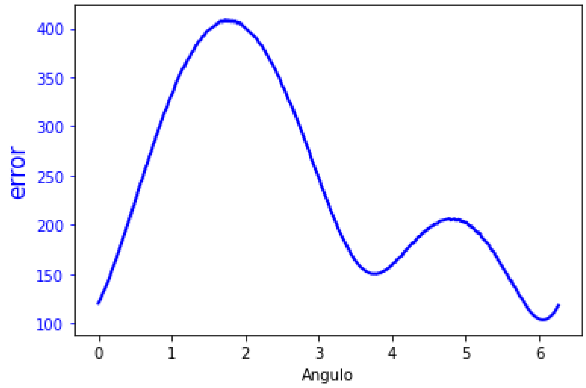
Conclusión:

111 1.9373154697137058
Error en el tiro = 365.88941208724333
193 3.368485456349056
Error en el tiro = 103.81168314481714

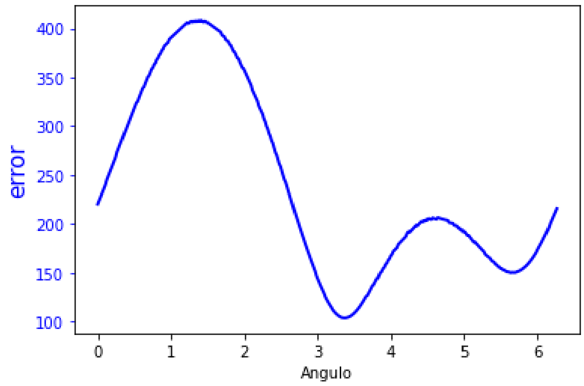
Por lo que el error máximo se encuentra cuando el ángulo es de 111º o 1.937 rad (365.889 m). Y el mínimo error cuando el ángulo es de 193º o 3.368 rad (103.812 m).

4. Cuestión 4

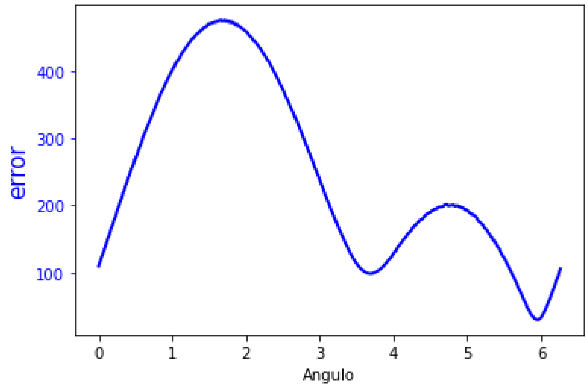
Por último, hemos modificado la latitud y hemos examinado sus efectos. Si nos desplazamos al hemisferio Sur (latitudes negativas) se observa algún cambio. Tomamos una latitud L=-40:



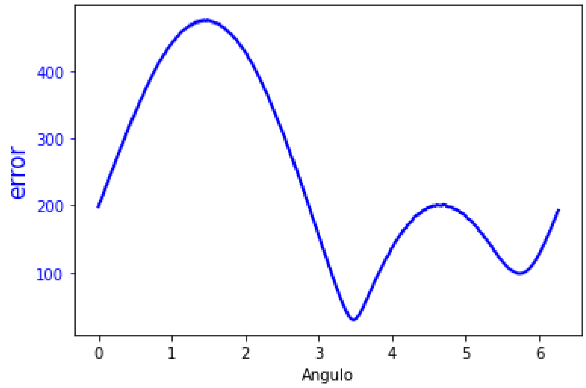
Tomando una latitud L=40:



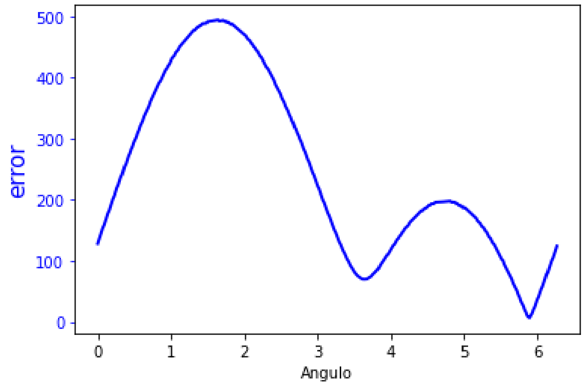
Tomando una latitud L=-20:



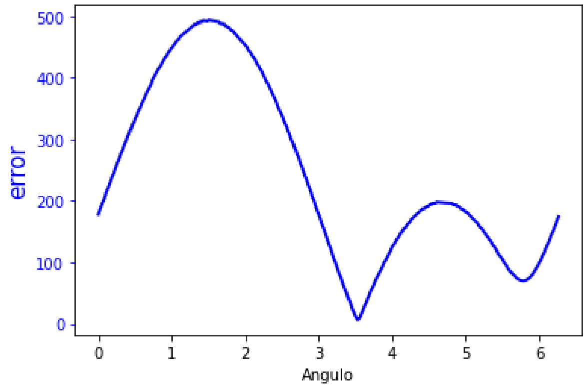
Tomando una latitud L=20:



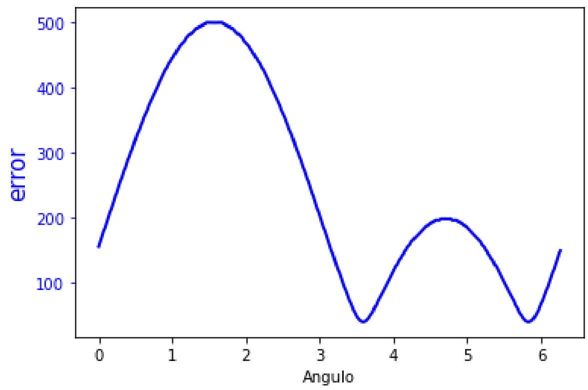
Tomando una latitud L=-10:



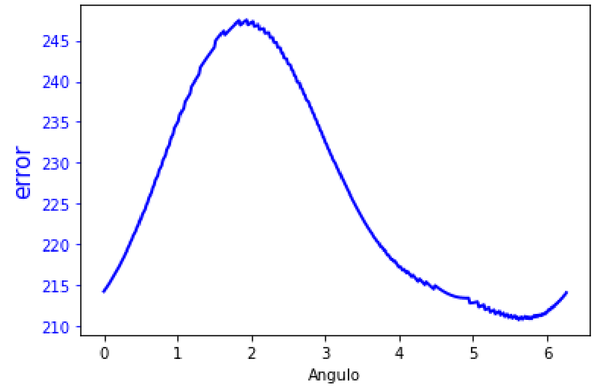
Tomando una latitud L=10:



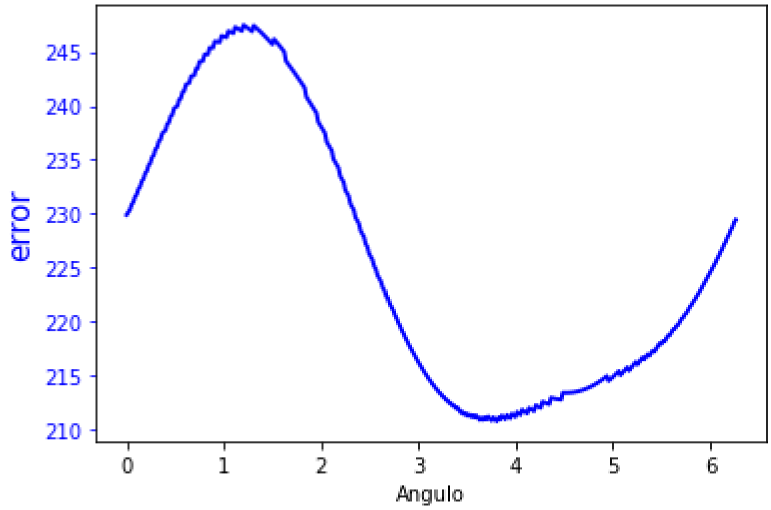
Tomando una latitud L=0:



Tomando una latitud L=-80:



Tomando una latitud L=80:



Conclusión:

Observamos que los mínimos absolutos en la representación de errores para latitudes positivas se dan en ángulos alrededor de 180º (dirección sur) mientras que para latitudes negativas se dan en ángulos alrededor de 0º(dirección norte).