

Universidad Politécnica de Guanajuato
Departamento de Ingeniería Robótica

Una introducción a Python

Pedro Jorge De Los Santos

27 de mayo de 2019

Índice general

1. Fundamentos del lenguaje	5
1.1. Python	5
1.2. Instalando Python	5
1.3. La consola de Python como una calculadora básica	5
1.4. Variables y tipos de datos	7
1.4.1. Variables	7
1.4.2. Enteros	8
1.4.3. De coma flotante	8
1.4.4. Cadenas de caracteres	8
1.4.5. Booleanos	9
1.4.6. Listas	9
1.4.7. Tuplas	10
1.4.8. Diccionarios	10
1.5. Operadores relacionales y lógicos	11
1.6. Control de flujo	11
1.6.1. Condicional if-elif-else	11
1.6.2. Bucle for	11
1.6.3. Bucle while	13
1.7. Funciones	13
1.7.1. Funciones nativas de Python (<i>built-in</i>)	13
1.7.2. Funciones definidas por el usuario	14
1.8. Ejercicios	17
2. NumPy: operaciones matriciales	19
3. Matplotlib: visualización gráfica	20
3.1. Una primera aproximación	20
3.2. La función <code>plot</code>	21
3.2.1. Graficando funciones matemáticas	21
3.2.2. Modificando el color, estilo y grosor de línea	24
3.2.3. Título de gráfica, etiquetas de ejes y nombres de curvas	25
3.2.4. Anotaciones	26
3.3. Gráficas en coordenadas polares	28

3.4. Gráficas de barras	29
3.5. Gráficas de curvas paramétricas en el espacio	29
3.6. Gráficas de superficies	31
3.7. Ejercicios	31
4. SymPy: un sistema de álgebra computacional	32
4.1. Variables simbólicas	32
4.2. Manipulación algebraica	33
4.3. Resolviendo ecuaciones e inecuaciones	35
4.3.1. Ecuaciones polinómicas	36
4.3.2. Ecuaciones trigonométricas	36
4.4. Cálculo	36
4.4.1. Límites	37
4.4.2. Derivadas	37
4.4.3. Integrales	37
4.5. Vectores	38
4.6. Matrices	40
4.7. Ejercicios	42
5. Pandas: análisis de datos	44
6. Programación orientada a objetos	45
7. Interfaces gráficas en wxPython	46
Referencias	46

Borrador

Fundamentos del lenguaje

1.1 Python

Python es un lenguaje de programación, interpretado, de alto nivel y propósito general, además de ser un proyecto libre y de código abierto, con una comunidad enorme implicada en el desarrollo y mantenimiento de librerías que hacen posible el *multidominio* actual de Python.

Dada su concepción como lenguaje de propósito general, Python es utilizado en una diversidad de aplicaciones, desde desarrollo web, encriptación, análisis de datos, procesamiento de imágenes, aprendizaje automático, computación simbólica, etc.

Las características de este lenguaje le hacen propicio para el prototipado de aplicaciones, dado que es muy sencillo y rápido revisar y modificar el código desarrollado. Otra característica muy notable de Python es su sintaxis simple y fácil de aprender, lo cual ayuda al momento de introducirse en el desarrollo de algoritmos o el mundo propio de la programación de computadoras.

1.2 Instalando Python

En estos apuntes se utilizará la distribución Anaconda de Python, la cual contiene el intérprete y las librerías del *core*, pero además incluye la mayoría de librerías utilizadas para el desarrollo de aplicaciones de corte técnico-científico.

La descarga de Anaconda puede realizarla desde el sitio <https://www.anaconda.com/download/>, selecciona el paquete de descarga conforme al sistema operativo (Windows, macOS o Linux) así como la arquitectura de su PC. La instalación suele ser muy sencilla, puede seguir las instrucciones dadas en el *How to install ANACONDA* de la misma página.

1.3 La consola de Python como una calculadora básica

Una vez instalado Anaconda puede testear la correcta instalación abriendo **Anaconda Prompt**, la cual es una consola desde la cual puede ejecutar algunos Scripts que complementan el funcionamiento de Python. Puede buscar esta consola en la carpeta de instalación correspondiente. Cuando la ejecute observará una consola como la mostrada en la figura 1.1

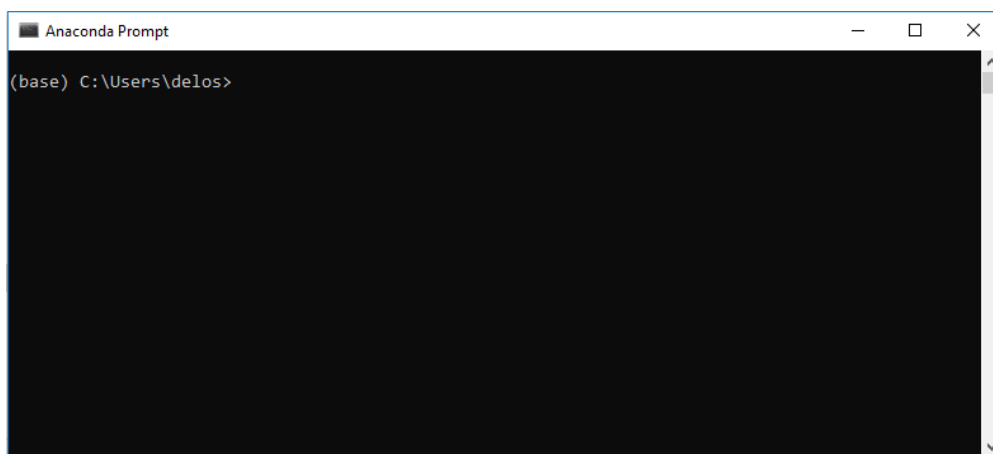


Figura 1.1 Anaconda Prompt

Dentro de esta consola escriba `python` y presione la tecla **Enter**, al hacer esto observará que la consola cambia el prompt compuesto de un directorio por tres signos de *mayor que* tal como se puede verificar en la figura 1.2.

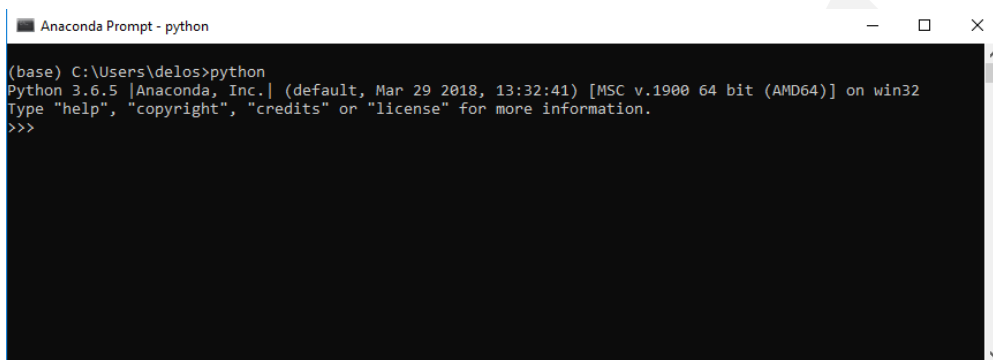


Figura 1.2 Consola Python

A partir de este momento puede ingresar código Python y teclear **Enter** para ejecutar la instrucción y la consola le devolverá lo que resulte de esto. Por ejemplo, si escribe un número cualesquiera y presiona enter, la consola le devolverá justamente el mismo número:

```
>>> 1000
1000
```

Puede ejecutar un simple suma aritmética:

```
>>> 100 + 200
300
```

O una resta:

```
>>> 550 - 650
-100
```

Naturalmente Python maneja sin complicaciones las cantidades negativas. Una multiplicación la realiza con el

operador *:

```
>>> 50*25
1250
```

Para las divisiones utiliza el operador /:

```
>>> 1/2
0.5
```

Puede elevar a una potencia utilizando como operador el doble asterisco:

```
>>> 13**2
169
```

Inclusive existe la posibilidad de definir números complejos y realizar operaciones con ellos:

```
>>> 5 + 2j
(5+2j)
>>> (5 + 2j) - (10 + 7j)
(-5-5j)
>>> (5 + 2j)*(10 + 7j)
(36+55j)
```

Puede ampliar la capacidad de las funcionalidades *built-in* de Python si importa alguna librería, como `math`, pero claro, eso será un tema a tratar con posterioridad.

1.4 Variables y tipos de datos

Al ser un lenguaje de alto nivel, Python dispone de los tipos de datos elementales en cualquier lenguaje de programación, pero además incluye estructuras de datos muy *avanzadas* y con altas prestaciones que facilitan en muchos aspectos la tarea del programador.

Python es un lenguaje de tipado dinámico en el que no hace falta declarar el tipo de dato que asignará a una variable, de igual manera una variable puede cambiar de tipo conforme la ejecución del programa, por ello se debe tener cuidado con la sintaxis para definir cada tipo de dato.

1.4.1 Variables

Las variables son referencias a los objetos de Python, son creadas por asignación mediante el signo `=`, por ejemplo:

```
>>> a = 2
>>> b = 10
>>> a + b
12
```

El nombre de una variable puede constar de una combinación de caracteres alfanuméricos y el guión bajo, siempre y cuando el primer carácter no sea un dígito. Además, en Python los nombres de variables son *case sensitive*, es decir, se distingue entre mayúsculas y minúsculas.

```
>>> D = 177.8
>>> d = 95
>>> print(D)
177.8
>>> print(d)
95
```

Existen algunas palabras reservadas del lenguaje que no puede utilizar como nombre de variable, puede verificar cuáles son estas palabras tecleando lo siguiente:

```
>>> import keyword
>>> keyword.kwlist
['False', 'None', 'True', 'and', 'as', 'assert', 'break', 'class', 'continue', 'def', 'del',
 'elif', 'else', 'except', 'finally', 'for', 'from', 'global', 'if', 'import', 'in', 'is',
 'lambda', 'nonlocal', 'not', 'or', 'pass', 'raise', 'return', 'try', 'while', 'with',
 'yield']
```

1.4.2 Enteros

1.4.3 De coma flotante

1.4.4 Cadenas de caracteres

Las cadenas de caracteres (denominadas habitualmente y de manera indistinta como *strings*) es un tipo de dato que contiene una secuencia de símbolos, mismos que pueden ser alfanuméricos hasta cualquier otro símbolo propio de un sistema de escritura. En Python los strings se definen entre comillas dobles o simples:

```
>>> "esta es una cadena de caracteres"
'esta es una cadena de caracteres'
>>> 'esta también'
'esta también'
```

Puede concatenar dos strings utilizando el operador +:

```
>>> "Hola" + "mundo"
'Holamundo'
```

Notará que Python por sí mismo no sabe que estamos uniendo dos palabras y que entre ellas debería haber un espacio para su correcta lectura, evidentemente este tipo de cuestiones son las que el programador debe tomar en cuenta al escribir un código.

Una cadena de caracteres es lo que en Python se conoce como *iterable*, es decir, una secuencia de elementos agrupados a los cuales se puede acceder de manera individual mediante indexación. Por ejemplo, sea nombre una cadena de caracteres dada por:


```
>>> nombre="Catalina"
```

Puede acceder a cada una de las letras que componen dicha cadena mediante la notación `iter[pos]`, donde `iter` es el nombre del iterable y `pos` la posición en que se encuentra el caracter al cual se desea acceder, siendo 0 para la primera letra, 1 para la segunda y así de manera consecutiva. Por ejemplo:

```
>>> nombre[0]
'C'
>>> nombre[4]
'l'
>>> nombre[2]
't'
```

Al último elemento, sin importar la longitud de la cadena, se accede con el índice -1:

```
>>> nombre[-1]
'a'
```

1.4.5 Booleanos

1.4.6 Listas

Las listas son estructuras de datos que pueden almacenar cualquier otro tipo de dato, inclusive una lista puede contener otra lista, además, la cantidad de elementos de una lista se puede modificar removiendo o añadiendo elementos. Para definir una lista se utilizan los corchetes, dentro de estos se colocan todos los elementos separados por comas:

```
>>> calificaciones = [10,9,8,7.5,9]
>>> nombres = ["Ana","Juan","Sofía","Pablo","Tania"]
>>> mezcla = [True, 10.5, "abc", [0,1,1]]
```

Las listas son iterables y por tanto se puede acceder a sus elementos mediante indexación:

```
>>> nombres[2]
'Sofía'
>>> nombres[-1]
'Tania'
```

Se tiene la posibilidad de agregar elementos a una lista mediante el método `append`:

```
>>> nombres.append("Antonio")
>>> nombres.append("Ximena")
>>> print(nombres)
['Ana', 'Juan', 'Sofía', 'Pablo', 'Tania', 'Antonio', 'Ximena']
```

El método `remove` elimina un elemento de una lista:

```
>>> nombres.remove("Ana")
>>> print(nombres)
['Juan', 'Sofía', 'Pablo', 'Tania', 'Antonio', 'Ximena']
```

Sí el valor pasado al método `remove` no existe, Python devolverá un `ValueError`:

```
>>> nombres.remove("Jorge")
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
ValueError: list.remove(x): x not in list
```

1.4.7 Tuplas

Las tuplas son secuencias de elementos similares a las listas, la diferencia principal es que las tuplas no pueden ser modificadas directamente, es decir, una tupla no dispone de los métodos como `append` o `insert` que modifican los elementos de una lista.

Para definir una tupla, los elementos se separan con comas y se encierran entre paréntesis.

```
>>> colores=("Azul","Verde","Rojo","Amarillo","Blanco","Negro","Gris")
```

Las tuplas al ser *iterables* pueden accederse mediante la notación de corchetes e índice.

```
>>> colores[0]
'Azul'
>>> colores[-1]
'Gris'
>>> colores[3]
'Amarillo'
```

Si intentamos modificar alguno de los elementos de la tupla Python nos devolverá un `TypeError`:

```
>>> colores[0] = "Café"
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: 'tuple' object does not support item assignment
```

1.4.8 Diccionarios

Los diccionarios son estructuras que contienen una colección de elementos de la forma *clave: valor* separados por comas y encerrados entre llaves. Las claves deben ser objetos inmutables y los valores pueden ser de cualquier tipo. Necesariamente las claves deben ser únicas en cada diccionario, no así los valores.

Vamos a definir un diccionario llamado `edades` en el cual cada clave será un nombre y el valor una edad:

```
>>> edades = {"Ana": 25, "David": 18, "Lucas": 35, "Ximena": 30, "Ale": 20}
```

Puede acceder a cada valor de un diccionario mediante su clave, por ejemplo, si quisieramos obtener la edad de la clave "Lucas"

se tendría que escribir:

```
>>> edades["Lucas"]  
35
```

1.5 Operadores relacionales y lógicos

1.6 Control de flujo

1.6.1 Condicional if-elif-else

El condicional `if-elif-else` es una estructura de control que sirve para tomar decisiones en el flujo del programa. La sintaxis para `if-elif-else` es:

```
if cond1:  
    # hacer algo  
elif cond2:  
    # hacer otra cosa  
    .  
    .  
    .  
elif condn:  
    # hacer algo más  
else:  
    # hacer algo por default
```

Donde `cond1`, `cond2`, ... `condn` son valores lógicos que resultan de una comparación. Esta estructura se evalúa secuencialmente hasta encontrar una condición que se cumpla, si ninguna lo hace, entonces se ejecuta la instrucción colocada en el caso por default `else`.

1.6.2 Bucle for

El **bucle for** es una estructura de control de naturaleza repetitiva, en la cual se conocen *a priori* el número de iteraciones a realizar ¹.

En lenguajes como C++ o Java, el ciclo for necesita de una variable de ciclo de tipo entero que irá incrementándose en cada iteración. En Python, la cuestión es un poco diferente, el ciclo for *recorre* un *iterable* y en la k-ésima iteración la variable de ciclo *adopta* el valor del elemento en la k-ésima posición del iterable.

De manera general, la sintaxis de for es:

```
for var in iterable:  
    # Hacer algo ...
```

¹Aunque no sea tan habitual, un bucle for en Python puede romperse mediante instrucciones explícitas de interrupción de ejecución

Donde `var` es la **variable de ciclo** e **iterable** la secuencia de valores que deberá iterarse. Es necesario remarcar la importancia de los dos puntos al final de esta primera línea y en indentar el bloque de código subsecuente que definirá el cuerpo del ciclo `for`.

Como primer ejemplo vamos a recorrer una lista de números y mostrarlos por consola:

```
numeros = [18,50,90,-20,100,80,37]
for n in numeros:
    print(n)
```

```
18
50
90
-20
100
80
37
```

Observe que en cada iteración la variable de ciclo `n` adopta el valor de cada uno de los elementos de la lista `numeros`.

Como ya se mencionó, en Python la variable de ciclo no necesariamente adopta valores numéricos enteros secuenciales, si no valores dentro de una secuencia. Esta secuencia podría ser también una cadena de caracteres, por ejemplo:

```
palabra = "Python"
for letra in palabra:
    print(letra)
```

```
P
y
t
h
o
n
```

Dentro de un ciclo `for` podemos colocar cualesquiera otra instrucción de control de flujo. Un caso muy común es el de incluir otro ciclo `for`, algo que habitualmente se denota como **ciclos anidados**. Por ejemplo, supongamos que se requieren mostrar por consola todos los elementos de algunas listas contenidas dentro de otra lista principal, en ese caso se hace necesario primero iterar sobre la lista principal y enseguida hacerlo sobre las listas contenidas, por ejemplo:

```
matriz = [[-5,2,0], [9,5,6], [1,7,15]]
for fila in matriz:
    for elemento in fila:
        print(elemento)
```

```
-5
2
0
9
5
```

```
6
1
7
15
```

1.6.3 Bucle while

1.7 Funciones

Las funciones son *porciones de código* nos sirven para modularizar nuestros programas y evitar en muchos casos la repetitividad de código. De manera general una función recibe algunos valores de entrada, los *procesa* y devuelve algunos valores de salida.

1.7.1 Funciones nativas de Python (*built-in*)

Python dispone de algunas funciones nativas que se *cargan* automáticamente cuando se inicia el intérprete. Por ejemplo la función `max` devuelve el mayor valor numérico de una lista de números:

```
>>> max([10,35,5,110,48,30,112,98,87])
112
```

También existe una función `min`, análoga a `max`:

```
>>> min([10,35,5,110,48,30,112,98,87])
5
```

Otro ejemplo de función nativa es `bin`, la cual dado un número en base 10 devuelve una cadena con la representación en base 2.

```
>>> bin(10)
'0b1010'
```

Naturalmente, el valor devuelto por una función se puede asignar a una variable y posteriormente ser utilizado:

```
>>> a = max([10,5,8])
>>> b = min([10,5,8])
>>> h = (a - b)/10
>>> print(h)
0.5
```

Hay funciones como `print` que no devuelven como tal un valor, si no que pueden modificar directamente alguna variable global o simplemente mostrar algo en la salida estándar como el caso de `print`.

Tendremos también funciones que aceptan más de un argumento, por ejemplo a la función `round` podemos pasarle dos argumentos: un número real y la cantidad de lugares decimales a considerar para el redondeo.

```
>>> round(3.141592653589793, 6)
3.141593
>>> round(3.141592653589793, 4)
3.1416
>>> round(3.141592653589793, 2)
3.14
>>> round(3.141592653589793, 0)
3.0
```

1.7.2 Funciones definidas por el usuario

Además de las funciones nativas de Python, es posible definir nuestras propias funciones. En Python, de manera general, una función se define siguiendo la estructura mostrada a continuación:

```
def nombre_fun(arg1, arg2, ..., argN):
    # Cuerpo de la función
    # .
    # .
    # .
    return val1, val2, ..., valN
```

Donde `def` es una palabra que debe anteceder siempre a la definición de una función, `nombre_fun` es el nombre que se asignará a la función, entre paréntesis y separados por comas se colocan los nombres de los argumentos de entrada, los dos puntos se colocan después de cerrar el paréntesis e indican que ahí termina el *encabezado* de la función y comenzará el *cuerpo* de la misma, aquí se colocarán todas las instrucciones que deberán realizarse; la palabra reservada `return` sirve para indicar los valores a devolver, mismos que se colocarán separados por comas.

Vamos a definir una función llamada `saluda`, la cual recibe un nombre (string) y devuelve un saludo (string) formado mediante concatenación:

```
def saluda(nombre):
    s = "Hola " + nombre + ", bienvenido."
    return s

print(saluda("Jorge"))
```

```
Hola Jorge, bienvenido.
```

Lo único que hace la función anterior es tomar un *string* como argumento y unirlo a algunas cadenas ya establecidas dentro de la función.

Veamos ahora cómo definir una función que recibe como argumento un entero y devuelve un valor lógico que indica si este es par.

```
def espar(n):
    if n%2 == 0:
        s = True
    else:
        s = False
```

```
    return s

print(espar(2))
print(espar(5))
print(espar(10))
```

```
True
False
True
```

Naturalmente, las funciones pueden recibir más de un argumento. Por ejemplo:

```
def mayor(a,b):
    m = a
    if a < b:
        m = b
    return m

print( mayor(50,30) )
print( mayor(1100,3050) )
```

```
50
3050
```

La función `mayor` recibe dos valores numéricos y determina cuál es el mayor de ambos mediante una comparación con la sentencia `if`.

¿Pueden las funciones en Python devolver más de un valor? ¡Claro! Hace falta nada más separar con comas los valores a devolver.

```
def calcula_rectangulo(b,h):
    A = b*h
    P = 2*b + 2*h
    return A, P

print( calcula_rectangulo(10,5) )
print( calcula_rectangulo(50,15) )
```

```
(50, 30)
(750, 130)
```

También es posible guardar/asignar los valores devueltos por la función en variables:

```
area1, perimetro1 = calcula_rectangulo(100, 20)
print("Área: {0}\nPerímetro: {1}".format(area1, perimetro1))
```

```
Área: 2000
Perímetro: 240
```

Funciones con una cantidad de parámetros indeterminada

En ocasiones el número de parámetros que deberá recibir una función no puede ser algo fijo. Las definiciones de función en Python tienen la flexibilidad de poder recibir una cantidad variable de argumentos de entrada.

Para ejemplificar esto, vamos a crear una función llamada `promedio` que calcule el promedio de una cierta cantidad de números pasados como argumentos:

```
def promedio(*numeros):
    suma = 0
    k = 0
    for n in numeros:
        suma += n
        k += 1
    return suma/k

print(promedio(10,5))
print(promedio(10,50,40,80,20,100))
print(promedio(5,15,10,5))
```

```
7.5
50.0
8.75
```

Observe que lo único que hacemos es que al nombre del parámetro le antepone un asterisco, esto le indica a Python que la cantidad de argumentos de entrada es indeterminada, en principio. Claro está, que el manejo posterior de la información es algo que el programador debe tener en cuenta. Dentro del cuerpo de la función se debe considerar que el parámetro `numeros` será una tupla cuya cantidad de elementos dependerá de la cantidad de argumentos ingresados.

Funciones y los argumentos con nombre

Una función en Python se puede *mandar a llamar* pasándole los argumentos de manera posicional, es decir, en el orden que fueron definidos en la función, o bien, haciendo uso del nombre del parámetro correspondiente al argumento que se introduce, por ejemplo:

```
def cuenta_cuantas(frase, letra):
    k = 0
    for car in frase:
        if car is letra:
            k += 1
    return k

print( cuenta_cuantas("hola mundo", "o") )
print( cuenta_cuantas(frase="hola mundo", letra="o") )
print( cuenta_cuantas(letra="o", frase="hola mundo") )
```

La función `cuenta_cuantas` devuelve el número de presencias de una determinada letra en una frase. Observe las tres formas en que la *ejecutamos*, todas son equivalentes. En la primera se pasan los argumentos de forma posicional, en la segunda y tercera se utilizan los argumentos con nombres, note que en este caso el orden en que los argumentos son pasados, es indistinto.

En la definición de funciones es posible también especificar que se pasarán ciertos argumentos con nombre sin necesidad de escribirlos de manera explícita. Observe la siguiente función:

```
def muestra_puntos(**personas):
    for persona in personas.items():
        print(persona[0] + " tiene " + str(persona[1]) + " puntos")

muestra_puntos(Jorge=8, Paty=10)
print(30*"=")
muestra_puntos(Ana=6, Carlos=9, Victor=4, Daniela=8)
```

```
Jorge tiene 8 puntos
Paty tiene 10 puntos
=====
Ana tiene 6 puntos
Carlos tiene 9 puntos
Victor tiene 4 puntos
Daniela tiene 8 puntos
```

Vea que la definición de la función `muestra_puntos` incluye un parámetro llamado `**personas`, esos dos asteriscos antes del nombre del parámetro, indican que no se tiene predeterminado el número de argumentos que se pasarán, pero además, indica que cada argumento a introducir deberá ser un argumento con nombre. Dentro del cuerpo de la función el parámetro `**personas` es un diccionario cuyas claves son los nombres de los argumentos y los valores corresponden a cada valor asignado al argumento.

1.8 Ejercicios

- En las siguientes opciones se muestran operaciones aritméticas entre diversos objetos de Python. Verifique si es posible realizarlas e indique el resultado, de no ser así describa el por qué.

- `1 + 2`
- `1.3 + 2.5`
- `"1" + 2`
- `"1" + "2"`
- `[1,2,3] + [10,20]`
- `{"a":10, "b":5} + {"h":2, "i":4}`

- Observe el siguiente código:

```
for a,b in [1,2,5,3,8,7]:
    print(a)
```

Identifique y explique el error.

- El siguiente código debería imprimir la longitud de cada palabra contenida en la lista `palabras`. Identifique el error.

```
palabras = ["Carro", "Sol", "Mesa", "Dinosaurio", "Girasol", "Silla"]
```

```
for palabra in palabras:  
    print(len(palabras))
```

4. Implemente un programa que determine si un número dado es par o impar.
5. Escriba un programa que cuente el número de vocales en una frase. Tome en cuenta que las vocales podrían ser tanto mayúsculas como minúsculas.
6. Escriba un programa que aproxime, mediante la suma de Riemann, el área bajo la curva de la función $f(x) = x^2 + 3x$ en el intervalo $0 \leq x \leq 10$.

Borrador

Matplotlib: visualización gráfica

3.1 Una primera aproximación

Una de las características de Matplotlib es la facilidad con la que se puede comenzar a trazar gráficas, vea el siguiente código:

```
import matplotlib.pyplot as plt

plt.plot([5,10,6,-10,15,1])
plt.show()
```

El código anterior produce la gráfica mostrada en la figura 3.1a. Como puede observar son solamente tres líneas de instrucciones, la primera sirve para importar el módulo `pyplot` de Matplotlib, el cual contiene muchas de las funciones útiles para el trazo de gráficas; la segunda línea ejecuta la función `plot` pasando como argumento una lista de valores numéricos, y finalmente la tercera línea se encarga de mostrar el elemento gráfico resultante en una ventana.

Se puede obtener un resultado un poco más *trabajado* con unas cuantas líneas más, tal como se muestra en la figura 3.1b. Esta gráfica contiene un poco más de información, lo cual es deseable para cualquier representación de este tipo.

```
import matplotlib.pyplot as plt

plt.plot([0,1,2,3,4,5], [5,10,6,-10,15,1], 'r--o', label="Partícula 1")
plt.xlabel("Tiempo (s)")
plt.ylabel("Posición (m)")
plt.title("Una primera aproximación")
plt.text(2,7,"$ P_1 (2,6) $" , color="b")
plt.legend()
plt.grid(ls="--", color="#dadada")
plt.show()
```

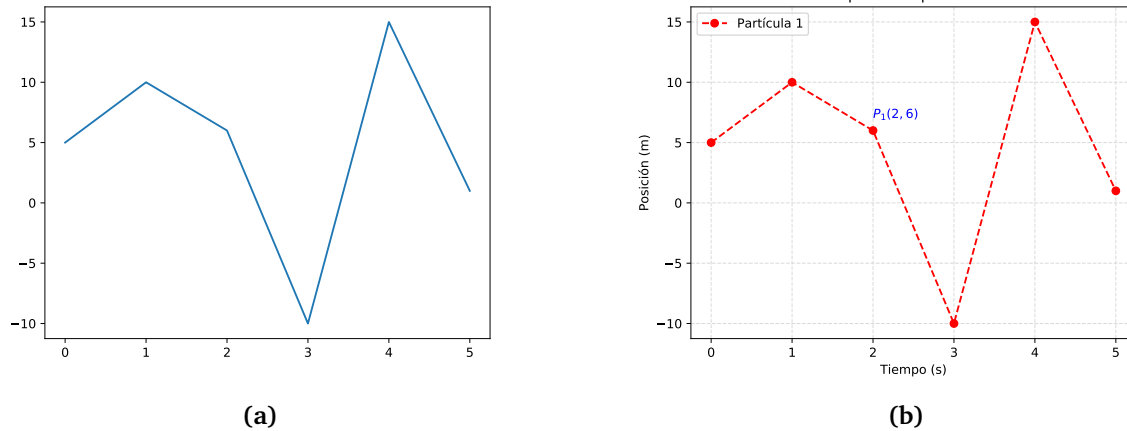


Figura 3.1

3.2 La función plot

La función `plot` está contenida en el módulo `pyplot` y básicamente con esta se produce cualquier gráfica bidimensional en coordenadas rectangulares. Esta función soporta varias maneras de ejecutarla dependiendo la cantidad de argumentos que se pasen.

La forma más básica de la función `plot` es pasarle un sólo argumento, por ejemplo:

```
import matplotlib.pyplot as plt

plt.plot([1,2,3,4,5])
plt.show()
```

Lo anterior produce una gráfica como la mostrada en la figura 3.2. Al pasarle un sólo argumento, este se toma como los valores de la coordenada vertical, y se asume que la horizontal varía de 0 a $N-1$, donde N es el número de elementos contenidos en la lista de valores que se introducen.

La sintaxis más habitual es introducir dos argumentos, donde el primero contiene una lista X que define los valores de la coordenada horizontal, y el segundo una lista Y correspondiente a los valores de la coordenada vertical, por ejemplo:

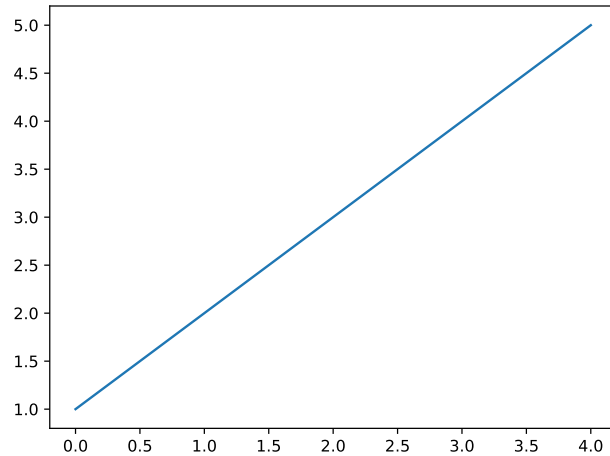
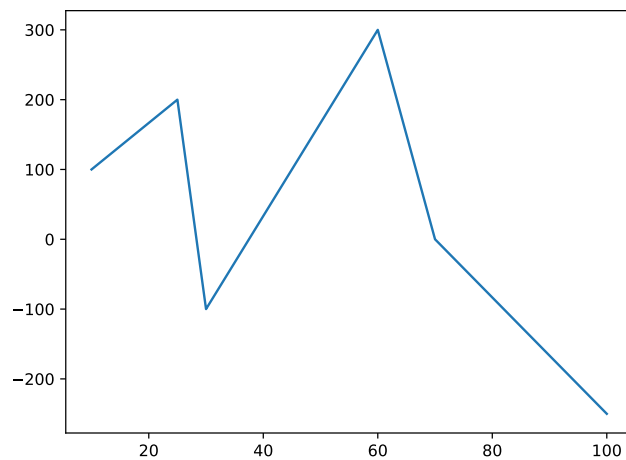
```
import matplotlib.pyplot as plt

plt.plot([10,25,30,60,70,100], [100,200,-100,300,0,-250])
plt.show()
```

En la figura 3.3 se muestra la gráfica resultante.

3.2.1 Graficando funciones matemáticas

En matemáticas una función es una relación que asigna elementos de un conjunto de manera unívoca a otro conjunto. Usualmente una función matemática se puede representar mediante una gráfica en coordenadas cartesianas, colocando uno de los conjuntos en el eje horizontal y el otro en el vertical.

**Figura 3.2****Figura 3.3**

Utilizando Python, y de manera específica la librería NumPy, se pueden evaluar las funciones matemáticas en un intervalo determinado y en una cantidad finita de puntos. Por ejemplo, suponga que se requieren calcular todos los pares coordenados correspondientes a la función $y = \cos x$ en el intervalo $0 \leq x \leq 5$, en Python se tendría que definir como:

```
import numpy as np

x = np.linspace(0,5)
y = np.cos(x)
```

Las variable `x` es un arreglo de NumPy que contiene 50 valores linealmente equiespaciados entre 0 y 5, la variable `y` es también un arreglo de NumPy que resulta de aplicar la función coseno a cada valor de `x`.

De manera similar a lo anterior se procederá a definir y graficar la función $y = e^{-0.1x} \cos x$ en el intervalo

$0 \leq x \leq 30$:

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

x = np.linspace(0, 30)
y = np.exp(-0.1*x)*np.cos(x)
plt.plot(x,y)
plt.show()
```

La gráfica resultante se muestra en la figura 3.4. La cantidad de puntos a evaluar es una cuestión muy importante, ya que de esto depende la correcta visualización del comportamiento de una función. Naturalmente, entre más puntos evaluados mejor será la apreciación que se tenga de la curva en cuestión, pero implica un mayor gasto de memoria para guardar y evaluar todos los datos. En las figuras 3.5a y 3.5b se muestra la misma función graficada en el mismo intervalo pero con 1000 y 5 puntos evaluados de manera respectiva, notará la diferencia entre los tres casos, es evidente que en el caso de los 5 puntos se pierde muchísima información.

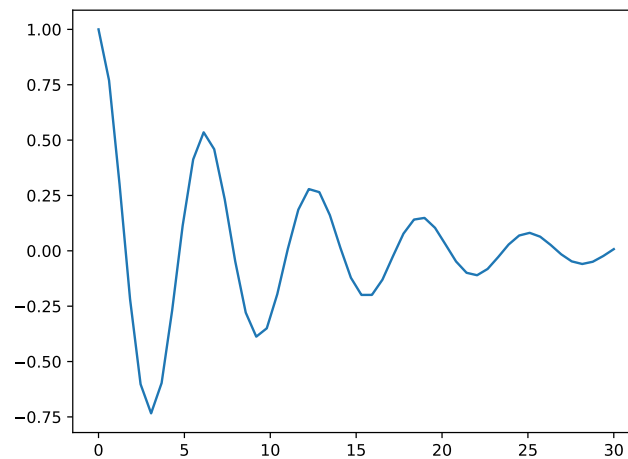
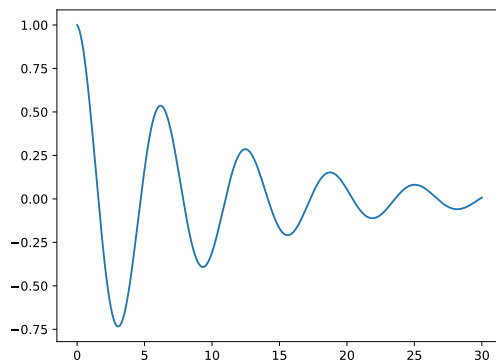
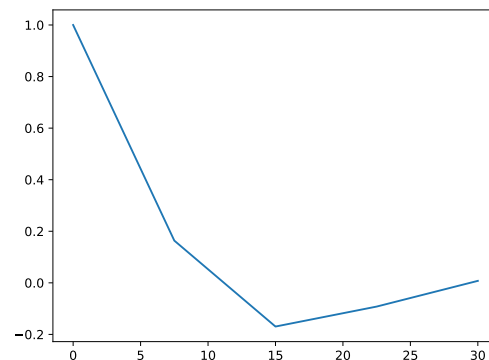


Figura 3.4



(a)



(b)

Figura 3.5

3.2.2 Modificando el color, estilo y grosor de línea

La función `plot` acepta argumentos adicionales que sirven para modificar y controlar características de la línea que se grafica.

Se puede pasar un tercer argumento que contenga una combinación de color y estilo de línea. Por ejemplo:

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

x = np.linspace(0, 30)
y = np.exp(-0.1*x)*np.cos(x)
plt.plot(x, y, "r--")
plt.show()
```

El código anterior genera una gráfica con una línea en color rojo (`r`) y un estilo de línea discontinua (`--`), tal como se muestra en la figura 3.6a. Si en lugar del string `'r--'` se coloca `'go'`, se obtiene una gráfica como la mostrada en la figura 3.6b, podrá inferir que `g` refiere al color verde (green) y `o` justamente al uso de esta como símbolo para representar cada punto.

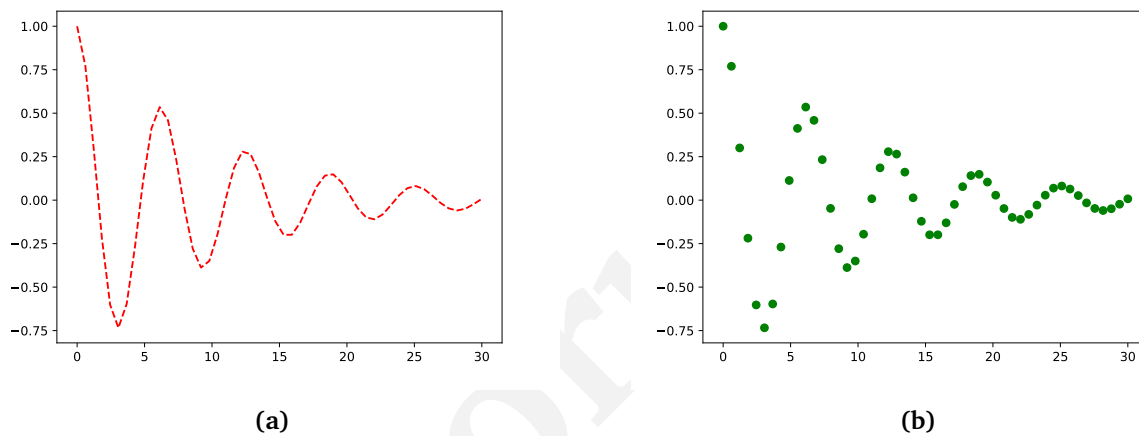


Figura 3.6

En https://matplotlib.org/api/markers_api.html se muestra una tabla con los símbolos (markers) disponibles para utilizar en la función `plot`. En https://matplotlib.org/api/colors_api.html puede consultar información respecto a los colores que puede abreviar mediante un sólo carácter.

Además de la forma anterior, también es posible especificar el color y estilo de línea utilizando *keyword arguments*, obtendrá el mismo resultado que en la figura 3.6a si utiliza el siguiente código:

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

x = np.linspace(0, 30)
y = np.exp(-0.1*x)*np.cos(x)
plt.plot(x, y, linestyle="--", color="r")
plt.show()
```

En ambos casos se especifica un cierto estilo de línea y color, con la diferencia notoria de la sintaxis.

Utilizar *keyword arguments* es una manera más general, puesto que la definición con strings no funciona para los casos en que se requieren colores que no se pueden especificar con un sólo carácter, por ejemplo, Matplotlib dispone de un color llamado `coral` y este no puede ser invocado mediante un sólo carácter, hace falta escribir todo el nombre.

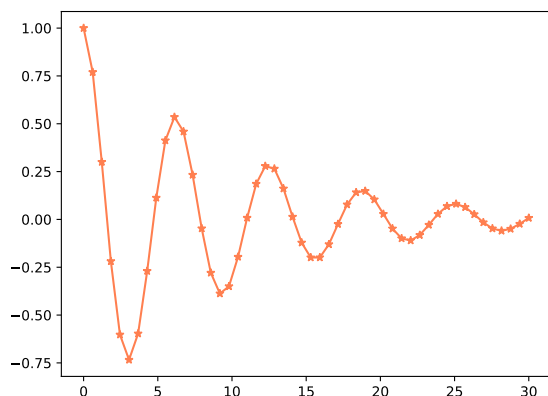
El siguiente código produce la gráfica mostrada en la figura 3.7a, note que la clave `marker` define el símbolo utilizado para representar cada punto.

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

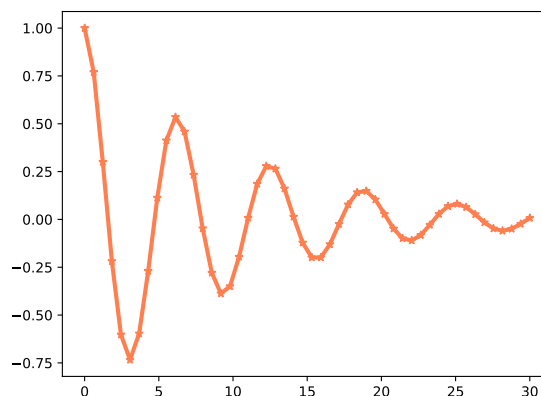
x = np.linspace(0, 30)
y = np.exp(-0.1*x)*np.cos(x)
plt.plot(x, y, linestyle="-", color="coral", marker="*")
plt.show()
```

En la figura 3.7b se muestra una gráfica bastante similar, únicamente difieren en el grosor de la línea, mismo que es controlado con la clave `linewidth`, del código anterior sólo habría que agregar el argumento `linewidth` a la función `plot`.

```
plt.plot(x, y, linestyle="-", color="coral", marker="*", linewidth=3)
```



(a)



(b)

Figura 3.7

3.2.3 Título de gráfica, etiquetas de ejes y nombres de curvas

Por su naturaleza las gráficas nos sirven para presentar y/o visualizar información de ciertos datos, para lo cual se hace necesario especificar información descriptiva de lo que se muestra. Es muy común que se agreguen etiquetas a los ejes horizontal y vertical, así como el nombre de gráfica. Además, si se está graficando más de una curva, se hace necesario especificar a que refiere cada una de ellas.

El siguiente código produce la gráfica mostrada en la figura 3.8.

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
import numpy as np

x = np.linspace(0, 30, 500)
y1 = np.exp(-0.1*x)*np.cos(x)
y2 = np.exp(-0.2*x)*np.sin(x)
plt.plot(x, y1, "b-", label="Partícula 1")
plt.plot(x, y2, "r-", label="Partícula 2")
plt.xlabel("Tiempo (s)")
plt.ylabel("Posición (mm)")
plt.title("Gráfica de posición")
plt.legend()
plt.show()
```

La instrucción `xlabel` coloca una etiqueta al eje horizontal, de manera similar `ylabel` lo hace para el eje vertical. Con `title` adicionamos un título a la gráfica. La instrucción `legend` sirve para colocar el recuadro con *nombre* asignado a cada curva mediante el *keyword argument* `label`.

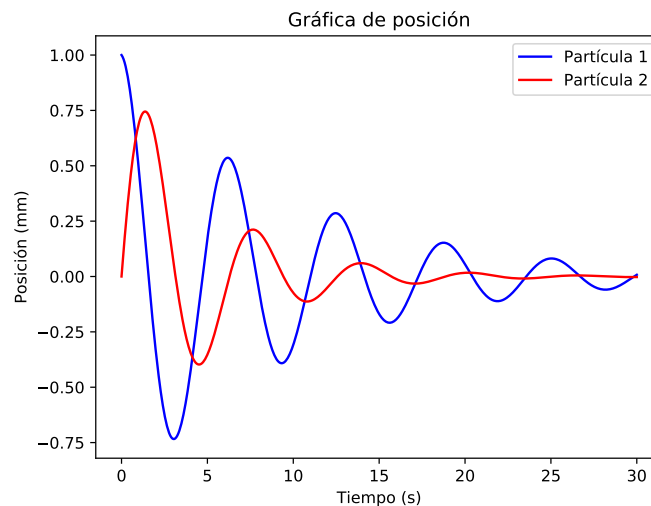


Figura 3.8

3.2.4 Anotaciones

Con anotaciones nos referimos a cualesquiera texto que se coloque dentro del Axes de Matplotlib. Usualmente utilizadas para indicar ciertas características particulares en una gráfica, o bien alguna nota informativa al respecto. La función base para realizar este tipo de tareas es `text`. La sintaxis más simple de `text` es:

```
plt.text(px, py, texto)
```

Donde `px` y `py` denotan las coordenadas en donde se colocará la anotación indicado en `texto`. Veamos un ejemplo:

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

x = np.linspace(0, 30, 200)
```

```
y = np.exp(-0.1*x)*np.cos(x)
plt.plot(x, y, "m")
plt.xlabel("Tiempo (s)")
plt.ylabel("Posición (mm)")
plt.title("Gráfica de posición")
plt.text(10, 0.5, "Algo informativo")
plt.show()
```

El código anterior produce la gráfica mostrada en la figura 3.9. Note que únicamente colocamos el texto *Algo informativo* dentro del gráfico, de manera más específica en las coordenadas (10,0.5).

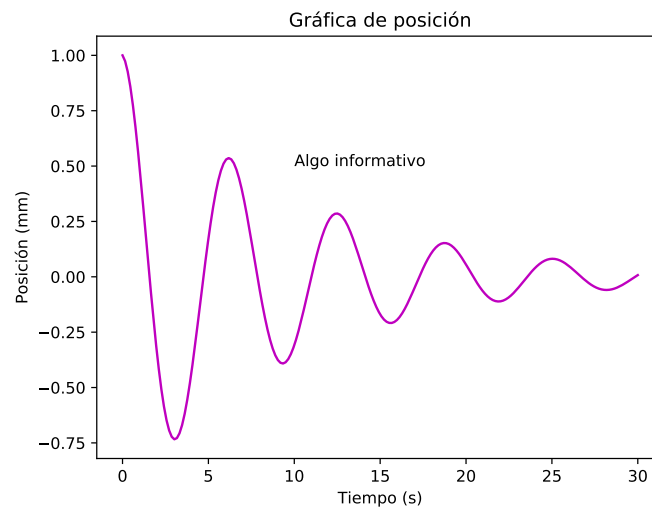


Figura 3.9

Al texto colocado podemos darle formato y ajustarlo a nuestros requerimientos, para ello a la función `text` se le pueden incluir los *keyword arguments* descritos en https://matplotlib.org/users/text_props.html. Por ejemplo:

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

x = np.linspace(0, 30, 200)
y = np.exp(-0.1*x)*np.cos(x)
plt.plot(x, y, "m")
plt.xlabel("Tiempo (s)")
plt.ylabel("Posición (mm)")
plt.title("Gráfica de posición")
plt.text(10, 0.5, "Algo informativo", fontsize=16, color="r",
        name="Courier New")
plt.show()
```

Este código produce la gráfica mostrada en 3.10, observe que lo único que se cambió fueron algunas propiedades del texto, tales como el tamaño de la fuente con `fontsize`, el color de fuente con `color` y el tipo de fuente con `name`, con este último se debe tener cuidado, dado que el nombre de la fuente indicada debe estar instalada en la PC que se ejecuta.

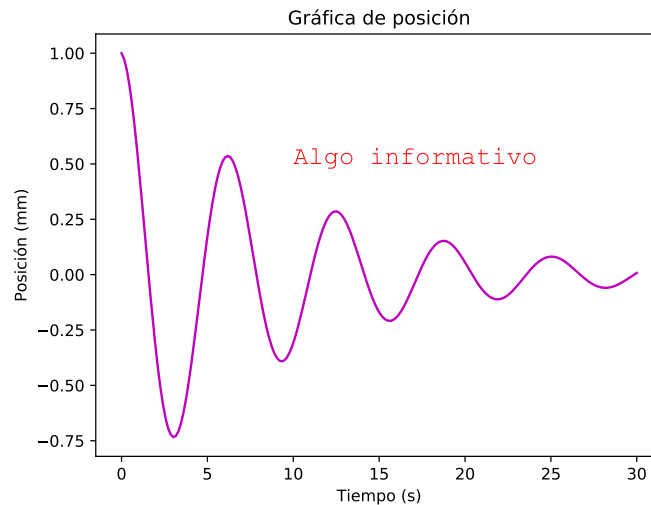


Figura 3.10

3.3 Gráficas en coordenadas polares

Las coordenadas polares o sistema de coordenadas polares son un sistema de coordenadas bidimensional en el que cada punto del plano se determina por una distancia y un ángulo ¹. Habitualmente las funciones en coordenadas polares tienen la forma $r = f(\theta)$.

En Matplotlib se dispone de la función `polar`, la cual traza una gráfica en coordenadas polares, dados como argumentos tanto la variable independiente θ como la función r . Enseguida vamos a ver cómo graficar la tan conocida **rosa polar**, cuya ecuación general está dada por:

$$r = a \cos(k\theta + \phi_0)$$

Implementando esto en Python, se tiene:

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

theta = np.linspace(0, 2*np.pi, 1000)
a,k,phi0 = 5,7,0
r = a*np.cos(k*theta + phi0)
plt.polar(theta, r, "r")
plt.show()
```

El código anterior produce la gráfica mostrada en 3.11. Observe que la función `polar` funciona de manera bastante similar a `plot`, de hecho se le pueden pasar los mismos *keyword arguments* para personalizar el gráfico resultante.

¹Tomado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Coordenadas_polares

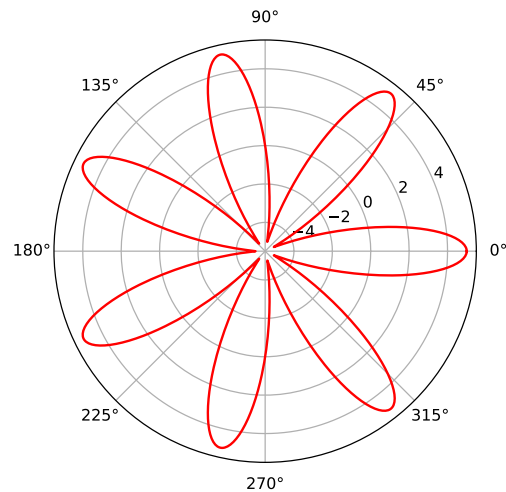


Figura 3.11

3.4 Gráficas de barras

3.5 Gráficas de curvas paramétricas en el espacio

Una función vectorial de la forma:

$$\mathbf{r}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix}$$

Se dice que es una función paramétrica, siendo t en este caso el parámetro correspondiente. Una función vectorial de este tipo tiene una curva en el espacio asociada como representación gráfica. Es muy común trabajar con este tipo de expresiones en el análisis cinemático de partículas.

Supongamos que queremos graficar la función vectorial:

$$\mathbf{r}(t) = \begin{bmatrix} \cos(t) \\ \sin(t) \\ t \end{bmatrix}$$

En el intervalo $0 \leq t \leq 4\pi$. Para ello en Python haríamos lo siguiente:

```
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(111, projection="3d")

t = np.linspace(0, 4*np.pi, 100)
```

```

x = np.cos(t)
y = np.sin(t)
z = t

ax.plot(x, y, z)
plt.show()

```

En la figura 3.12a se muestra la gráfica producida. Ahora explicamos lo referente al código anterior. Observe que en la primera línea importamos la clase `Axes3D` del módulo `mpl_toolkits.mplot3d`, esto nos sirve para poder trabajar con gráficas tridimensionales. Luego, definimos un objeto de la clase `Figure` y lo asignamos a la variable `fig`, al objeto `fig` le añadimos un `Axes` mediante el método `add_subplot`, indicando que dicho `axes` se utilizarán las proyecciones espaciales mediante el `keyword argument` `projection`. Las siguientes cuatro líneas definen las ecuaciones paramétricas. Y, finalmente con el método `plot` del objeto `ax` trazamos la gráfica de la curva tridimensional, note que en este caso el método `plot`, recibe al menos tres argumentos: las coordenadas en `x`, `y`, `z`.

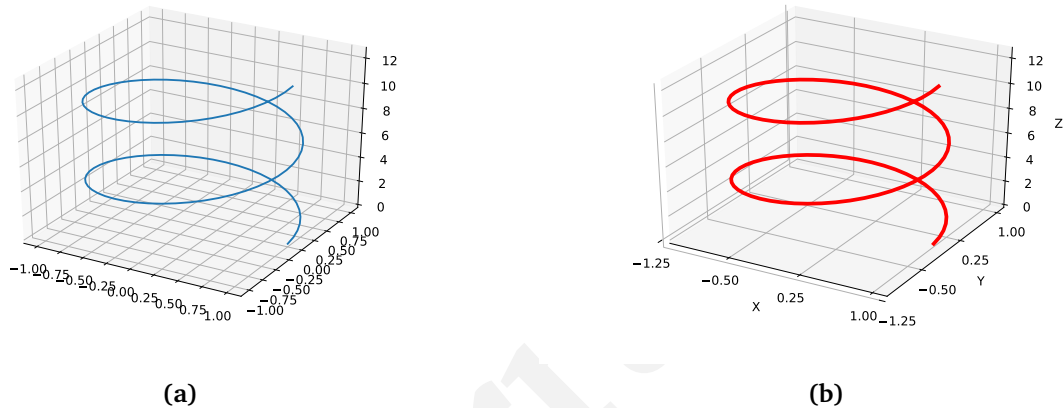


Figura 3.12

Al igual que en las otros tipos de gráficos, podemos también manipular las características. Vea por ejemplo el siguiente código:

```

from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(111, projection="3d")

t = np.linspace(0, 4*np.pi, 100)
x = np.cos(t)
y = np.sin(t)
z = t

ax.plot(x, y, z, color="r", linewidth=3)
xticks = ax.get_xticks()
yticks = ax.get_yticks()
ax.set_xticks(xticks[::3])
ax.set_yticks(yticks[::3])

```

```
ax.set_xlabel("X")  
ax.set_ylabel("Y")  
ax.set_zlabel("Z")  
plt.show()
```

La gráfica producida se muestra en la figura 3.12b.

3.6 Gráficas de superficies

3.7 Ejercicios

1. Grafique las siguientes funciones en el intervalo indicado:

a) $y = \cos x + x \quad 0 \leq x \leq 6\pi$

b) $x = t^2 - 3t \quad -10 \leq t \leq 10$

SymPy: un sistema de álgebra computacional

SymPy es un sistema de álgebra computacional (CAS) escrito en Python puro, está desarrollado con un enfoque en la extensibilidad y facilidad de uso, tanto a través de aplicaciones interactivas como programáticas. Estas características le han permitido a SymPy convertirse en una librería de cómputo simbólico muy popular en el ecosistema científico de Python. [1]

En todo el capítulo se asumirá que se ha importado la librería SymPy, con las siguientes instrucciones:

```
>>> from sympy import *
```

4.1 Variables simbólicas

Las variables simbólicas son el *alma* de SymPy, todas las operaciones de álgebra simbólica se basan en estas. A una variable simbólica se le asigna un símbolo que la representa mediante la función `symbols`:

```
>>> x = symbols("x")
>>> print(type(x))
<class 'sympy.core.symbol.Symbol'>
```

Con la función `symbols` se define una nueva variable simbólica que se guarda en `x`, se verifica que se crea un objeto de la clase `Symbol`. Con la variable `x` ya definida se puede comenzar a formar expresiones algebraicas y manipular matemáticamente.

```
>>> x + 2
x + 2
>>> x**2 - 2*x - 10
x**2 - 2*x - 10
>>> sqrt(x) - sin(x)
sqrt(x) - sin(x)
```

Puede definir múltiples variables separando por comas cada representación simbólica:

```
>>> p,q,r = symbols("p,q,r")
>>> p**q + r/q
```



```
p**q + r/q
```

Además de la forma anterior, también es posible tener variables simbólicas disponibles si se importan del módulo `abc` de SymPy:

```
>>> from sympy.abc import a,b,c,d
>>> (a + b)*(c + d)
(a + b)*(c + d)
```

4.2 Manipulación algebraica

SymPy es una poderosa herramienta de manipulación y simplificación algebraica, en lo subsiguiente se revisarán algunos casos elementales y se describirá el uso de las herramientas (funciones) que proporciona.

En primera instancia se definen algunas variables simbólicas a utilizar:

```
>>> x,y,z = symbols("x,y,z")
>>> a,b,c,d,k,m,n = symbols("a,b,c,d,k,m,n")
```

Para las expresiones algebraicas formadas en SymPy por default se *evalúan* y simplifican los términos semejantes. Vea los siguientes casos:

```
>>> x**2 + 5*x**3 - 10*x**2 + 5*x - 10*(x + 1)
5*x**3 - 9*x**2 - 5*x - 10
>>> a*b + c*d + x/y - 7*a*b
-6*a*b + c*d + x/y
```

Naturalmente para simplificaciones y operaciones un poco menos obvias, habrá que especificarle lo que se requiere.

Una de las operaciones elementales de simplificación en álgebra es la factorización, SymPy dispone de la función `factor`, la cual toma una expresión algebraica y la factoriza conforme sea posible. Por ejemplo, suponiendo que se tiene la expresión $ab + ac$, es sencillo identificar que se puede factorizar como $a(b + c)$, SymPy hace lo mismo sin sobresalto alguno.

```
>>> factor(a*b + a*c)
a*(b + c)
```

De igual forma se sabe que una expresión de la forma $ac + ad + bc + bd$ se puede factorizar como $(a + b)(d + c)$.

```
>>> factor( a*c + a*d + b*c + b*d )
(a + b)*(c + d)
```

Así, para un binomio al cuadrado se sabe que, $(a + b)(a + b)$ es la factorización de una expresión del tipo $a^2 + 2ab + b^2$.

```
>>> factor(a**2 + 2*a*b + b**2)
```

```
(a + b)**2
```

¿Se puede hacer el proceso *inverso*, es decir, dados dos factores obtener su expresión *expandida*? Por supuesto, para ello se hace uso de la función `expand`.

```
>>> expand( (x-7)*(x-3) )
x**2 - 10*x + 21
```

SymPy puede manejar cualquier cantidad de factores y devolver la expresión que resulta de realizar la multiplicación algebraica, sin estar limitada siquiera por la cantidad de variables simbólicas.

```
>>> expand( (x + y)*(x - y) )
x**2 - y**2
>>> expand( (x + y)*(x+y) )
x**2 + 2*x*y + y**2
>>> expand( (x + y)**2 )
x**2 + 2*x*y + y**2
>>> expand( (x + y)**3 )
x**3 + 3*x**2*y + 3*x*y**2 + y**3
>>> expand( a*(m + n)**2 )
a*m**2 + 2*a*m*n + a*n**2
```

De manera general, si requiere simplificar una expresión algebraica SymPy dispone de una función más o menos universal que funcionará en la mayoría de los casos: `simplify`. Por ejemplo, suponiendo que se tiene la siguiente expresión algebraica racional y se requiere reducir lo más posible:

$$\frac{x^2 - 3x}{x^2 + 3x}$$

Se puede notar que tanto en el numerador como en el denominador se puede factorizar x , lo cual conduce a:

$$\frac{x(x-3)}{x(x+3)} = \frac{x-3}{x+3}$$

Con SymPy:

```
>>> simplify( (x**2 - 3*x)/(x**2 + 3*x) )
(x - 3)/(x + 3)
```

Lo mismo para una expresión que involucre funciones trigonométricas, por ejemplo, cualquiera que haya cursado matemáticas del nivel secundario, al menos, sabe que $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$, y también *lo sabe* SymPy:

```
>>> simplify( sin(x)**2 + cos(x)**2 )
1
```

Pero también *sabe* que $\cos x \cos y - \sin x \sin y = \cos(x + y)$.

```
>>> simplify( cos(x)*cos(y) - sin(x)*sin(y) )
cos(x + y)
```

Incluso simplificaciones que no son, en principio, evidentes:

```
>>> simplify( (1+tan(x)**2)/(1+cot(x)**2) )
tan(x)**2
```

Habitualmente para la manipulación de expresiones que contienen funciones trigonométricas se suele utilizar la función `trigsimp` que en muchos casos lo que devuelva coincidirá con `simplify`. Sin embargo, si en lugar de reducir una expresión trigonométrica se requiere expandirla, como en el caso del coseno o seno de la suma de dos ángulos, probablemente por intuición se utilizaría `expand`, pero aquí no funciona como puede verificar.

```
>>> expand( sin(x + y) )
sin(x + y)
```

En este caso puede utilizar la función `expand_trig`, la cual maneja de mejor manera las manipulaciones trigonométricas:

```
>>> expand_trig( sin(x+y) )
sin(x)*cos(y) + sin(y)*cos(x)
```

Ejemplo 4.2.1 Simplificaciones algebraicas

Utilizando SymPy simplifique la siguiente expresión:

$$\frac{\sin(2x)}{1 + \cos(2x)}$$

Solución

```
>>> x = symbols("x")
>>> trigsimp( sin(2*x)/(1 + cos(2*x)) )
tan(x)
```

Ejemplo 4.2.2 Reescribiendo expresiones

Reescriba la expresión $\cos t + \sin t$ en términos de la función tangente.

Solución

```
>>> t = symbols("t")
>>> ( cos(t) + sin(t) ).rewrite(tan)
(-tan(t/2)**2 + 1)/(tan(t/2)**2 + 1) + 2*tan(t/2)/(tan(t/2)**2 + 1)
```

4.3 Resolviendo ecuaciones e inecuaciones

SymPy dispone de la función `solve`, la cual resuelve desde ecuaciones polinomiales, sistemas de ecuaciones lineales, inecuaciones, hasta sistemas de ecuaciones no lineales. La sintaxis de `solve` es polimórfica y en general

depende de lo que se requiera resolver, tendiendo siempre a que sea posible especificar el mínimo número de parámetros.

En las siguientes subsecciones se describen algunos casos, se asumirá en lo subsiguiente que además de importar SymPy se definieron las siguientes variables simbólicas:

```
>>> x,y,z = symbols("x,y,z")
>>> a,b,c = symbols("a,b,c")
```

4.3.1 Ecuaciones polinómicas

La sintaxis más elemental de `solve` es pasando un sólo argumento, el cual se espera sea una expresión algebraica y se considera que esta estará igualada a cero. Por ejemplo para resolver la ecuación lineal $x - 3 = 0$:

```
>>> solve( x - 3 )
[3]
```

Para una ecuación cuadrática $x^2 + 2x + 2 = 0$:

```
>>> solve(x**2 + 2*x + 2)
[-1 - I, -1 + I]
```

En este caso la ecuación tiene soluciones complejas, la unidad imaginaria en SymPy se especifica mediante el símbolo `I`.

Si se quisiera resolver la ecuación cuadrática en su forma general:

```
>>> solve(a*x**2 + b*x + c)
[{a: -(b*x + c)/x**2}]
```

Note que el problema está en que al haber más de una variable simbólica, SymPy no sabe con respecto a qué variable debe resolver y toma la primera en orden alfabético. Para especificar explícitamente respecto a qué variable resolver, se puede indicar mediante un segundo argumento:

```
>>> solve(a*x**2 + b*x + c, x)
[(-b + sqrt(-4*a*c + b**2))/(2*a), -(b + sqrt(-4*a*c + b**2))/(2*a)]
```

Puede verificar que devuelve, en efecto, la tan conocida fórmula general.

4.3.2 Ecuaciones trigonométricas

4.4 Cálculo

4.4.1 Límites

Para calcular límites matemáticos SymPy dispone de la función `limit`, la cual requiere al menos tres argumentos de entrada: la función, variable y valor al que tiende. Por ejemplo, si se quiere calcular el siguiente límite:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x}$$

Tendría que teclearse lo siguiente:

```
>>> limit(sin(x)/x, x, 0)
1
```

Para calcular límites laterales debe pasarse un cuarto argumento, por ejemplo:

```
>>> limit(1/(x-5), x, 5, "-")
-oo
>>> limit(1/(x-5), x, 5, "+")
oo
```

El símbolo `+` denota el cálculo de un límite lateral por la derecha, el símbolo `-` un límite lateral por la izquierda.

4.4.2 Derivadas

Las derivadas en Python se calculan utilizando la función `diff`, misma que en su forma más simple espera al menos dos argumentos: una expresión algebraica y una variable respecto a la cual derivar. Por ejemplo:

```
>>> diff(exp(x)*cos(x), x)
-exp(x)*sin(x) + exp(x)*cos(x)
```

Es posible también especificar una derivada de orden superior mediante un tercer argumento:

```
>>> diff(5*x**2 + 3*x - 10, x, 2)
10
```

La instrucción anterior calcula la segunda derivada de la función $f(x) = 5x^2 + 3x - 10$.

4.4.3 Integrales

Para calcular integrales vamos a utilizar la función `integrate`, la cual acepta al menos dos argumentos: la función a integrar y la expresión respecto a la cual se integra, por ejemplo:

```
>>> integrate(x**2 + 3*x - 7, x)
x**3/3 + 3*x**2/2 - 7*x
```

Esa instrucción calcula la integral:

$$\int (x^2 + 3x - 7) dx = \frac{x^3}{3} + \frac{3x^2}{2} - 7x + C$$

Note que la expresión algebraica devuelta por Python no contiene la constante de integración, por default SymPy no la considera. Si en algún caso específico necesita referir a la constante de integración puede añadirla manualmente.

Las integrales definidas se pueden calcular si el segundo argumento se hace una tupla de la forma `(variable, a, b)`, donde `a` y `b` indican el límite inferior y superior a evaluar en la integral:

```
>>> integrate(sin(x), (x, 0, pi))
2
>>> integrate(z**2, (z,-5,5))
250/3
```

4.5 Vectores

Un vector denota una cantidad física que tiene magnitud y orientación en un determinado sistema de referencia. En SymPy los vectores se pueden definir mediante la clase `Matrix` del módulo `matrices`, de tal manera que en primera instancia haría falta importar dicho módulo, para esto hacemos:

```
>>> from sympy.matrices import Matrix
```

Ahora vamos a definir dos vectores `u` y `v`:

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ -5 \end{bmatrix} ; \quad \mathbf{v} = \begin{bmatrix} 4 \\ -1 \\ 3 \end{bmatrix}$$

```
>>> u = Matrix([2,1,-5])
>>> v = Matrix([4,-1,3])
```

Una suma y resta vectorial se pueden ejecutar sin muchas complicaciones, mediante los operadores aritméticos ya conocidos.

```
>>> u + v
Matrix([
[ 6],
[ 0],
[-2]])
>>> v - u
Matrix([
[ 2],
[-2],
[ 8]])
```

La magnitud de un vector se puede calcular utilizando el método `norm`.

```
>>> u.norm()
sqrt(30)
>>> v.norm()
sqrt(26)
```

Recuerde que si requiere ver las expresiones resultantes como fracciones decimales debe usar `evalf`.

El producto escalar de dos vectores puede calcularlo utilizando el método `dot`, por ejemplo $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}$ lo puede especificar como:

```
>>> u.dot(v)
-8
```

Para calcular el producto vectorial utilice el método `cross`, por ejemplo $\mathbf{u} \times \mathbf{v}$:

```
>>> u.cross(v)
Matrix([
[ -2],
[-26],
[ -6]])
```

Recuerde que el producto vectorial no es conmutativo, por tanto, $\mathbf{v} \times \mathbf{u}$ resultará en un vector diferente al obtenido anteriormente, como puede verificar enseguida:

```
>>> v.cross(u)
Matrix([
[ 2],
[26],
[ 6]])
```

Ejemplo 4.5.1 Ángulo entre vectores

Compruebe que el ángulo entre los vectores unitarios \mathbf{i} y \mathbf{j} es de 90° .

Solución

Del álgebra vectorial recordará que el producto punto de dos vectores está dado por:

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = uv \cos \theta$$

Donde θ es el ángulo formado entre los vectores. Naturalmente, podríamos despejar al ángulo de esta ecuación:

$$\theta = \arccos\left(\frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{uv}\right)$$

En el caso de vectores unitarios, el producto de las magnitudes es unitario y podríamos reescribir como:

$$\theta = \arccos(\mathbf{u} \cdot \mathbf{v})$$

En Python:

```
>>> from sympy import *
```

```
>>> from sympy.matrices import *
>>> vi = Matrix([1,0,0])
>>> vj = Matrix([0,1,0])
>>> acos( vi.dot(vj) )
pi/2
```

Para obtener el resultado en grados, podemos utilizar la función `deg`:

```
>>> deg( acos( vi.dot(vj) ) )
90
```

4.6 Matrices

Las matrices son arreglos rectangulares de números o cantidades simbólicas. En SymPy, se definen utilizando la clase `Matrix`, pasándole como argumentos una lista de listas, donde cada sublista corresponde a una fila de la matriz.

Por ejemplo, vamos a definir las matrices A , B y C , dadas por:

$$A = \begin{bmatrix} 20 & 50 & 100 \\ 10 & 35 & 200 \\ -30 & 20 & 80 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 12 & 26 & 45 \\ 3 & -15 & 18 \\ 54 & 20 & 0 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 5 & 9 \\ 2 & 3 \\ -10 & 8 \end{bmatrix}$$

Primero, importamos la clase `Matrix` del módulo `matrices`:

```
>>> from sympy.matrices import Matrix
```

Luego, escribiríamos:

```
>>> A = Matrix([[20,50,100], [10,35,200], [-30,20,80]])
>>> B = Matrix([[12,26,45], [3,-15,18], [54,20,0]])
>>> C = Matrix([[5,9], [2,3], [-10,8]])
```

De manera muy sencilla podríamos realizar operaciones matriciales básicas, por ejemplo, una suma:

```
>>> A + B
Matrix([
[32, 76, 145],
[13, 20, 218],
[24, 40, 80]])
```

Naturalmente, y como es esperable, SymPy *conoce* y aplica las reglas de álgebra de matrices, observe:

```
>>> A + C
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
```



```
File "C:\Users\delos\Anaconda3\lib\site-packages\sympy\core\decorators.py", line 132, in
    binary_op_wrapper
    return func(self, other)
File "C:\Users\delos\Anaconda3\lib\site-packages\sympy\matrices\common.py", line 1951, in
    __add__
    self.shape, other.shape))
sympy.matrices.common.ShapeError: Matrix size mismatch: (3, 3) + (3, 2)
```

SymPy es muy explícito en ese tipo de situaciones y nos imprime un mensaje de error suficientemente descriptivo. De igual forma que es válido realizar el producto AC , pero no CA :

```
>>> A*C
Matrix([
[ -800, 1130],
[-1880, 1795],
[ -910, 430]])
>>> C*A
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
  File "C:\Users\delos\Anaconda3\lib\site-packages\sympy\core\decorators.py", line 132, in
    binary_op_wrapper
    return func(self, other)
  File "C:\Users\delos\Anaconda3\lib\site-packages\sympy\matrices\common.py", line 2008, in
    __mul__
    self.shape, other.shape))
sympy.matrices.common.ShapeError: Matrix size mismatch: (3, 2) * (3, 3).
```

El **determinante** de una matriz podemos calcularlo mediante la función `det`:

```
>>> det(B)
60102
```

O bien, mediante el propio método `det`:

```
>>> B.det()
60102
```

La **matriz inversa** podemos calcularla utilizando el método `inv`:

```
>>> A.inv()
Matrix([
[ 6/1195,  2/239, -13/478],
[34/1195, -23/1195, 3/239],
[ -5/956, 19/2390, -1/1195]])
>>> A.inv()*A
Matrix([
[1, 0, 0],
[0, 1, 0],
[0, 0, 1]])
```

La **transpuesta** de una matriz se puede obtener accediendo al atributo `T`:

```
>>> C.T
Matrix([
[5, 2, -10],
[9, 3, 8]])
```

4.7 Ejercicios

Utilice Python/SymPy para resolver los siguientes ejercicios:

1. Resuelva las siguientes ecuaciones (para la variable x):

a) $x + 3x = 10$

b) $2x^2 - 10x + 5 = 0$

c) $\frac{a}{x} + bx - 8 = 0$

d) $\cos x + \sin x = 10$

e) $kx - 10 = x^2$

2. Calcule las siguientes derivadas:

a) $\frac{d}{dx}(\cos x)$

b) $\frac{d}{dt}(at^2 - 2 \tan t - \frac{10}{t})$

c) $\frac{d}{dz}(z^5 - 10e^{-z})$

3. Calcule las siguientes integrales indefinidas:

a) $\int \cos x \, dx$

b) $\int (x^3 - 8x) \, dx$

c) $\int (e^{-3x} \sin x) \, dx$

d) $\int (s^2 + ks - m) \, ds$

4. Calcule las siguientes integrales definidas:

a) $\int_a^b \sin x \, dx$

b) $\int_{-10}^5 x^2 + 10x \, dx$

c) $\int_0^2 10e^{-z} \, dz$

5. Resuelva la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{dS}{dr} = kS$$

6. Al sacar un pastel del horno, su temperatura es de 300 °F. Después de 3 minutos, 200 °F. ¿En cuanto tiempo se enfriará hasta la temperatura ambiente de 70 °F?

7. Escriba una función que dados como entrada dos vectores, determine si estos son paralelos.

8. Desarrolle una función llamada `calcula_fuerza_resultante` que reciba como datos de entrada un conjunto de vectores fuerza y devuelva el vector de fuerza resultante.
9. Escriba un función llamada `calcula_momento_resultante` que reciba como datos de entrada un conjunto de vectores fuerza y un conjunto de vectores de posición del punto de aplicación de la fuerza con respecto a un cierto punto. Se deberá devolver el momento total producido por las fuerzas con respecto al punto.

Borrador

Borrador

Borrador

Borrador

Bibliografía

- [1] Meurer. et. al. A. Sympy: symbolic computing in python. *PeerJ Computer Science*, 3:e103, Enero 2017.