USO DE GOOGLE COLAB Y PYTHON EN TERMODINÁMICA

Alexander Osorio C., 2023

CONTENIDO

- Título y Enunciado del Problema
- Descripción de la Solución
- Importar paquetes Python
- Definición de los Valores Iniciales
- Encontrar la Presión del Estado 2
- Cálculo del Trabajo en un Proceso Politrópico
- Elaboración del Diagrama *P-V*
- Definición de los Valores de Volumen
- Elaboración del Diagrama P-V
    - Definición de los Valores de Volumen
    - Obtención de los Valores de la Presión como Función del Volumen
    - Creación del Diagrama *P-V*

EXPLICACIÓN DEL USO DE GOOGLE COLAB EN UN EJERCICIO DE TERMODINÁMICA

Al abrir un documento (cuaderno Jupyter) en Google Colab encontramos una serie de celdas que pueden tener líneas tanto de texto como de código.

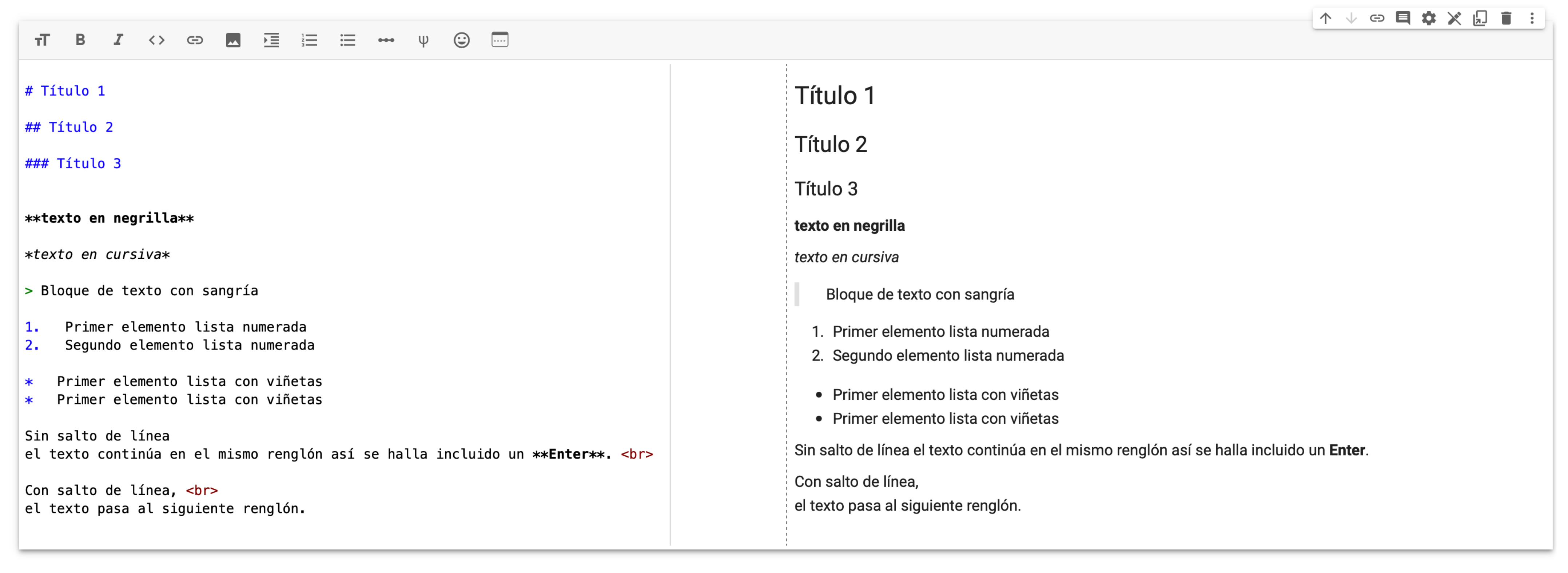
En las celdas de código es donde se realizan los cálculos para desarrollar el ejercicio, introduciendo los valores conocidos, encontrando las propiedades desconocidas y graficando las variables halladas.

Las celdas de texto se utilizan para explicar el proceso que se siguió en el desarrollo del ejercicio, demostrando así que se ha comprendido el objetivo del problema.

En Google Colab se utiliza el doble clic para editar las celdas de texto.

Para dar formato al texto se usan comandos sencillos en un lenguaje conocido como ***Markdown***.

La figura ilustra los comandos más empleados en este ejemplo.



Parte 1. Título y Enunciado del Problema

work-thermo_processes-example.ipy...

File Edit View Insert Runtime Tools Help All changes saved

Comment Share

+ Code + Text

Connect

Moran *et al. Fundamentals of Engineering Thermodynamics*.

Example 2.1 Evaluating Moving-Boundary Work.

A gas in a piston–cylinder assembly undergoes an expansion process for which the relationship between pressure and volume is given by

$$P \cdot V^n = \text{constant}$$

The initial pressure is $3\ \text{bar}$, the initial volume is $0.1\ \text{m}^3$, and the final volume is $0.2\ \text{m}^3$.

Determine the work for the process if:

(a) n = 1.5,

(b) n = 1.0, and

(c) n = 0.

Esta celda de texto será el título del documento.

Por esa razón el nombre del libro y la descripción del ejemplo se escriben como encabezados de nivel 1 (#).

```
A gas in a piston—cylinder assembly undergoes an expansion process for which
the relationship between pressure and volume is given by <br>

$$ P \cdot V^n = \mathrm{constant} $$ <br>

The initial pressure is $3 \, \mathrm{bar}$, the initial volume is $0.1 \,
\mathrm{m^3}$, and the final volume is $0.2 \, \mathrm{m^3}$. <br>

Determine the work for the process if: <br>

(a) *n* = 1.5, <br>

(b) *n* = 1.0, and <br>

(c) *n* = 0.
```

A gas in a piston−cylinder assembly undergoes an expansion process for which the relationship between pressure and volume is given by

$$P \cdot V^n = \mathrm{constant}$$

The initial pressure is $3 \, \mathrm{bar}$, the initial volume is $0.1 \, \mathrm{m^3}$, and the final volume is $0.2 \, \mathrm{m^3}$.

Determine the work for the process if:

(a) *n* = 1.5,

(b) *n* = 1.0, and

(c) *n* = 0.

La siguiente celda de texto contiene el enunciado del problema.

En ella se combina el texto con expresiones matemáticas escritas en LaTeX (que se pronuncia *"latec"*).

A lo largo de esta presentación se mostrará el formato utilizado para escribir cada ecuación. Por ejemplo, la condición que deben cumplir los estados que hacen parte de un proceso politrópico se escribe en este lenguaje como:

```
$$ P \cdot V^n = \mathrm{constant} $$
```

$$P \cdot V^n = \mathrm{constant}$$

donde `$$` al principio y al final significa que la expresión matemática irá en una línea aparte. Si, por el contrario, se escribe sólo `$` al principio y al final, esto indica que la expresión irá en la misma línea del texto.

Parte 2. Descripción de la Solución

Solution

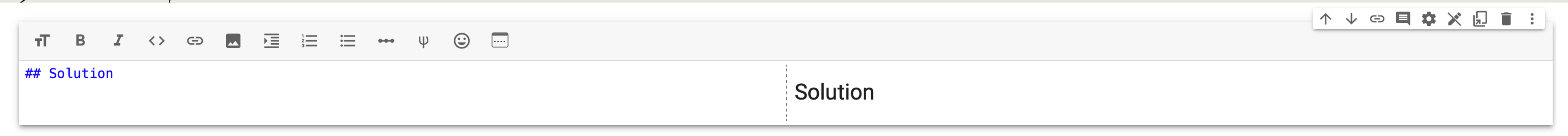
- **Known:** A gas in a piston–cylinder assembly undergoes an expansion for which $P \cdot V^n = \text{constant}$.
- **Find:** Evaluate the work if:

> (a) *n* = 1.5,
> (b) *n* = 1.0,
> (c) *n* = 0.

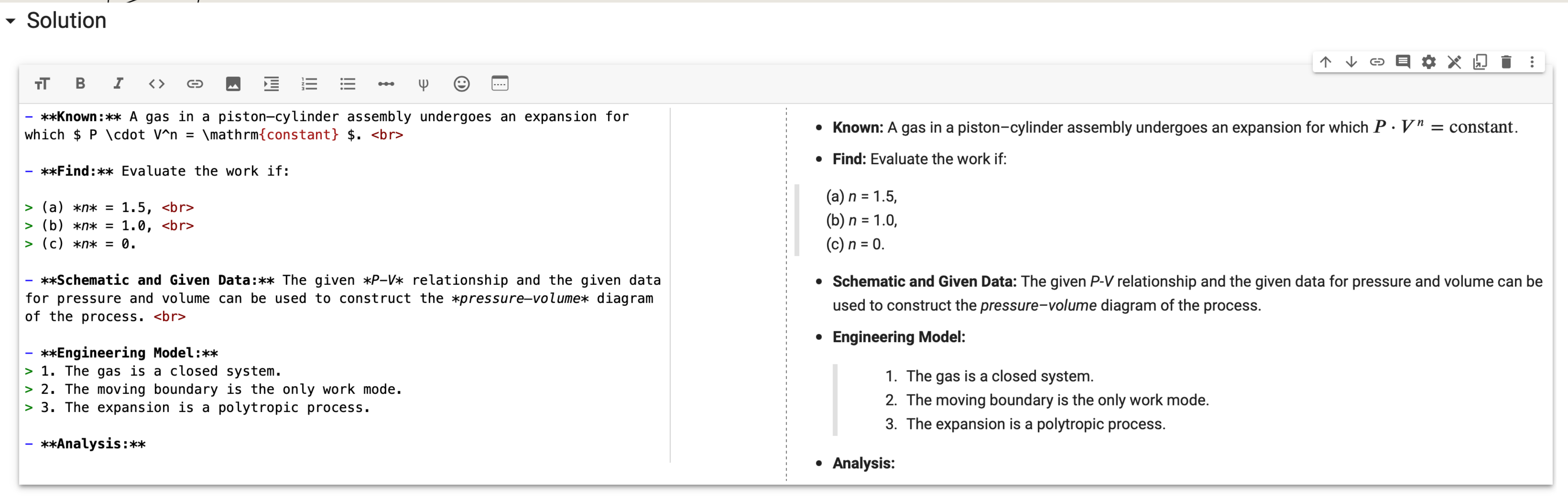
- **Schematic and Given Data:** The given *P-V* relationship and the given data for pressure and volume can be used to construct the *pressure–volume* diagram of the process.
- **Engineering Model:**

> 1. The gas is a closed system.
> 2. The moving boundary is the only work mode.
> 3. The expansion is a polytropic process.

- **Analysis:**



Esta celda de texto con el título de la sección se escribe como un encabezado de nivel 2 (##).



Solution

```
- **Known:** A gas in a piston-cylinder assembly undergoes an expansion for
which $ P \cdot V^n = \mathrm{constant} $. <br>

- **Find:** Evaluate the work if:

> (a) *n* = 1.5, <br>
> (b) *n* = 1.0, <br>
> (c) *n* = 0.

- **Schematic and Given Data:** The given *P-V* relationship and the given data
for pressure and volume can be used to construct the *pressure-volume* diagram
of the process. <br>

- **Engineering Model:**
> 1. The gas is a closed system.
> 2. The moving boundary is the only work mode.
> 3. The expansion is a polytropic process.

- **Analysis:**
```

- **Known:** A gas in a piston–cylinder assembly undergoes an expansion for which $P \cdot V^n = \mathrm{constant}$.
- **Find:** Evaluate the work if:

> (a) *n* = 1.5,
> (b) *n* = 1.0,
> (c) *n* = 0.

- **Schematic and Given Data:** The given *P-V* relationship and the given data for pressure and volume can be used to construct the *pressure–volume* diagram of the process.
- **Engineering Model:**

> 1. The gas is a closed system.
> 2. The moving boundary is the only work mode.
> 3. The expansion is a polytropic process.

- **Analysis:**

Esta celda de texto incluye negrillas (`**al inicio y al final**`), cursivas (`*al inicio y al final*`), saltos de línea (`<br>`), viñetas (-), sangrías (>) y una ecuación dentro del texto escrita en LaTeX.

```
$ P \cdot V^n = \mathrm{constant} $
```

$$P \cdot V^n = \mathrm{constant}$$

Parte 3. Importar paquetes Python

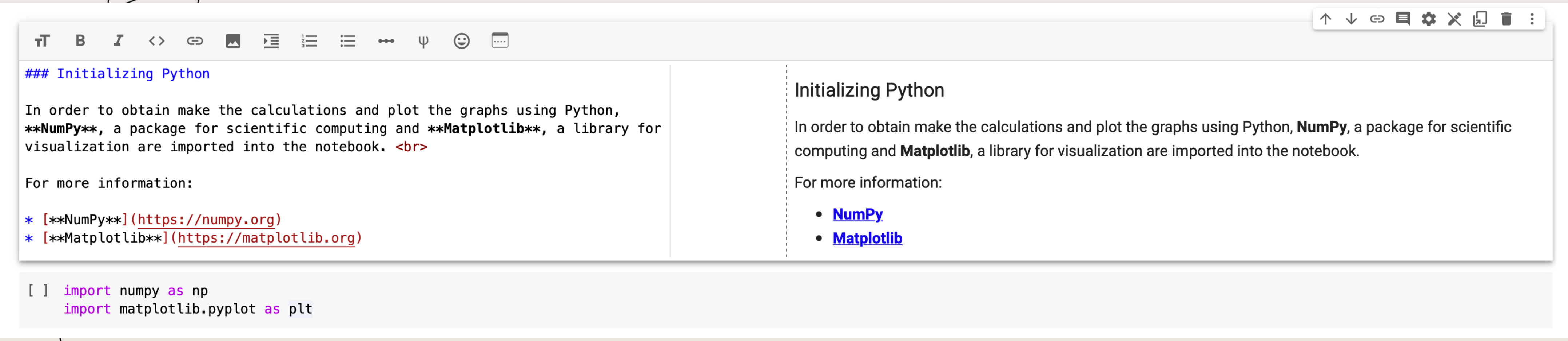
Initializing Python

In order to obtain make the calculations and plot the graphs using Python, **NumPy**, a package for scientific computing and **Matplotlib**, a library for visualization are imported into the notebook.

For more information:

- NumPy
- Matplotlib

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



La celda de texto lleva el título de la sección, escrito como un encabezado de nivel 2 (##). Luego, se explica la función de la celda de código que sigue a continuación. También aparece la forma en la que se escriben los enlaces a páginas web.

`[**NumPy**](https://numpy.org)` **Numpy**

En la celda de código se hace el llamado de los paquetes Python que se usarán en el documento.

`import numpy as np` Llama al paquete NumPy para realizar los cálculos. Las funciones de este paquete se reconocerán porque llevarán el nombre np.

`import matplotlib.pyplot as plt` Llama al paquete Matplotlib para realizar los diagramas. Las funciones de este paquete se reconocerán porque llevarán el nombre plt.

Parte 4. Definición de los Valores Iniciales

Initial Values

The given data are the initial pressure (P_1) and volume (V_1), as well as the final volume (V_2).

First, is necesary to convert P_1 from bar to kPa:

$$P_1 = 3\,\mathrm{bar} \cdot \frac{100\,\mathrm{kPa}}{1\,\mathrm{bar}} = 300\,\mathrm{kPa}$$

```
[ ] P1 = 300
    print('P1:', P1,'kPa')
```

```
P1: 300 kPa
```

```
[ ] V1 = 0.1
    print('V1:', V1,'m³')
```

```
V1: 0.1 m³
```

```
[ ] V2 = 0.2
    print('V2:', V2,'m³')
```

```
V2: 0.2 m³
```

```
**Initial Values:** <br>

The given data are the initial pressure $(P_1)$ and volume $(V_1)$, as well as
the final volume $(V_2)$. <br>

First, is necesary to convert $P_1$  from $\mathrm{bar}$ to $\mathrm{kPa}$: <br>

$$ P_1 = 3 \, \mathrm{bar} \cdot \frac{100 \, \mathrm{kPa}}{1 \, \mathrm{bar}}
= 300 \, \mathrm{kPa} $$
```

Initial Values:

The given data are the initial pressure (P_1) and volume (V_1), as well as the final volume (V_2).

First, is necesary to convert P_1 from bar to kPa:

$$P_1 = 3 \, \mathrm{bar} \cdot \frac{100 \, \mathrm{kPa}}{1 \, \mathrm{bar}} = 300 \, \mathrm{kPa}$$

Esta celda incorpora expresiones matemáticas dentro del texto para describir la presión 1 y los volúmenes 1 y 2:

`$(P_1)$` : (P_1)
`$(V_1)$` : (V_1)
`$(V_2)$` : (V_2)

También se indican las unidades que se van a convertir:

`$\mathrm{bar}$` : bar
`$\mathrm{kPa}$` : kPa

La ecuación que presenta esta conversión de unidades se incluye en una línea separada del texto:

`$$ P_1 = 3 \, \mathrm{bar} \cdot \frac{100 \, \mathrm{kPa}}{1 \, \mathrm{bar}} = 300 \, \mathrm{kPa} $$`

$$P_1 = 3 \, \mathrm{bar} \cdot \frac{100 \, \mathrm{kPa}}{1 \, \mathrm{bar}} = 300 \, \mathrm{kPa}$$

```
[ ] P1 = 300
    print('P1:', P1,'kPa')

    P1: 300 kPa

[ ] V1 = 0.1
    print('V1:', V1,'m³')

    V1: 0.1 m³

[ ] V2 = 0.2
    print('V2:', V2,'m³')

    V2: 0.2 m³
```

En estas celdas de código se definen las variables que almacenarán los valores de la presión 1 (`P1`) y los volúmenes 1 (`V1`) y 2 (`V2`).

Tras definir cada variable se incluye una línea `print` para que el programa muestre el valor (y sus unidades) en pantalla.

Parte 5. Encontrar la Presión del Estado 2

Polytropic process, *n* = 1.5

Polytropic exponent

First, the value of *n* is initialized:

```
[ ] n_poly = 1.5
    print('n:', n_poly)
```

```
n: 1.5
```

Constant

The constant C can be obtained using the values P_1 and V_1 using the given *pressure–volume* relation:

$$C = P_1 \cdot V_1^n$$

```
[ ] C_poly = P1 * np.power(V1,n_poly)
    print('C:', np.round(C_poly,3))
```

```
C: 9.487
```

Pressure @ state 2

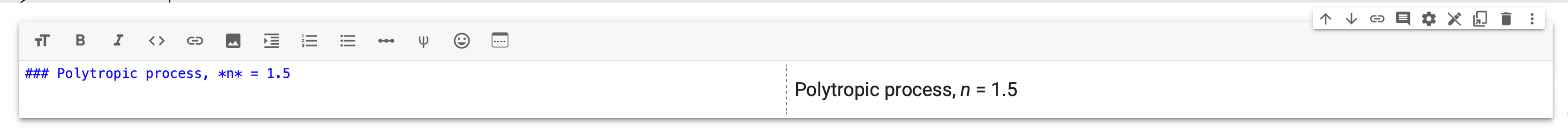
To evaluate the work along this process, the pressure at state 2 is required. This can be found by using the *pressure–volume* relation, which on rearrangement yields:

$$P_2 \cdot V_2^n = C$$

$$P_2 = \frac{C}{V_2^n}$$

```
[ ] P2_poly = C_poly / np.power(V2,n_poly)
    print('P2:', np.round(P2_poly,1),'kPa')
```

```
P2: 106.1 kPa
```



En esta celda de texto se escribe el título de esta sub-sección como un encabezado de nivel 3 (###).

Polytropic process, n = 1.5

```
**Polytropic exponent**

First, the value of *n* is initialized:
```

Polytropic exponent

First, the value of *n* is initialized:

```
[ ] n_poly = 1.5
    print('n:', n_poly)

    n: 1.5
```

La celda de texto inicial explica que en la línea de código a continuación se definirá una nueva variable (`n_poly`) que almacenará el valor de n que se usará para resolver la primera parte del ejercicio.

La línea `print('n:', n_poly)` hace que el programa muestre en pantalla el valor dado a n.

```
**Constant** <br>

The constant $C$ can be obtained using the values $P_1$ and $V_1$  using the
given *pressure–volume* relation:

$$ C = P_1 \cdot V^n_1 $$
```

Constant

The constant C can be obtained using the values P_1 and V_1 using the given *pressure–volume* relation:

$$C = P_1 \cdot V^n_1$$

```
[ ] C_poly = P1 * np.power(V1,n_poly)
    print('C:', np.round(C_poly,3))

    C: 9.487
```

La celda de texto inicial explica que en la línea de código a continuación se definirá una nueva variable (`C_poly`) que almacenará el valor de la constante C.

A continuación se muestra cómo obtener C en una ecuación escrita en una línea aparte del texto.

`$$ C = P_1 \cdot V^n_1 $$`

$$C = P_1 \cdot V^n_1$$

La primera línea de la celda de código muestra cómo se traduce esta ecuación a código Python:

```
C_poly = P1 * np.power(V1,n_poly)
```

donde se emplea la función de NumPy `np.power` con la que se eleva `V1` al exponente `n_poly`.

`print('C:', np.round(C_poly,3))` hace que el programa muestre en pantalla el valor dado a C. Aquí se utiliza la función de NumPy `np.round` con la que se redondea la variable (en este caso `C_poly`) a tres decimales.

```
**Pressure @ state 2** <br>

To evaluate the work along this process, the pressure at state 2 is required.
This can be found by using the *pressure–volume* relation, which on
rearrangement yields:

$$ P_2 \cdot V^n_2 = C $$

$$ P_2 = \frac{C}{V^n_2} $$
```

Pressure @ state 2

To evaluate the work along this process, the pressure at state 2 is required. This can be found by using the *pressure–volume* relation, which on rearrangement yields:

$$P_2 \cdot V^n_2 = C$$

$$P_2 = \frac{C}{V^n_2}$$

```
[ ] P2_poly = C_poly / np.power(V2,n_poly)
    print('P2:', np.round(P2_poly,1),'kPa')

    P2: 106.1 kPa
```

La celda de texto inicial explica cómo se encontrará el valor de la presión en el estado 2, teniendo en cuenta que el estado 2 hace parte de un proceso politrópico. Para ello se emplean dos expresiones matemáticas que se escriben en líneas separadas del texto.

`$$ P_2 \cdot V^n_2 = C $$`

$$P_2 \cdot V^n_2 = C$$

`$$ P_2 = \frac{C}{V^n_2} $$`

$$P_2 = \frac{C}{V^n_2}$$

La primera línea de la celda de código muestra la traducción de esta última ecuación a código Python:

```
P2_poly = C_poly / np.power(V2,n_poly)
```

La línea `print('P2:', np.round(P2_poly,1),'kPa')` muestra en pantalla el valor calculado para P_2.

Parte 6. Cálculo del Trabajo en un Proceso Politrópico

Work

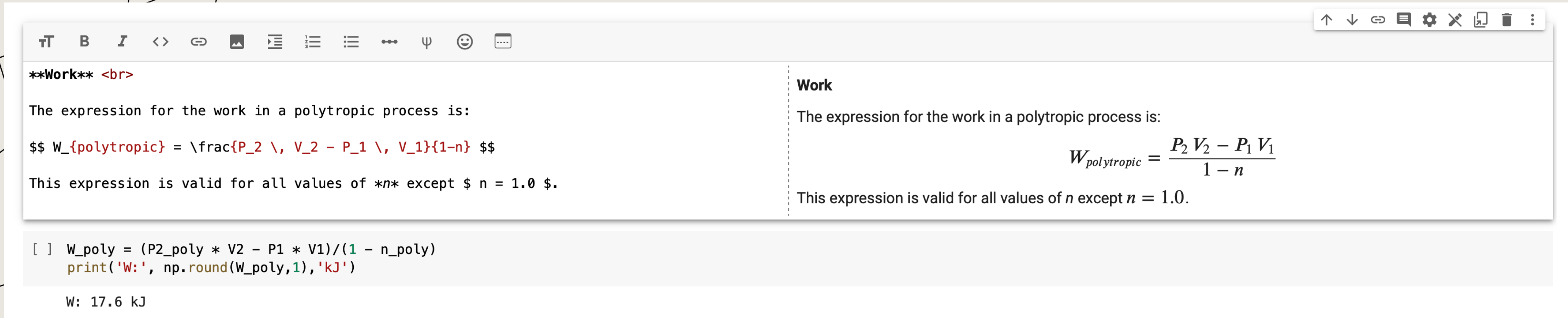
The expression for the work in a polytropic process is:

$$W_{polytropic} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - n}$$

This expression is valid for all values of *n* except $n = 1.0$.

```
[ ]  W_poly = (P2_poly * V2 - P1 * V1)/(1 - n_poly)
     print('W:', np.round(W_poly,1),'kJ')
```

```
W: 17.6 kJ
```



```
**Work** <br>

The expression for the work in a polytropic process is:

$$ W_{polytropic} = \frac{P_2 \, V_2 - P_1 \, V_1}{1-n} $$

This expression is valid for all values of *n* except $ n = 1.0 $.
```

Work

The expression for the work in a polytropic process is:

$$W_{polytropic} = \frac{P_2 \, V_2 - P_1 \, V_1}{1-n}$$

This expression is valid for all values of n except $n = 1.0$.

```
[ ] W_poly = (P2_poly * V2 - P1 * V1)/(1 - n_poly)
    print('W:', np.round(W_poly,1),'kJ')
```

```
W: 17.6 kJ
```

La celda de texto explica que en la siguiente línea de código se calculará el trabajo realizado sobre la frontera en un proceso politrópico, usando la ecuación:

```
$$ W_{polytropic} = \frac{P_2 \, V_2 - P_1 \, V_1}{1-n} $$
```

$$W_{polytropic} = \frac{P_2 \, V_2 - P_1 \, V_1}{1-n}$$

Esta ecuación aparece traducida a Python en la primera línea de la celda de código:

```
W_poly = (P2_poly * V2 - P1 * V1)/(1 - n_poly)
```

donde se utilizan tanto los valores definidos inicialmente para los volúmenes, la presión 1 y el exponente politrópico como el valor hallado para la presión 2.

Finalmente, la línea `print` muestra en pantalla el valor encontrado para el trabajo en este proceso.

Parte 7. Elaboración del Diagrama *P-V*
Definición de los Valores de Volumen

P-V Diagram

To make the graphs in Python, we create an array for the volume going from V_1 to V_2. One way to do it is using the function *linspace* of *NumPy*.
This function needs the initial and final values, as well as the number of points that will compound the array.

```
[ ] points = 100
```

```
V = np.linspace(V1, V2, points)
print('Volume:', V, 'm³')
```

```
### *P-V* Diagram

To make the graphs in Python, we create an array for the volume going from
$V_1$ to $V_2$. One way to do it is using the function *linspace* of *NumPy*.
This function needs the initial and final values, as well as the number of
points that will compound the array.
```

P-V Diagram

To make the graphs in Python, we create an array for the volume going from V_1 to V_2. One way to do it is using the function *linspace* of *NumPy*. This function needs the initial and final values, as well as the number of points that will compound the array.

```
[ ] points = 100
```

```
[ ] V = np.linspace(V1, V2, points)
    print('Volume:', V, 'm³')
```

En esta sub-sección se prepararán las variables que se van a graficar en el diagrama *P-V*.

La variable independiente (*eje x*) será el volumen. Así, es necesario saber cuáles son sus valores inicial (`V1`) y final (`V2`). También debe indicarse cuántos puntos (`points`) se emplearán para realizar el gráfico.

La lista de todos los valores del volumen desde el inicial hasta el final se crea con la función de NumPy `np.linspace` y se almacen en una variable (`V`). Por lo tanto:

```
V: [0.1 0.1010101 0.1020202 0.1030303 ··· 0.1969697 0.1979798 0.1989899 0.2]
```

Parte 8. Elaboración del Diagrama *P-V* Obtención de los Valores de la Presión como Función del Volumen

Now, is necessary to create a new array for the values of pressure ranging from P_1 to P_2

$$P = \frac{C}{V^n} \text{, for } P_1 < P < P_2$$

```
[ ] P_poly = C_poly / np.power(V,n_poly)
    print('Pressure:', np.round(P_poly,2), 'kPa')
```

```
Now, is necessary to create a new array for the values of pressure ranging from
$P_1$ to $P_2$

$$ P = \frac{C}{V^n} \; \text{, for} \; P_1 < P < P_2 $$
```

Now, is necessary to create a new array for the values of pressure ranging from P_1 to P_2

$$ P = \frac{C}{V^n} \; \text{, for} \; P_1 < P < P_2 $$

```
[ ]  P_poly = C_poly / np.power(V,n_poly)
     print('Pressure:', np.round(P_poly,2), 'kPa')
```

Continuando con la preparación de las variables, ahora es el turno de la variable dependiente (*eje y*), que en este caso será la presión. Para ello es necesario saber cómo varía la presión como función del volumen. Sabiendo que se trata de un proceso politrópico ($P \cdot V^n = C$), esta dependencia se encuentra despejando la presión:

Formato texto LaTeX: `$$ P = \frac{C}{V^n} $$`

$$P = \frac{C}{V^n}$$

Código Python: `P_poly = C_poly / np.power(V,n_poly)`

Como V es una lista, cuando se evalúe este código en Python P_poly también se convertirá en una lista que contendrá todos los valores de la presión evaluados para cada valor de volumen almacenado en V.

La lista P_poly con los valores de la presión como función del volumen para el proceso politrópico con n = 1.5 es:

`P_poly: [300. 295.51 291.13 286.86 ··· 108.52 107.69 106.87 106.07]`

Parte 9. Creación del Diagrama *P-V* Graficando los Valores (Volumen, Presión)

Es aquí donde se usan diferentes funciones de Matplotlib. Se resalta la línea:

```
plt.plot(V,P_poly,'b--',linewidth=1.5)
```

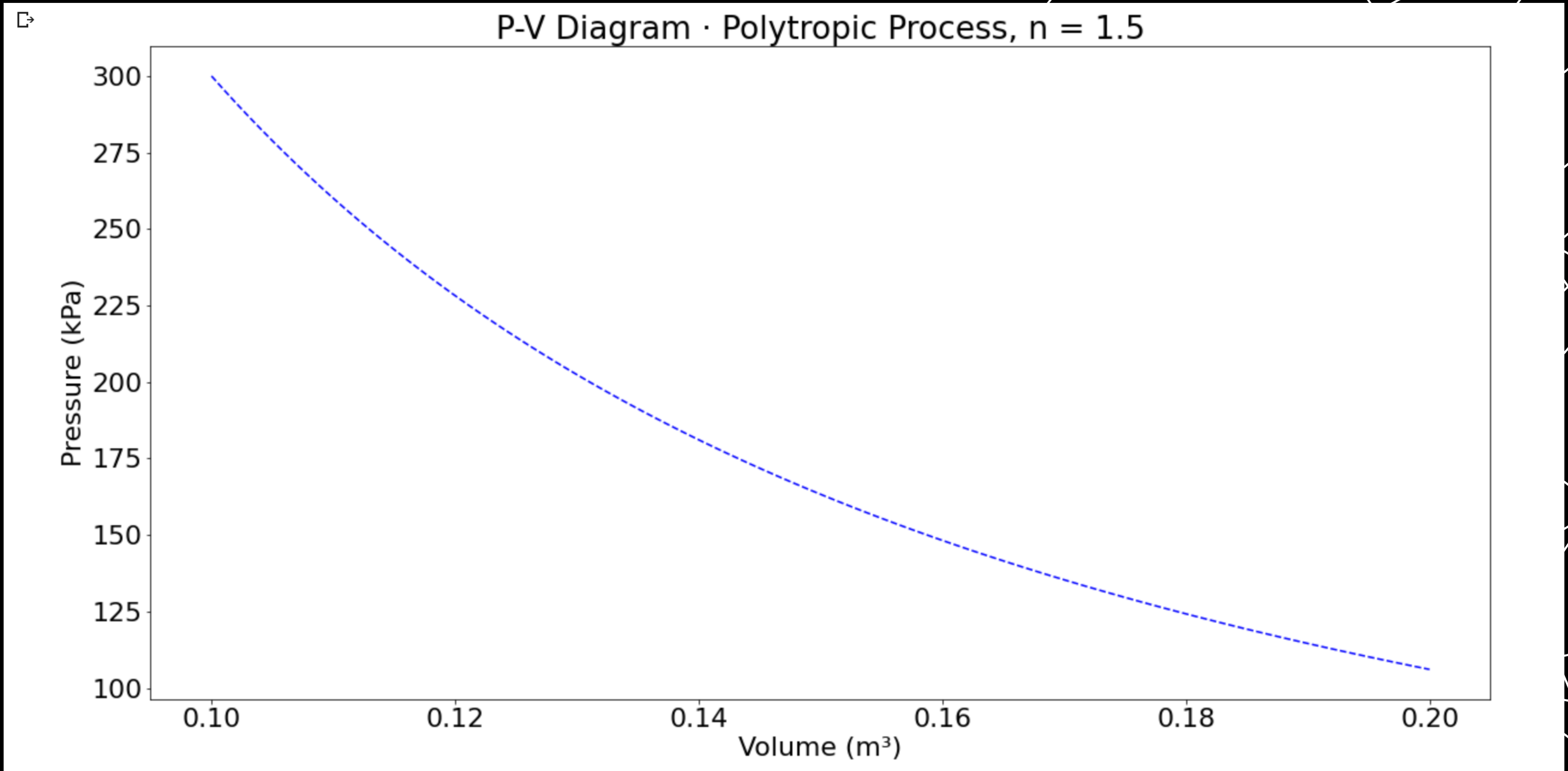
en la que se indica el formato con el que se graficarán los puntos con coordenadas (V, P_poly).

```
font = {'family' : 'Helvetica',
        'size'   : 22}

plt.figure(figsize=(20,10))
plt.title('P-V Diagram · Polytropic Process, n = 1.5')
plt.rc('font', **font)

plt.plot(V,P_poly,'b--',linewidth=1.5)

plt.ylabel('Pressure (kPa)')
plt.xlabel('Volume (m³)')
plt.show()
```


P-V Diagram · Polytropic Process, n = 1.5
Pressure (kPa)
300
275
250
225
200
175
150
125
100
0.10
0.12
0.14
0.16
0.18
0.20
Volume (m³)