

# IMEC-2001 Herramientas Computacionales:

## Proyecto Final

### Parte 1 – Modelamiento potencia de un ciclista

#### 1. INTRODUCCIÓN

---

Dentro de los muchos campos que la ingeniería mecánica puede impactar, uno que podría pasar desapercibido es el de los deportes. La búsqueda de estrategias para encontrar ganancias marginales en deportes como el atletismo, el ciclismo, natación, etc., ha sido objeto de estudio de ingenieros durante muchos años.

Modelar computacionalmente el desempeño de un ciclista permite al mismo ciclista, a su equipo o entrenador, realizar análisis técnicos y económicos para la toma de decisiones frente a las estrategias de entrenamiento.

#### 2. OBJETIVOS

---

Alineados a los objetivos de aprendizaje del curso, el proyecto busca:

- Desarrollar habilidades pertinentes a la implementación de algoritmos computacionales para la solución de problemas de ingeniería.
- Solucionar problemas de ingeniería mediante la utilización de herramientas computacionales de alto nivel utilizando librerías numéricas existentes y plataformas interactivas de programación.

#### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

---

El proyecto consiste en desarrollar un algoritmo computacional que permita modelar el desempeño de un ciclista en diferentes puertos de montaña, en términos de las variables de entrada (curva de potencia del ciclista, condiciones meteorológicas, condiciones del puerto de montaña) y las variables de respuesta (potencia requerida, tiempo de finalización del puerto de montaña), así como evaluar los resultados. Cada pareja de estudiantes debe explorar y utilizar herramientas computacionales modernas para desarrollar un algoritmo ejecutable.

El desarrollo computacional no debe limitarse únicamente con el lenguaje de preferencia del curso, Python. También se invita el uso de aquellas que se manejan en el día a día de la carrera (por ejemplo, Microsoft Excel o MATLAB). Además, se contribuye al desarrollo de código abierto de proyectos.

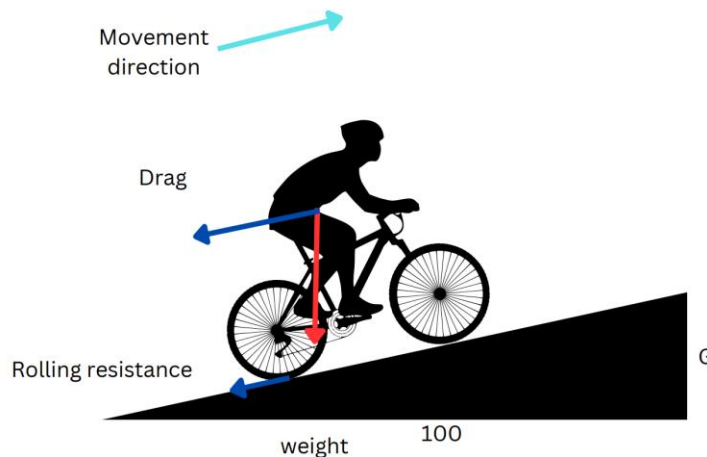
Estos desarrollos usualmente son valorados por la comunidad en un proceso de evaluación de requisitos y requerimientos (por ejemplo, documentación, entendimiento del algoritmo, desempeño) para, de esta manera, evaluar la calidad de los trabajos que los autores remiten para su publicación.

**Nota:** Cada ítem no desarrollado se penaliza con -0.5 en la nota final del proyecto (obtenida a partir de las matrices de calificación).

## 4. DESARROLLO Y MARCO TEÓRICO

### 4.1. Planteamiento del Problema

Se dispone de un ciclista subiendo una colina con pendiente  $G\%$ ; es decir, por cada 100 metros avanzados horizontalmente, el ciclista aumenta su elevación  $G$  metros verticalmente. Dicho ciclista cuenta con un peso combinado junto al de su equipamiento (casco, bicicleta, hidratación, etc.)  $W$ , y se mueve con una velocidad  $V_{gs}$ , (ground speed).



**Figura 1.** Diagrama de cuerpo libre

Para poder modelar el comportamiento de un ciclista en un puerto de montaña, debemos entender qué factores se oponen al movimiento del ciclista.

### Fuerza de gravedad

Cuando el ciclista intenta subir una colina, la fuerza de gravedad tendrá una componente que se opone naturalmente a la dirección de movimiento del ciclista. Dicha fuerza se puede expresar de la siguiente manera:

$$F_{gravity} = g \cdot W \cdot \sin \left[ \arctan \left( \frac{G}{100} \right) \right]$$

Donde  $\arctan \left( \frac{G}{100} \right)$  es el ángulo correspondiente a la pendiente del puerto de montaña.

### Fuerza de resistencia a la rodadura

Por otro lado, la fricción entre las llantas y la superficie de la carretera también se opone a la dirección de movimiento. Entre más "bumpy" sea la carretera, más fricción experimentará el ciclista; con una mejor calidad de corazas y tubos, menor fricción se experimentará. Además, entre más pesado sea el ciclista y su equipo, más fricción se experimentará. Usando en parámetro adimensional  $C_{rr}$  llamado *coeficiente de rodadura*, el cual captura las características de la carretera y las llantas, tenemos:

$$F_{rolling} = g \cdot W \cdot \cos \left[ \arctan \left( \frac{G}{100} \right) \right] \cdot C_{rr}$$

### Fuerza de arrastre aerodinámico

Cuando un ciclista se mueve a través del aire, este se opone a la dirección del movimiento. Entre más rápido se mueva el ciclista, más fuerte será la fuerza de arrastre. Además, entre más grande sea el ciclista, más fuerte será la fuerza de arrastre. Usando el parámetro adimensional  $C_d$ , llamado *coeficiente de arrastre*, el cual captura las características del ciclista y su posición sobre la bicicleta, el área frontal del ciclista  $A$ , y la densidad del aire  $\rho$ , y teniendo en cuenta que la velocidad incidente será la suma de la velocidad a la que el ciclista se mueve, más la velocidad del viento  $V_{hw}$ , tenemos:

$$F_{drag} = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot (V_{gs} + V_{hw})^2$$

Es decir, que un ciclista deberá superar una fuerza total equivalente a:

$$F_{resist} = F_{drag} + F_{gravity} + F_{rolling}$$

Por cada unidad de distancia que el ciclista se mueve hacia adelante, se gasta energía. De esta manera, la energía que se requiere en las ruedas de la bicicleta deberá ser suficiente para poder mover todo el conjunto a una velocidad  $V_{gs}$ :

$$P_{wheels} = F_{resist} \cdot V_{gs}$$

Por último, no toda la energía que el ciclista gasta en superar la fuerza de resistencia se convierte en velocidad. Parte de la energía se pierde en el tren de potencia de la bicicleta. El tren de potencia incluye los pedales, los platos, la cadena, los piñones, los bujes, las llantas y los tubos. La eficiencia del tren de potencia,  $Loss_{dt}$ , es la fracción de la energía que no se convierte en velocidad. La energía que se convierte en velocidad es:

$$P_{wheels} = \left(1 - \frac{Loss_{dt}}{100}\right) \cdot P_{legs}$$

Uniendo todo, tendremos que:

$$P_{legs} = \left(1 - \frac{Loss_{dt}}{100}\right)^{-1} \cdot [F_{gravity} + F_{rolling} + F_{drag}] \cdot V_{gs}$$

$$P_{legs} = \left(1 - \frac{Loss_{dt}}{100}\right)^{-1} \cdot \left[ g \cdot W \cdot \sin \left[ \arctan \left( \frac{G}{100} \right) \right] + g \cdot W \cdot \cos \left[ \arctan \left( \frac{G}{100} \right) \right] \cdot C_{rr} + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot (V_{gs} + V_{hw})^2 \right] \cdot V_{gs}$$

## Ítem 1

A partir de las ecuaciones mostradas anteriormente:

- Encuentren una ecuación polinómica que relacione las variables de interés  $P_{legs}$  y  $V_{gs}$ . Para esto tengan en cuenta:
  - $P_{legs}$  es directamente proporcional a  $V_{gs}^3$
  - Asuman que todos los valores de pendiente, peso, densidad, área, entre otros, son conocidos.

2. Del archivo [project > data > puertos.xlsx](#), tomen los datos de dos puertos diferentes según el último dígito de cada uno de los miembros del grupo. Grafiquen la potencia promedio requerida contra el tiempo de finalización de los puertos. Asuman un valor de  $C_d \cdot A = 0,35$ ,  $W = 81$  kg, una velocidad del viento  $V_{hw} = 2$  m/s, un  $C_{rr} = 0.005$  y una pérdida  $Loss_{dt} = 2\%$ . Seleccionen  $\rho$  de acuerdo a su criterio ingenieril. Si coincide que ambos tengan el mismo puerto, seleccionen como segundo puerto cualquiera de su preferencia.
3. Para un ciclista con una potencia promedio de 230 W, ¿en qué tiempo completaría el ciclista los puertos del punto anterior?
4. ¿Qué sucede si el ciclista del punto anterior reduce el peso de su bicicleta (o de su cuerpo) en 1 kg? ¿Y en 5 kg? Expresen esto en “segundo ganados”.
5. ¿Qué pueden decir sobre la *dificultad* de los puertos que graficaron? Ayúdense, si es necesario, de graficar el comportamiento de más puertos.

**Nota:** Si el ejercicio fue realizado con Microsoft Excel, el procedimiento de solución debe indicarse en la memoria de cálculos y el archivo en Microsoft Excel debe ser cargado junto con los entregables en Bloque Neón.

---

## 4.2. Procesamiento Datos

Durante un trayecto, un ciclista puede tomar muchos datos sobre su rendimiento. En la ruta [project > data > data.csv](#), se encuentran los datos capturados por un ciclista durante un segmento de una *rodada*. Esta información comprende valores de velocidad, cadencia, potencia, y tiempo.

### Ítem 2

Realice los siguientes procesamientos a los datos:

1. Entreguen una nueva serie donde solo se muestren los datos donde la cadencia se encuentre por encima de 70 rpm y por debajo de 90 rpm. Calculen la frecuencia cardíaca promedio en el nuevo set de datos.

2. Encuentre qué porcentaje de los datos se encuentran en los siguientes rangos:

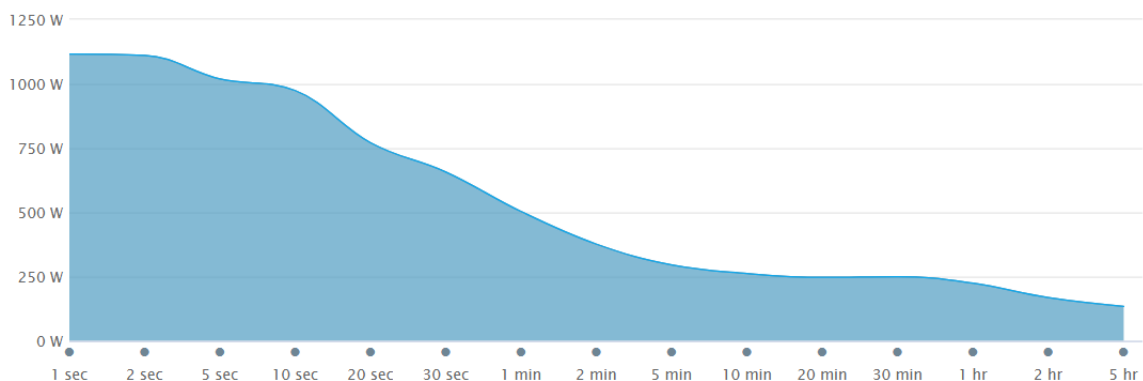
- a Zona 1: 0 – 130 W
- b Zona 2: 130 – 178 W
- c Zona 3: 178 – 213 W
- d Zona 4: 213 – 249 W
- e Zona 5: 249 – 284 W
- f Zona 6: 284 – 356 W
- g Zona 7: 356 – 1500 W

Presente estos datos de una manera concisa (¿gráfica?) y explique las razones por las cuales escogió el método utilizado.

---

#### 4.3. Curva de potencia de un ciclista

A partir de datos tomados en diferentes trayectos y puertos, un ciclista puede conocer su curva de potencia. Esta curva, caracteriza la potencia que puede entregar dicho ciclista durante un tiempo determinado. Así, un ciclista que tiene en su curva de potencia el punto (237 W, 1 hora), es capaz de mantener durante una hora, 237 W en promedio.



**Figura 2.** Curva de potencia de un ciclista

Los datos de potencia de un ciclista se encuentran en el repositorio del curso en GitHub, bajo la ruta [project > data > curva-potencia.csv](#).

### Ítem 3

A partir de los datos presentados:

1. Realicen un interpolador del grado que considere adecuado para los datos.
2. Realicen la gráfica de los datos entregados y el interpolador que implementaron.
3. Expliquen por qué utilizaron el método de interpolación seleccionado.

---

#### 4.4. Tiempo mínimo de finalización de un puerto para un ciclista

En el momento en que las condiciones de un puerto particular y las características de potencia de un ciclista se conocen, es posible encontrar el tiempo mínimo teórico que dicho ciclista podría completar dicho puerto de montaña, dando su máximo esfuerzo. Decimos tiempo mínimo teórico porque para que este se logre, se deben cumplir las suposiciones que establecemos en nuestro modelo.

### Ítem 4

Estimen el tiempo de finalización de cada uno de los puertos del archivo [project > data > puertos.xlsx](#), para el ciclista caracterizado.

**Nota:** El resultado de este ítem debe ser un conjunto de datos de dimensiones  $n$  filas (tiempos de finalización de cada puerto) y 1 columna.

Grafiquen en una misma figura la curva de potencia del ciclista y las curvas de los puertos solicitados en el ítem 1 – punto 2, indicando los tiempos mínimos para cada puerto.

---

#### 4.5. Estimaciones

Típicamente, un ciclista puede mejorar su curva de potencia con un entrenamiento estructurado. Si el ciclista caracterizado fuera capaz de mejorar un 20% los valores de potencia para tiempos entre 5 minutos y media hora, y fuera capaz de mejorar un 15% los valores de potencia para tiempos de 1 hora y superiores, este podría mejorar sus tiempos en cada puerto.

### Ítem 5

1. Estime los nuevos tiempos en los puertos solicitados desde el ítem 1 para la nueva curva de potencia luego de un entrenamiento estructurado.
-

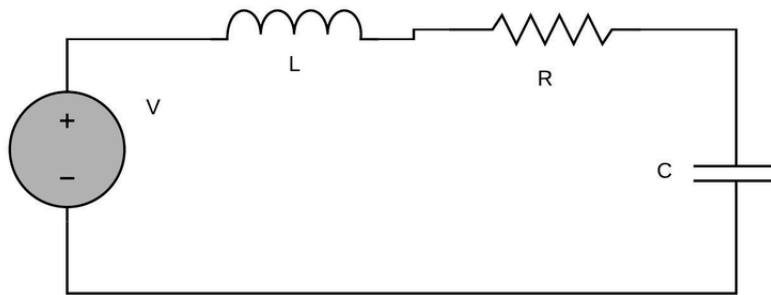


## Parte 2 – Circuito RLC

### 1. Introducción

Los circuitos que contienen fuentes, componentes lineales (resistores, capacitores, inductores) y elementos de distribución lineales (líneas de transmisión o cables) pueden analizarse por medio de métodos algebraicos para determinar el comportamiento que tendrán. Un circuito RLC (ver figura 1), consiste en [1]:

- i. Resistor (R): Afecta la amortiguación del sistema.
- ii. Inductor (L): Influye en la frecuencia de resonancia.
- iii. Capacitor (C): Suaviza las variaciones de la tensión del circuito.



**Figura 1.** Circuito RLC en serie

Esta configuración se utiliza comúnmente en diferentes circuitos osciladores, en la sintonización como la recepción de radio o televisor ya que se selecciona un rango estrecho de frecuencias de las ondas de radio ambientales, para realizar esta sintonización el circuito actúa como un filtro pasa banda [1].

### 2. Descripción

Esta segunda parte del proyecto consiste en estudiar los diferentes comportamientos del circuito RLC. Para lo cual se debe desarrollar un código que resuelva la ecuación diferencial que describe el fenómeno, además de identificar el impacto de cada una de las variables (R, L, C) junto con el tiempo.

### 3. Marco Teórico

La ecuación diferencial que modela el sistema está dada por la ecuación 1:

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{1}{C}Q = V(t) \quad [1]$$

|     |              |              |
|-----|--------------|--------------|
| $L$ | Inductancia  | [H]          |
| $I$ | Corriente    | [A]          |
| $R$ | Resistencia  | [ $\Omega$ ] |
| $C$ | Capacitancia | [F]          |
| $Q$ | Carga        | [C]          |
| $V$ | Voltaje      | [V]          |

Además de lo anterior, la corriente se puede expresar en términos de la carga con la ecuación 2:

$$I = \frac{\partial Q}{\partial t} \quad [2]$$

#### Ítem 1

Planteamiento de las ecuaciones:

1. Utilice la ecuación 2 para reemplazar en la ecuación 1 y encontrar una en términos de la carga.
2. De la expresión del ítem 1 despeje la derivada de mayor orden, de esta operación debe identificar los dos coeficientes que se obtienen. **[Ayuda:** La inductancia debe quedar dividiendo cada uno de los términos.]
3. Cree una función teniendo en cuenta lo visto en clase en donde se tenga la ecuación de 2, además esta debe retornar la primera y segunda derivada.

#### Ítem 2

Especificación de las variables del problema:

1. Para las condiciones iniciales del problema se especifica la corriente y la tensión o voltaje inicial. Para esto utilice estos 2 casos:
  - a.  $I(0) = 0$  ;  $Q(0) = 10$
  - b.  $I(0) = 2$  ;  $Q(0) = 0$
2. Especifique un paso de tiempo de 0 a 20 segundos.

**Nota:** Tenga en cuenta que el número de pasos de tiempo afecta la forma de la gráfica.

---

### Ítem 3

Utilizando la librería **integrate** con **odeint** para resolver la ecuación diferencial.  
¿Al resolver la ecuación qué variables se pueden conocer?

---

### Ítem 4

Resolver ecuación y evaluar el comportamiento:

1. Genere una función que tenga las condiciones iniciales, los coeficientes y la función del ítem 3 y resuelva la ecuación diferencial. Además de lo anterior la función debe graficar  $I$  vs  $T$  y  $Q$  vs  $t$ . A esta le debe entrar por parámetro  $R$ ,  $L$ ,  $C$ .

2. Importe la siguiente librería

```
# Widgets  
from ipywidgets import interact
```

3. Utilizando la siguiente estructura podrá generar una gráfica interactiva con los rangos ya especificados, el parámetro función hace referencia a la generada en el punto 1 del ítem 4.

```
interact(funcion, R=(0, 5), L=(0.1, 2), C=(0.1,1))
```

4. ¿Qué comportamientos puede observar cambiando las condiciones iniciales?
  5. ¿Qué comportamiento observa cambiando la resistencia y dejando la inductancia y capacitancia con un solo valor? Realice esto con las demás variables-
- 

### Referencias

---

- UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI, «UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI,»  
[1] [En línea]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/867/1/T-UTC-0621.pdf>. [Último acceso: 2023].

## COMPETENCIAS ABET

---

El proyecto evalúa el desarrollo de las siguientes competencias:

1. Habilidad para identificar, formular y resolver problemas complejos de ingeniería aplicando principios de ingeniería, ciencias y matemáticas.
  - 1.2. Escoge y aplica modelos cuantitativos, conceptuales y/o cualitativos para la solución de problemas mecánicos o térmicos.
  - 1.3. **Resuelve problemas de ingeniería.**
  
6. Habilidad para desarrollar y conducir apropiadamente experimentación, analizar e interpretar datos, y usar el juicio de ingeniería para elaborar conclusiones.
  - 6.3. **Analiza e interpreta datos, desarrolla los cálculos necesarios y tabula/gráfica los resultados.**
  - 6.4. **Elabora conclusiones basadas en datos experimentales y modelos disponibles.**
  
7. Habilidad para adquirir y aplicar nuevo conocimiento según sea necesario, utilizando estrategias de aprendizaje apropiadas.
  - 7.1. Busca e identifica fuentes relevantes de información haciendo uso de los recursos disponibles (libros, internet, journals, estándares, normas técnicas, tutoriales) para adquirir nuevo conocimiento.
  - 7.4. **Demuestra la habilidad de aplicar conocimiento adquirido para proponer e implementar una solución a un problema de Ingeniería Mecánica.**

## ENTREGAS

---

La fecha **domingo 3 de diciembre** es el plazo límite para **enviar la carpeta del proyecto en formato P\_NombreApellido\_NombreApellido.zip** con los entregables solicitados:

1. Documentación y memoria de cálculos para cada una de las partes.
2. Código ejecutable. Archivo individual para cada una de las partes.
3. Demostración práctica a partir de un video de máximo 10 minutos, explicando el detalle de la solución de los ítems y presentando el código ejecutable. Si algún integrante no está presente, se penaliza con -0.5 en la nota final del proyecto (obtenida a partir de las matrices de calificación).

**Nota 1:** En Bloque Neón > Contenido > Foros > Proyecto se encuentra el medio centralizado para la resolución de preguntas con el equipo docente. También, se incentiva a que este sea un espacio colaborativo entre todos los integrantes del curso.

**Nota 2:** Un formato diferente a [P\\_NombreApellido\\_NombreApellido.zip](#) se penaliza con -0.5 en la nota final del proyecto (obtenida a partir de las matrices de calificación).

## CALIFICACIÓN

---

La calificación del proyecto tiene en cuenta los valores porcentuales:

Tabla <sup>1</sup>. Sistema de evaluación.

| Entregable                          | Peso Porcentual |
|-------------------------------------|-----------------|
| Documentación y Memoria de Cálculos | 35%             |
| Código Ejecutable                   | 40%             |
| Demostración Práctica               | 25%             |

## MATRICES DE EVALUACIÓN

---

El proyecto se califica con base en las matrices de evaluación Documentación y Memoria de Cálculos, (ii.) Código Ejecutable, y (iii.) Demostración Práctica. Estas rubricas se disponen en Bloque Neón > Contenido > Introducción > Rúbricas.