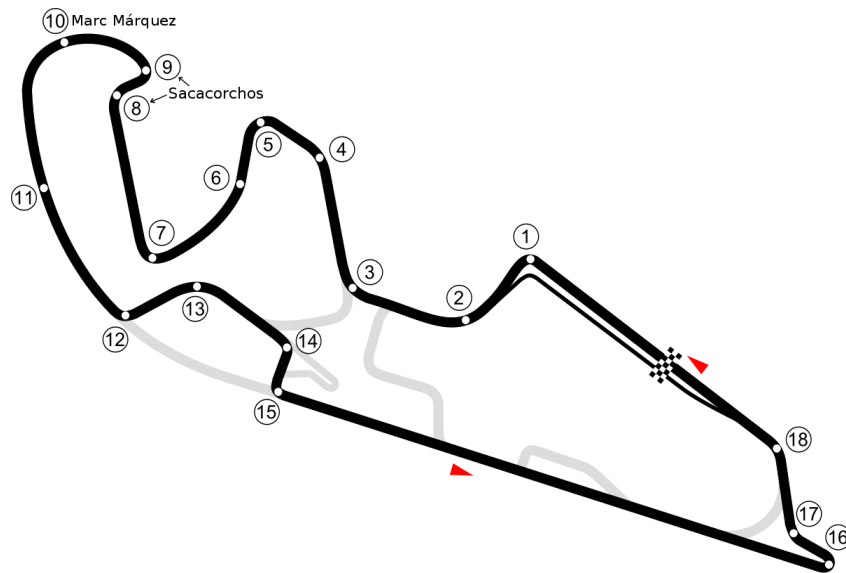


---

# FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

---

## Diseño de Modelos de Simulación



Ismael Expósito Jiménez

[iej00003@red.ujaen.es](mailto:iej00003@red.ujaen.es)

Juan Bautista Muñoz Ruiz

[jbmr0001@red.ujaen.es](mailto:jbmr0001@red.ujaen.es)

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b>	<b>2</b>
<b>1 - ANÁLISIS DEL PROBLEMA</b>	<b>4</b>
1.1 - Descripción:	4
1.2 - Requerimientos de la moto:	5
1.3 - Requerimientos del circuito:	5
1.4 - Fuentes de datos:	5
<b>2 - DISEÑO DEL MODELO</b>	<b>8</b>
2.1 - Estructura lógica del modelo:	8
2.1.2 - Modelo del diseño final:	9
2.2 - Elementos del modelo	11
2.2.1 - Entidades	11
• 2.2.1.1 - Piloto	11
• 2.2.1.2 - BMS	11
• 2.2.1.3 - Circuito	11
• 2.2.1.4 - Moto	11
2.2.3 - Atributos:	12
2.2.2 - Variables:	16
2.2.3 - Recursos:	16
2.2.4 - Acumuladores estadísticos:	17
2.2.5 - Eventos:	17
2.2.5 - Colas:	19
2.3 - Aspectos matemáticos del modelo	19
2.2.3.1 - Análisis de las entradas:	19
2.2.3.2 - Disciplina de la cola:	20
2.2.3.3 - Cálculo del tiempo de la vuelta:	20
2.2.3.4 - Cálculo de la velocidad máxima en un sector	21
2.2.3.5 - Cálculo de la aceleración	21
2.2.3.6 - Generación de aceleración aleatoria:	22

2.2.3.7 - Generación de frenada aleatoria:	22
2.2.3.8 - Incremento de temperatura de la batería	22
2.2.3.9 - Consumo de la batería	22
2.2.3.10 - Incremento del voltaje	23
2.2.3.11 - Cálculo del voltaje de reactivación	23
2.2.3.12 - Calculo de la temperatura segura	23
2.2.3.13 - Refrigeración	23
<b>3 - DESARROLLO DEL MODELO</b>	<b>23</b>
<b>4 - EXPERIMENTOS A REALIZAR</b>	<b>24</b>
4.1 - ¿Qué queremos responder con los experimentos?	24
4.2 - Experimentos:	24
<b>5 - CAMBIOS PRODUCIDOS EN LA FASE DE DESARROLLO RESPECTO AL MODELO ORIGINAL</b>	<b>25</b>
<b>6 - DESCRIPCIÓN DEL MODELO EN LA PLATAFORMA UTILIZADA</b>	<b>31</b>
<b>7 - ANÁLISIS DE LAS SALIDAS OBTENIDAS</b>	<b>35</b>
7.1 Análisis de las velocidades máximas calculadas para cada sector	35
7.2 Análisis de la telemetría del mejor piloto	36
7.3 Análisis de las configuraciones obtenidas	39
7.4 Análisis del tiempo en realizar el recorrido por parte de los mejores pilotos	42
7.5 Análisis del Sector0 (salida en cada vuelta)	43
<b>8 - CONCLUSIONES OBTENIDAS</b>	<b>44</b>
<b>8.1 - RESPUESTA AL PROBLEMA FORMULADO</b>	<b>44</b>
<b>8.2 - OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES</b>	<b>45</b>
Aceleración en la salida	45
Configuración del BMS, Voltaje y Temperatura	46
Tiempo obtenido de los pilotos	47
Opiniones finales sobre el proyecto	47

# 1 - ANÁLISIS DEL PROBLEMA

## 1.1 - Descripción:

Para este proyecto de simulación se pretende encontrar una configuración óptima del BMS para una motocicleta eléctrica de cara a realizar seis vueltas al circuito Motorland Aragón en el menor tiempo posible.

El BMS, Battery Management System se trata de la centralita que controla la batería de la moto. El objetivo es optimizar la configuración de los valores: voltaje máximo, temperatura máxima, voltaje de activación y temperatura segura. Con el fin de permitir al piloto realizar el recorrido en el mínimo tiempo posible y con el consumo máximo de la batería.

### Configuración Battery Management System

1 Voltaje máximo	2 Temperatura máxima	3 Voltaje de reactivación	4 Temperatura segura
------------------	----------------------	---------------------------	----------------------

1. Voltaje máximo de la batería en descarga. El voltaje con el que el motor se apagará de forma progresiva. Perdiendo así velocidad, pero dejando de consumir batería.
2. Temperatura máxima de la batería. Si se alcanza esta temperatura ocurrirán las dos siguientes acciones:
  - a. Se apagará el motor automáticamente de forma progresiva. Lo cual haría perder velocidad por dejar de consumir batería.
  - b. Seguidamente se le dará la opción al piloto de activar el sistema de refrigeración para aumentar o mantener la velocidad. El cual necesita consumir batería.

3. Voltaje de reactivación, si la batería está por debajo del voltaje de reactivación la función del apagado progresivo del motor finalizará, reactivándose así este.
4. Temperatura segura, si se llega a la temperatura segura ya no es necesario la refrigeración ni seguir apagando el motor progresivamente

## 1.2 - Requerimientos de la moto:

Estos son los requerimientos que debe tener la moto, los cuales se deben cumplir, por lo que las restricciones del BMS deberán cumplir estos requerimientos.

- Se dispone de una batería de 120 V. Por lo que:
  - El voltaje máximo configurable en el BMS es de 120 V.
- La moto tiene una potencia de 48 KW.
- Se quiere consumir toda o casi toda la batería para aprovechar su rendimiento al máximo.
- La velocidad máxima que alcanza la moto es de 180 km/h.
- La temperatura máxima es de 120°C.

## 1.3 - Requerimientos del circuito:

- Se realizarán 6 vueltas al circuito, que suma un total de 30,462 km
- Cada sector del circuito tendrá un límite de velocidad máximo del que no se podrá pasar sin perder la adherencia con el suelo. Estos valores son calculados de las fuentes de datos sobre vueltas al circuito Motorland Aragón a los que tenemos acceso.
- Dividiremos el circuito en varios sectores para poder establecer estas limitaciones. Asignaremos a cada sector una velocidad máxima, basada en las velocidades máximas y mínimas encontradas en la fuente de datos. Estas velocidades límite actuarán como restricciones.

## 1.4 - Fuentes de datos:

- Archivos de Matlab con los datos obtenidos en las competiciones y proyectos anteriores (Consumo de la batería, temperatura, velocidad...) en el circuito de Motorland Aragón.
- Reglamento de MotoStudent: [Reglamento](#)
- Características del motor y el BMS
  - Voltaje batería: 120V
  - Intensidad: 400 A
  - Velocidad máxima: 180 Km/h
  - Potencia Motor: 48 KW
  - Temperatura máxima: 120°C.
  - Peso de la moto: 100Kg
  - Capacidad batería: 200 A/h
  - Aceleración lateral máxima de una moto: 9 m/s<sup>2</sup>
  - Fuerza refrigerante de la moto: 5 °C
  - Carga refrigerante de la moto: 5 unidades

Obtenemos estos datos del archivo de datos MotoBMS.csv:

volt_max_bateri	120
volt_max_celula	15
intensidad	400
velocidad_max	180
potencia_motor	48
temperatura_ma	180
peso	100
capacidad	200
ace_Lateral	9
fuerzaRefrigerar	5
cargasRefrigera	5

- Datos del grado de distancia del sector del circuito, grado de curvatura del circuito y pendiente y en concreto para este circuito contaremos con 47 sectores.

393.28	0.00	0.00			
33.45	-21.50	0.00			
8.93	0.00	0.00			
96.99	0.00	0.01			
120.89	111.00	0.01			
13.03	111.00	0.05	118.23	0.00	0.03
144.88	0.00	0.05	395.89	-80.00	0.03
89.29	83.00	0.05	23.76	-18.00	-0.03
170.04	0.00	0.05	42.24	0.00	-0.03
41.59	0.00	0.01	70.94	0.00	0.03
69.50	-88.00	0.01	100.05	88.00	0.03
80.89	0.00	0.01	59.12	0.00	0.03
70.79	-36.00	0.01	105.21	0.00	-0.07
113.98	0.00	0.01	32.21	25.00	-0.07
24.93	66.00	0.01	66.28	0.00	-0.07
206.30	320.23	0.01	3.93	0.00	-0.03
57.15	33.00	0.01	29.10	-18.00	-0.03
11.77	0.00	0.01	280.30	0.00	-0.03
224.47	0.00	-0.01	519.86	0.00	-0.03
63.00	0.00	-0.07	187.37	0.00	0.00
57.76	41.00	-0.07	68.93	-115.00	0.00
31.45	0.00	-0.07	166.87	-115.00	0.05
51.14	-22.00	-0.07	34.74	0.00	0.05
142.06	-187.66	-0.07	41.17	-55.00	0.05
21.52	-187.66	0.03	83.01	0.00	0.05
175.33	-111.00	0.03	153.33	0.00	0.00

- Datos de aceleración lateral máxima según el tipo de vehículo. Centrándonos exclusivamente en el caso de la motocicleta.

Vehículo	Vehículo bajas prestaciones ( $m/s^2$ )	Vehículo altas prestaciones ( $m/s^2$ )
Motocicleta	5,0	7,0
Turismo	6,0	8,0
Camión	3,5	6,0

- Diferentes fórmulas físicas para realizar los cálculos con realismo en el modelo que serán detalladas en aspectos matemáticos del modelo.

## 2 - DISEÑO DEL MODELO

### 2.1 - Estructura lógica del modelo:

#### 2.1.1 - Estructura lógica del modelo:

Se trata de la estructura general de la simulación.



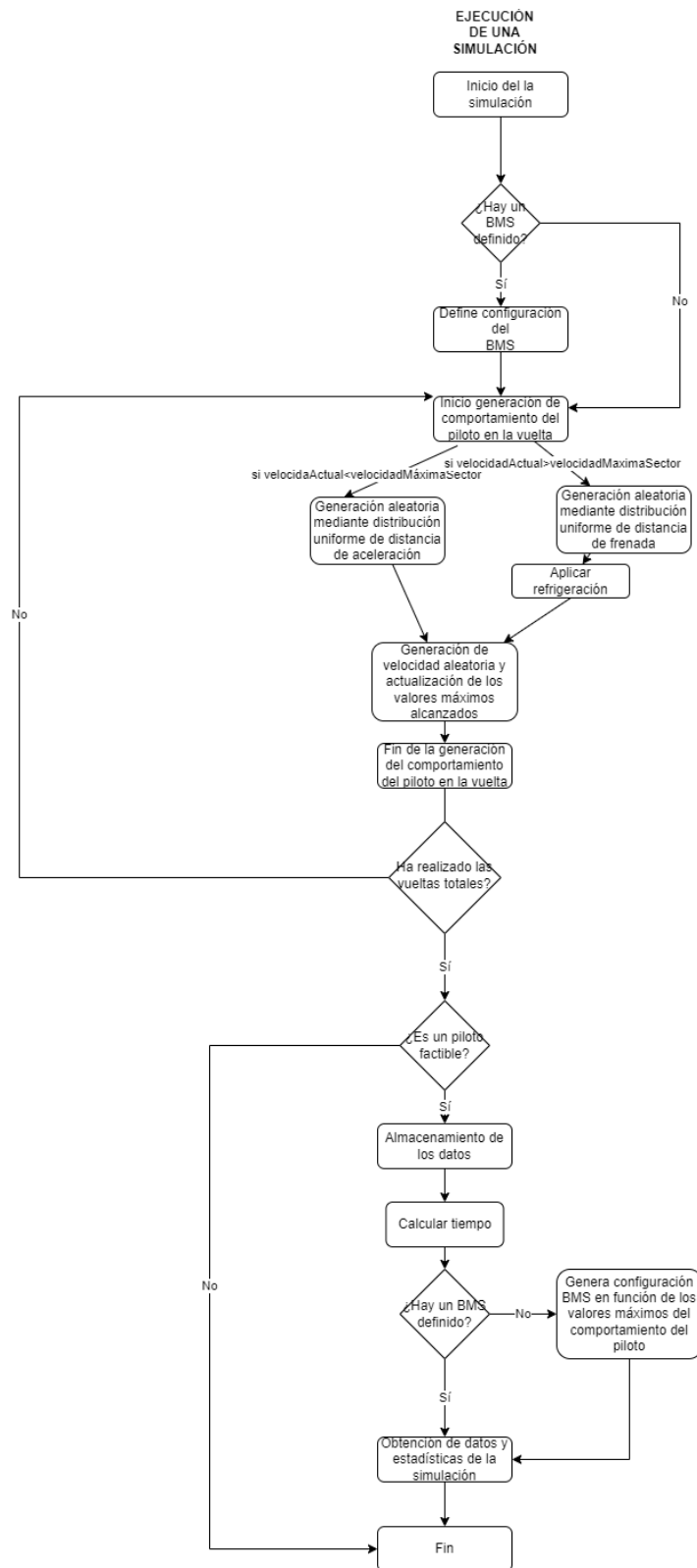


Encontramos dos tipos de simulaciones. Las simulaciones en las que no tenemos un BMS de la moto establecido y las simulaciones en las que tenemos un BMS de la moto establecido.

En primer lugar realizaremos simulaciones sin BMS establecido. Se generarán comportamientos del piloto en el circuito respetando las diferentes restricciones y por cada simulación obtendremos una configuración BMS adaptada a los valores máximos de temperatura, voltaje, etc... que hubiera alcanzado la centralita BMS con el comportamiento de ese piloto.

Para el segundo tipo de simulaciones, si contamos con una configuración BMS definida. Esta configuración BMS condicionará el comportamiento del piloto a modo de nueva restricción.

### **2.1.2 - Modelo del diseño final:**



Esté sería el esquema básico definitivo para una simulación, ya sea con BMS definido o sin BMS definido. Para cada una de los dos tipos de simulaciones el comportamiento de esta será diferente como podemos ver en el modelo. Los cambios realizados respecto al primer modelo inicial son detallados en el punto 5.

## 2.2 - Elementos del modelo

### 2.2.1 - Entidades

- **2.2.1.1 - Piloto**

- Interacciona con la moto mediante la aceleración y frenado, cumpliendo las condiciones del circuito y las condiciones máximas de configuración de la centralita BMS.

- **2.2.1.2 - BMS**

- BMS que se generará con cada piloto.

- **2.2.1.3 - Circuito**

- Se trata de la entidad central de la simulación la cual establecerá unas restricciones de velocidad, aceleración y frenada por cada sector y segmento de cada sector.

- **2.2.1.4 - Moto**

- La moto será usada con el comportamiento del piloto y bajo las restricciones del BMS y se calculará el tiempo en las 6 vueltas al circuito.

- **2.2.1.5 - RestriccionesMotoYBMS**

- Entidad para guardar los niveles máximos que puede alcanzar cada variable del BMS y la Moto. Se trata de una entidad que hace de intermediaria entre el lector de parámetros y las demás clases.

- **2.2.1.6 - LectorArchivos**

- Se trata de una clase para la lectura de los archivos de datos.

- **2.2.1.7 - GeneradorPilotos**

- Esta entidad se encargará de generar un número de pilotos aleatorios. Incluye dos tipos de generación, pilotos en base a un BMS y pilotos en base a ningún BMS. Además, cuenta con otras funciones como sacar los X mejores pilotos de la simulación.

- **2.2.1.8 - GeneraRandom**

- Esta entidad se encargará de calcular las aceleraciones y frenadas del piloto.

- **2.2.1.9 - Configurador**

- Se trata de una clase para la lectura del fichero de parámetros.

- **2.2.1.10 - Logger**

- Esta entidad se encargará de pasar los datos de salida de la simulación a archivos de datos csv para poder analizarlos con gráficas.

### 2.2.3 - Atributos:

- Atributos del BMS:

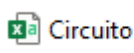
- Valores máximos alcanzados en la simulación del piloto:

<b>Integer:</b> Voltaje máximo	<b>Float:</b> Temperatura máxima	<b>Integer:</b> Voltaje reactivación	<b>Float:</b> Temperatura segura
--------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------

- Atributos del circuito:

Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector ...	Sector N
distanciaSector 1	distanciaSector 2	distanciaSector 3	distanciaSector ...	distanciaSector N
curvaturaSector 1	curvaturaSector 2	curvaturaSector 3	curvaturaSector ...	curvaturaSector N
pendienteSector 1	pendienteSector 2	pendienteSector 3	pendienteSector ...	pendienteSector N
velocidadMaximaCalculada 1	velocidadMaximaCalculada 2	velocidadMaximaCalculada 3	velocidadMaximaCalculada ...	velocidadMaximaCalculada N

DistanciaSector, CurvaturaSector y PendienteSector son variables que contienen los datos de distancia del sector, grado de curvatura del sector y la pendiente del sector respectivamente. Estos datos se encuentran en el fichero.csv



393.28	0.00	0.00			
33.45	-21.50	0.00			
8.93	0.00	0.00			
96.99	0.00	0.01			
120.89	111.00	0.01			
13.03	111.00	0.05	118.23	0.00	0.03
144.88	0.00	0.05	395.89	-80.00	0.03
89.29	83.00	0.05	23.76	-18.00	-0.03
170.04	0.00	0.05	42.24	0.00	-0.03
41.59	0.00	0.01	70.94	0.00	0.03
69.50	-88.00	0.01	100.05	88.00	0.03
80.89	0.00	0.01	59.12	0.00	0.03
70.79	-36.00	0.01	105.21	0.00	-0.07
113.98	0.00	0.01	32.21	25.00	-0.07
24.93	66.00	0.01	66.28	0.00	-0.07
206.30	320.23	0.01	3.93	0.00	-0.03
57.15	33.00	0.01	29.10	-18.00	-0.03
11.77	0.00	0.01	280.30	0.00	-0.03
224.47	0.00	-0.01	519.86	0.00	-0.03
63.00	0.00	-0.07	187.37	0.00	0.00
57.76	41.00	-0.07	68.93	-115.00	0.00
31.45	0.00	-0.07	166.87	-115.00	0.05
51.14	-22.00	-0.07	34.74	0.00	0.05
142.06	-187.66	-0.07	41.17	-55.00	0.05
21.52	-187.66	0.03	83.01	0.00	0.05
175.33	-111.00	0.03	153.33	0.00	0.00

La velocidad Máxima a la que se puede ir en cada sector la calculamos de la siguiente fórmula:

$$V_{LimiteSector} = 3,6 \sqrt{a_{max} * R_{sector}} * (1 - pen)$$

Donde:

- **3,6:** Constante de conversión de Km/h a m/s
- ***R<sub>sector</sub>*:** Ángulo de rotación del sector.
- ***pen*:** Se corresponde con la pendiente del sector
- ***a<sub>max</sub>*:** Es la aceleración lateral máxima del vehículo, será un parámetro datos los obtenemos de la siguiente tabla:

3,6

Vehículo	Vehículo bajas prestaciones (m/s <sup>2</sup> )	Vehículo altas prestaciones (m/s <sup>2</sup> )
Motocicleta	5,0	9,0
Turismo	6,0	8,0
Camión	3,5	6,0

- En principio realizaremos simulaciones con una configuración de aceleración lateral máxima de 9.
- Atributos del Configurador:
  - **String:** RutaCircuito. Ruta del archivo de datos del circuito.
  - **String:** RutaBMS. Ruta del archivo de datos de restricciones de la Moto y BMS.
  - **Entero:** nPilotos. Parámetro con el número de pilotos a generar.
  - **Entero:** numVueltas. Número de vueltas a simular.
- Atributos de GeneraRandom:
  - **Random:** Random. Se corresponde con la función de distribución de generación uniforme de aleatorios de Java.
- Atributos de GeneradorPilotos:
  - **Entero:** numPilotos. Número de pilotos a generar.
  - **Lista de Pilotos:** Pilotos. Lista con los pilotos sin partir de un BMS generados.
  - **Lista de Pilotos:** PilotosBMS. Lista con los pilotos partiendo de un BMS generados.
- Atributos de Moto:
  - **Float:** Velocidad. Velocidad con la que va la moto actualmente.
  - **Float:** CargaTotalBateria. Carga total de la batería.
  - **Float:** VelLimite. Velocidad máxima de la moto.
  - **Float:** TempLimite. Temperatura máxima que puede alcanzar la batería
  - **Float:** Aceleracion. Última aceleración que realizó la moto.
  - **Float:** MayorVelocidadAlcanzada. Mayor velocidad a la que fué la moto.
  - **Float:** MayorTemperaturaAlcanzada. Mayor temperatura que alcanzó la batería de la moto.

- **Float:** MayorAceleraciónAlcanzada. Mayor aceleración que realizó la moto.
- **Float:** MayorVoltajeAlcanzado. Mayor voltaje que alcanzó la batería de la moto.
- **Boolean:** FrenadaActiva. Indica si está frenando.
- **Boolean:** RefrigeracionActiva. Indica si está refrigerando.
- **Float:** CargasRefrigerante. Representa el número de veces que se puede enfriar la batería.
- **Entero:** Refrigerante. Representa la fuerza de enfriado.
- **Piloto:**
  - **Vector de Float** con la velocidad en el sector. Se genera aleatoriamente. Si estamos acelerando la velocidad se genera en el rango [Velocidad Actual, Velocidad Máxima del Circuito]. Si estamos frenando se genera en el rango [0, Velocidad Máxima del Circuito]

Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5
Sector 6	...	...	...	...Sector n

- **Vector de Float** con la distancia acelerada en el sector. Si la velocidad actual es menor que la velocidad límite del sector generamos una aceleración. Útil para sacar la aceleración en el sector junto con los datos de velocidad del sector.

Aceleración 1	...	...	...	Aceleración n
Distancia 1	...	...	...	Distancia n

- **Vector de Float** con la distancia frenada en el sector. Si la velocidad actual es mayor que la velocidad límite del sector generamos una deceleración o frenada. Útil para sacar la aceleración en el sector junto con los datos de velocidad del sector.

Frenada 1	...	...	...	Frenada n
Distancia 1	...	...	...	Distancia n

- Todos estos valores dentro de los vectores anteriores serán generados aleatoriamente en base a una función de distribución obtenida tras el análisis de los datos más detallado en el punto 2.3.
- **Float:** tiempo. Tiempo que tarda en realizar el recorrido en segundos.
- **Float:** bateriaRestante. Batería de la moto que le queda por consumir.
- **Entero:** numVueltas. Número de vueltas a realizar en el circuito.
- **Boolean:** hayBMS. Indica si hay un BMS preestablecido.
- **Float:** velocidadMedia. Contiene la velocidad media del piloto en el circuito.
- RestriccionesMotoYBMS:
  - **Float:** volt\_max\_bateria. Voltaje máximo que puede alcanzar un BMS.
  - **Float:** intensidad. Intensidad de la batería.
  - **Float:** velocidad\_max. Velocidad máxima que puede alcanzar la moto.
  - **Float:** potencia\_motor. Potencia del motor.
  - **Float:** temperatura\_max. Temperatura máxima que puede alcanzar la batería.
  - **Float:** capacidadBateria. Capacidad de la batería de la moto.
  - **Entero:** cargasRefrigerante. Representa el número de veces que puede enfriarse la batería.
  - **Float:** refrigerante. Representa la fuerza de enfriado.

#### 2.2.2 - Variables:

- **String:** rutaCircuito. Ruta del archivo de datos del circuito.
- **String:** rutaMotoYBMS. Ruta del archivo de datos de las restricciones de la moto y BMS.
- **Entero:** aceleracionLateral. Aceleración lateral de la moto.
- **Entero:** nPilotos. Número de pilotos a generar en la simulación.
- **Entero:** numVueltas. Número de vueltas a dar en el circuito.

#### 2.2.3 - Recursos:



- El principal recurso de nuestra simulación es la carga de la batería. Se trata de una fuente de energía finita la cual cada piloto simulado deberá usar de la manera más óptima para recorrer las 6 vueltas en el menor tiempo posible.

#### 2.2.4 - Acumuladores estadísticos:

- Contador total de pilotos simulados.
- Velocidad máxima alcanzada en cada sector.
- Almacenamiento de todos los datos de los mejores pilotos.
- Tiempo del recorrido.
- Total pilotos factibles generados.
- Total pilotos factibles generados en base a un BMS establecido.
- Comportamiento Piloto:
  - Vector de distancias aceleradas.
  - Vector de distancias frenadas.
  - Velocidad en cada sector.
  - Velocidad media.
  - Tiempo de la simulación del piloto (tiempo de recorrido).
  - Mayor velocidad alcanzada.
  - Mayor aceleración alcanzada.
  - Mayor temperatura alcanzada.
  - Consumo de batería restante.
  - Mayor voltaje alcanzado.
  - Voltaje de reactivación.
  - Temperatura segura.

#### 2.2.5 - Eventos:

- Inicio de la carrera:
  - Se da al **iniciar** la ejecución de la simulación
  - El piloto **entra** en el primer sector.
- Entrada a un sector:
  - Se da cada vez que un piloto declara que **entra** en dicho sector

- Al piloto se aplican las restricciones de dicho sector de la zona de entrada (velocidad máxima del sector). Se mantendrá en este sector hasta que declare que entra a otro **sector** o **finaliza** la carrera
- Alcanzar velocidad máxima de sector:
  - En el momento que un piloto alcanza la velocidad máxima del sector se descarta esta solución.
- Salida de un sector:
  - Si un piloto está en un sector (A) y entra en otro sector (B) se considera que sale de A, por lo que se eliminan las restricciones que tenía en el sector A
- Alcanzar voltaje máximo del BMS:
  - Si se alcanza el voltaje máximo permitido por el BMS se activa el estado de frenado automático
- Alcanzar temperatura máxima del BMS:
  - Si se alcanza la temperatura máxima se decide si activar el frenado automático, la refrigeración o ambos estados
- Alcanzar punto crítico de una celda:
  - Si se alcanza el voltaje máximo de una celda se apaga el motor.
- Frenado automático
  - Si está activo este estado se frena de forma progresiva y se impide la aceleración
  - Esta condición finaliza si se está por debajo del voltaje seguro y temperatura segura
- Refrigeración:
  - Si se activa el estado de refrigeración esta consume algo más de batería y decrementa la temperatura
  - Este estado finaliza si se alcanza la temperatura segura
- Acelerar:
  - Cada vez que el piloto declara que acelera:
    - Consume batería.
    - Aumenta el voltaje.
    - Aumenta la temperatura.

- Frenar:
  - Cada vez que el piloto o el BMS declara que se frena
    - Recarga la batería.
    - Disminuye el voltaje.
    - Disminuye la temperatura.
- Consumir toda la batería:
  - Si se ha agotado la batería antes de llegar a la meta se descartar solución.
- Llegada a la meta:
  - Una vez se han completado las vueltas al circuito se declara que ha finalizado y se obtiene el tiempo de carrera y la batería disponible.

#### **2.2.5 - Colas:**

- Se establecerá una cola en la que esperarán a ejecutar su simulación los pilotos que no estén simulando su comportamiento en el circuito.

## **2.3 - Aspectos matemáticos del modelo**

#### **2.2.3.1 - Análisis de las entradas:**

- Datos de anteriores carreras: Se dispone de los registros tomados durante una competición pasada, en los cuales está el consumo de la batería, la velocidad, la temperatura y el consumo del sistema de refrigeración.
- Con el análisis de estos datos se pretende estimar el comportamiento del piloto y de la moto en el circuito.
- Funciones de distribución para la generación del comportamiento del piloto en cada uno de los vectores del punto 2.2.3:
  - Para la generación de velocidad y distancia acelerada estableceremos una distribución uniforme por cada sector en el rango [velocidadActual, velocidadMaximasSector] y rango [distanciaSector\*constanteLímite,distanciaSector] para el caso de la distancia acelerada. Nos interesa explorar al máximo las posibilidades por lo que todos los valores dentro del rango han de tener la misma probabilidad.

- Para la distancia frenada contaremos con una distribución aleatoria uniforme en el rango [0,distanciaSector] y para la velocidad en el sector tras la frenada una distribución uniforme aleatoria en el rango [0,velocidadActual]. Nos interesa explorar al máximo las posibilidades por lo que todos los valores dentro del rango han de tener la misma probabilidad.

#### 2.2.3.2 - Disciplina de la cola:

- Se tratará de una filosofía FIFO para la gestión de la cola de pilotos sin ejecutar.

#### 2.2.3.3 - Cálculo del tiempo de la vuelta:

Partiendo de la fórmula de la velocidad:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{desplazamiento}}{\text{tiempo empleado}}$$

$$\vec{V} = \frac{\vec{d}}{t}$$

Y aplicando la conversión de Km/h a m/s obtenemos la siguiente fórmula:

$$tiempoVuelta = \frac{\text{metrosDistanciaTotalCircuito}}{\frac{\text{velocidadMediaKMH}}{3,6}}$$

Donde:

$$velocidadMediaKMH = \frac{\sum_{1}^{numSectores} velocidadSector}{numSectores}$$

#### 2.2.3.4 - Cálculo de la velocidad máxima en un sector

Partiendo de:

$$v_{\text{lim}} = 3,6\sqrt{a_{\text{max}} R}$$

Inferimos la siguiente fórmula aplicando la pendiente:

$$V_{\text{LimiteSector}} = 3,6\sqrt{a_{\text{max}} * R_{\text{sector}}} * (1 - \text{pen})$$

Donde:

- **3,6:** Constante de conversión de Km/h a m/s
- ***Rsector*:** Ángulo de rotación del sector.
- ***pen*:** Se corresponde con la pendiente del sector
- ***amax*:** Es la aceleración lateral máxima del vehículo.

#### 2.2.3.5 - Cálculo de la aceleración

Partiendo de:

$$2. \ v = v_0 + at$$

Donde:

- ***v0***=velocidadAnterior.
- ***v***=velocidadActual.
- ***t***=tiempo.

Inferimos que:

$$aceleracion = \frac{nuevaVelocidad - velocidadAnterior}{tiempo}$$

### 2.2.3.6 - Generación de aceleración aleatoria:

Por cada sector, si la velocidad actual es menor de la velocidad límite del sector y hay batería, generamos el comportamiento de aceleración:

$$distanciaAcelerada = aleatorio.distribucionUniforme(distanciaSector * constanteLimiteInferior, distanciaSector)$$

Donde constanteLimiteInferior es una constante en el rango [0,1] para indicar dónde establecemos el límite inferior de distancia acelerada. Para la simulación y en base al estudio de otros recorridos hemos utilizado una L de 0,75 ya que interesa que la mayor distancia acelerada.

$$velocidadSector = aleatorio.distribucionUniforme(velocidadActual, velocidadMaximaSector)$$

### 2.2.3.7 - Generación de frenada aleatoria:

Por cada sector, si la velocidad actual es mayor de la velocidad límite del sector, generamos el comportamiento de frenada

$$distanciaFrenada = aleatorio.distribucionUniforme(0, distanciaSector)$$

$$velocidadSector = aleatorio.distribucionUniforme(0, velocidadActual)$$

### 2.2.3.8 - Incremento de temperatura de la batería

$$nuevaTemperatura = KW Motor * tiempoAceleracion$$

### 2.2.3.9 - Consumo de la batería

Partiendo de:

### Ejemplo

¿Cuál es la corriente en amperios cuando el consumo de energía es de 0.33 kilovatios y el suministro de voltaje es de 110 voltios?

$$Yo = 1000 \times 0,33 \text{ kW} / 110 \text{ V} = 3 \text{ A}$$

Inferimos la siguiente fórmula:

$$bateriaActual = bateriaActual - \frac{1000 * (aceleracion * Tiempo * \frac{KW Motor}{F})}{VoltiosMotor}$$

Donde F es el factor de conversión.

#### 2.2.3.10 - Incremento del voltaje

$$nuevoVoltaje = aceleración * tiempoAceleración * KW Motor$$

#### 2.2.3.11 - Cálculo del voltaje de reactivación

$$voltajeReactivacion = \frac{mayorVoltajeAlcanzado}{2}$$

#### 2.2.3.12 - Calculo de la temperatura segura

$$temperaturaSegura = mayorTemperaturaAlcanzada - 10$$

#### 2.2.3.13 - Refrigeración

$$temperatura = temperatura - refrigerante$$

## 3 - DESARROLLO DEL MODELO

- Cada piloto actúa usando la moto acelerando si va a una velocidad inferior a la máxima calculada del sector y frenando y/o refrigerando si va a una velocidad superior a la calculada para ese sector.
- Para cada piloto factible, según el rendimiento que se le pida a la batería durante el comportamiento se definirán variables de temperatura, voltaje de batería, voltaje de celda (BMS) etc... Se genera un BMS que mejor se adapte al comportamiento del piloto
- A continuación se pretenden optimizar los BMS de los pilotos factibles simulando pilotos partiendo con estos BMS como restricción.

## **4 - EXPERIMENTOS A REALIZAR**

### **4.1 - ¿Qué queremos responder con los experimentos?**

El objetivo es encontrar la configuración del BMS del mejor tiempo posible, así como las pautas de comportamiento del piloto en las diferentes partes del circuito para alcanzar dicha vuelta.

También interesa saber los picos de aceleración obtenidos para que los ingenieros discutan la correcta configuración de la amortiguación.

### **4.2 - Experimentos:**

Se quiere saber que configuración del BMS es la más óptima para el rendimiento de la moto en la carrera en un circuito concretos. Esta debe ser una que aproveche toda o casi toda la batería disponible y que sea de forma eficiente dando el mejor tiempo al final de la carrera.

- Se realizará un número N de simulaciones de pilotos. Este número será determinado por el rendimiento de nuestros ordenadores.
- Partimos del circuito dado, el cual tiene unas restricciones de velocidad establecidas en base a los datos de vueltas Matlab obtenidos en otros proyectos.



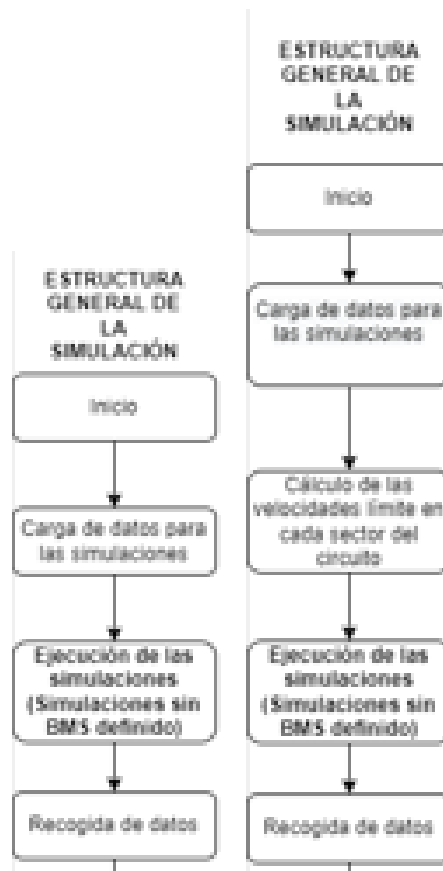
- Se generan pilotos con comportamiento propio. Estos comportamientos están generados aleatoriamente (2.2.3 -Variables del piloto) basados en las distribuciones fundadas en el estudio de las fuentes de datos realizado en el punto 2.2.3.1. Los comportamientos del piloto estarán en el rango factible que respete las limitaciones máximas del circuito. En caso de generarse un piloto no factible este no será considerado como piloto solución.
- Los pilotos completarán el circuito con estas configuraciones. Obteniendo los datos de los vectores de comportamiento se calculará la velocidad en cada sector y posteriormente el tiempo de las vueltas.
- Por cada piloto factible se obtendrá su BMS y se realizarán simulaciones generando más pilotos con ese BMS como restricción máxima. De esta forma se quiere obtener los métodos y configuraciones del BMS más prometedoras, es decir las que den mejores resultados en las simulaciones realizadas con los pilotos.
- Finalmente obtendremos los datos de los X mejores pilotos de ambas simulaciones ordenados por tiempo.

## **5 - CAMBIOS PRODUCIDOS EN LA FASE DE DESARROLLO RESPECTO AL MODELO ORIGINAL**

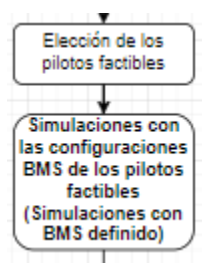
A continuación algunos de los cambios con respecto al documento de la anterior entrega que han sido incluidos o modificados en este documento:

- Se han añadido más datos de restricciones de la moto y del BMS con respecto a la versión inicial: aceleración lateral máxima, fuerza refrigerante de la moto y carga refrigerante de la moto.
- Inicialmente se generaba una velocidad mínima además de una velocidad máxima en base a los datos del sector, sin embargo, al nivel práctico en la implementación optamos por calcular solo la máxima.
- En un principio el voltaje máximo de cada célula de la batería era incluido en el diseño del BMS del modelo. Durante el desarrollo acabamos excluyendo este valor ya que no sabíamos del todo cómo tratarlo a nivel de implementación.
- Se ha detallado mejor el punto 1.4 Fuentes de datos.

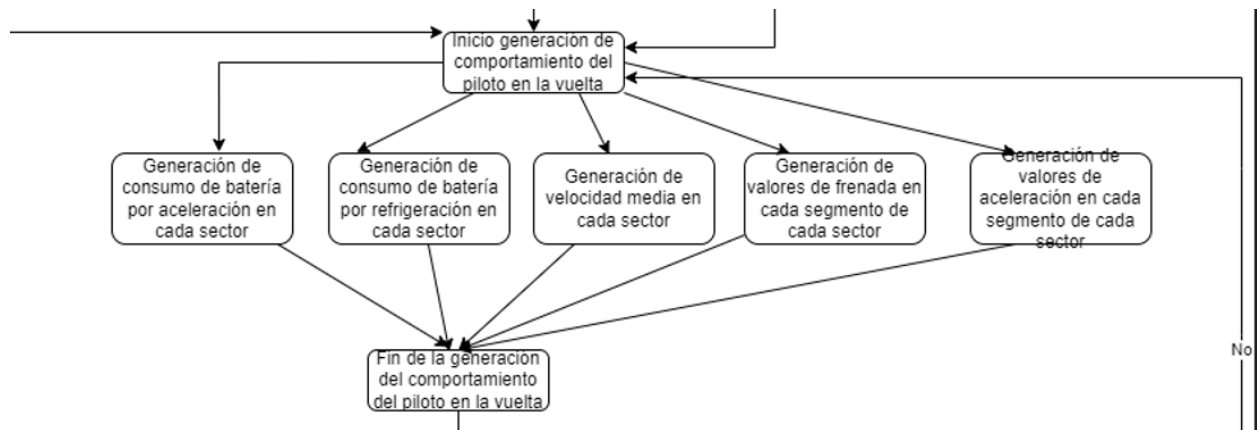
- Se han incluido nuevas entidades en el punto 2.2.1 que inicialmente no estaban contempladas como RestriccionesMotoYBMS, LectorArchivos, GeneradorPilotos, GeneraRandom, Configurador y Logger.
- Se han añadido nuevos atributos y se ha detallado aún más este punto de la memoria. Atributos añadidos:
  - Configurador: rutaCircuito, rutaBMS y nPilotos.
  - GeneraRandom: random.
  - GeneradorPilotos: numPilotos, pilotos y pilotosBMS.
  - Moto: mayorVelocidadAlcanzada, mayorTemperaturaAlcanzada, mayorAceleraciónAlcanzada, mayorVoltajeAlcanzado, frenadaActiva, refrigeracionActiva, cargasRefrigerante y refrigerante.
  - Piloto: bateriaUsadaRefrigeracionSector, bateriaRestante, numVueltas, hayBMS y velocidadMedia.
  - RestriccionesMotoYBMS: volt\_max\_bateria, volt\_max\_celulas, intensidad, velocidad\_max, potencia\_motor, temperatura\_max, peso, capacidadBateria, tem\_inicial, cargasRefrigerante, fuerzaRefrigerante y aceleracionLateral.
- En el diagrama del modelo general se ha añadido una fase de cálculo de las velocidades límite en cada sector del circuito: Antes vs Después:



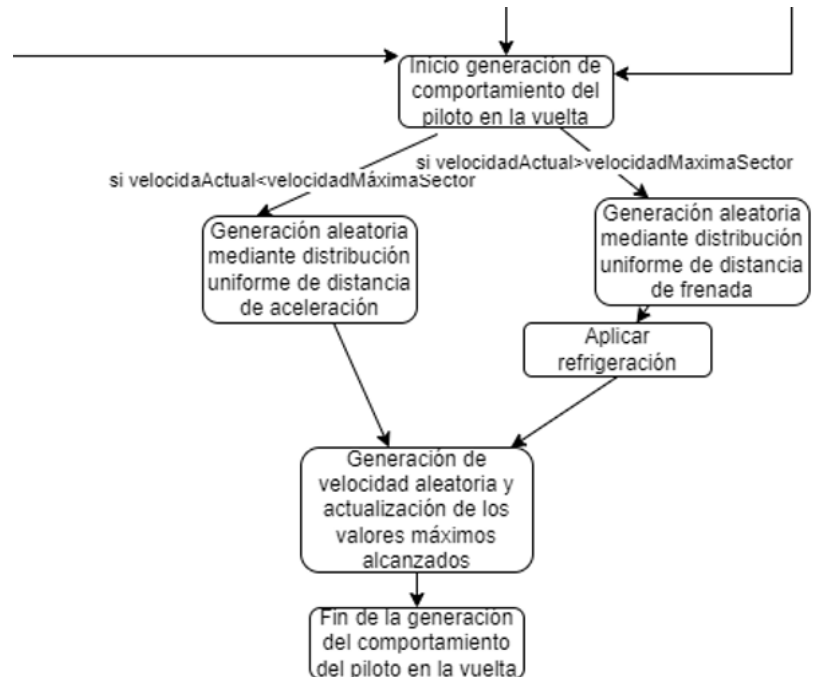
- Además para el diagrama general se modificó la fase de la segunda simulación. En el planteamiento inicial se extraían los BMS de los mejores pilotos y se hacían simulaciones en base a esos BMS. En el desarrollo, como se ve reflejado en el diagrama actual (apartado 2.1.1), hemos optado por extraer esos BMS de los pilotos factibles de la primera simulación.



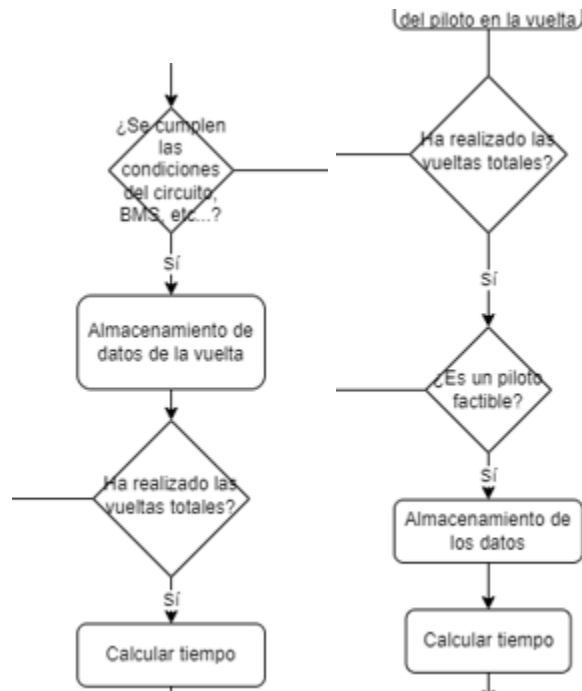
- En el diagrama de ejecución de una simulación se desechó del primer diseño la generación de comportamiento de porcentajes de uso de batería en cada sector. Se optó por generar los cálculos en base a la aceleración de la moto en cada sector. Estas aceleraciones las calculamos gracias a los vectores de distancia acelerada o frenada y velocidad generados en el comportamiento del piloto. La generación de comportamiento previa era la siguiente:



Ha sido modificada por la siguiente:



- Además, ha sido modificada la estructura de factibilidad de los pilotos. En la versión inicial del diseño un piloto generaba su comportamiento hasta que fuera factible completamente (respecto las restricciones del circuito y máximas del BMS). Sin embargo, en el diseño actual cada piloto va a ser siempre factible en cuanto a las condiciones del circuito ya que están controladas por los rangos de velocidad máxima. Y para las restricciones máximas de BMS. si un piloto no las cumple será desechado. Si las cumple guardaremos sus datos y calcularemos el tiempo de su recorrido. Antes vs Después:



- La entidad Batería se ha acabado encapsulando como atributo dentro de la clase Piloto.
- En el apartado 2.2.2 se han corregido las variables usadas en la simulación.
- Se han eliminado algunos acumuladores estadísticos que no aportan mucha información para el análisis de los resultados como:
  - Configuración media de los BMS obtenidos.
  - Duración media de cada simulación.
  - Picos de aceleración alcanzada.

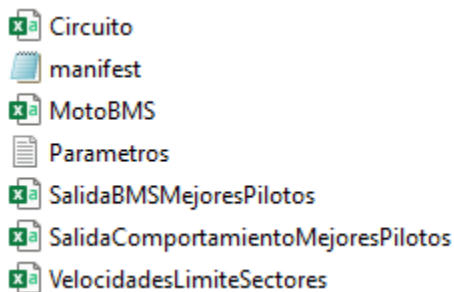
- Velocidad media de cada sector.
- Se han añadido los siguientes acumuladores estadísticos para el correcto análisis y monitorización de la simulación. Se corresponden con datos de la simulación de cada piloto:
  - Total pilotos factibles generados, total pilotos factibles generados en base a un BMS establecido, vector de distancias aceleradas, vector de distancias frenadas, velocidad en cada sector, velocidad media, tiempo de la simulación del piloto (tiempo de recorrido), mayor velocidad alcanzada, mayor aceleración alcanzada, mayor temperatura alcanzada, consumo de batería restante, mayor voltaje alcanzado, voltaje de reactivación y temperatura segura.
- El cálculo del tiempo de la vuelta se ha simplificado con respecto al detallado en la anterior entrega. Para la simulación, como ya se ha detallado en el punto 2.2.3.2, se ha optado por el cálculo del tiempo aplicando la velocidad media sobre la distancia recorrida.
- Tal y como se ha explicado en el punto 2.2.3.1 se han optado por distribuciones uniformes para la generación de datos aleatorios. Finalmente nos interesaba que todos los valores en el rango fueran equiprobables para dotar de una mayor exploración a la simulación. Desechando así las distribuciones asimétricas para la frenada que fueron planteadas inicialmente.
- Se han detallado algunos aspectos matemáticos (apartado 2.3) más que no estaban en la entrega inicial como:
  - Cálculo del tiempo de la vuelta.
  - Cálculo de la velocidad máxima en un sector.
  - Cálculo de la aceleración.
  - Generación de aceleración aleatoria.
  - Generación de frenada aleatoria.
  - Incremento de temperatura de la batería.
  - Consumo de batería.
  - Incremento de voltaje.
  - Cálculo del voltaje de reactivación.

- Cálculo de la temperatura segura.
- Refrigeración.

## 6 - DESCRIPCIÓN DEL MODELO EN LA PLATAFORMA UTILIZADA

Se ha desarrollado la simulación en Java ya que se trata del entorno que hemos valorado como más adecuado para realizar una simulación de estas características con las necesidades de tratamiento de entradas y salidas de datos, así como los conocimientos que tenemos de esta y la necesidad de crear múltiples arrays almacenando datos.

Hemos utilizado la plataforma NetBeans con el JDK 15 para la compilación del proyecto. Contamos con varios archivos de datos de entrada los cuales situamos en la carpeta del proyecto:



Ejecución de una simulación:

```
rutaCircuito=Circuito.csv;  
rutaMotoyBMS=MotoBMS.csv;  
aceleracionLateral=9;  
nPilotos=40;  
numVueltas=6;
```

En primer lugar estableceremos los parámetros de la simulación en el archivo parámetros.txt. Para el posterior análisis de los datos hemos simulado 1000 pilotos.

Seguidamente compilando y ejecutando ya estaríamos simulando:



## Descripción de los archivos:

- Circuito.csv: Archivo de entrada de datos del circuito.
- MotoBMS.csv: Archivo de entrada de datos de restricciones de la moto y el BMS.
- Parametros.txt: Archivo de entrada con los parámetros de la simulación.
- SalidaBMSMejoresPilotos.csv: Archivo de salida de datos con los datos de los BMS de los mejores pilotos generados.
- VelocidadLimiteSector.es.csv: Archivo de salida de datos con los datos de comportamiento de los mejores pilotos en el circuito.

## Salidas por pantalla:

- Muestra de los mejores pilotos de la simulación:

```
-----MEJORES 10 PILOTOS-----
Ordenados por mejores tiempos
1012.9419 s EMS{voltajeMax=72.79234, temperaturaMax=125.396, voltajeReactivación=36.39667, temperaturaSegura=115.396} Distancia acelerada por se
1015.323 s EMS{voltajeMax=77.80501, temperaturaMax=106.891556, voltajeReactivación=38.902504, temperaturaSegura=96.891556} Distancia acelerada p
1025.8086 s EMS{voltajeMax=72.57185, temperaturaMax=145.21284, voltajeReactivación=36.285927, temperaturaSegura=135.21284} Distancia acelerada p
1041.2323 s EMS{voltajeMax=81.139084, temperaturaMax=170.54834, voltajeReactivación=40.569542, temperaturaSegura=160.54834} Distancia acelerada ;
1044.7274 s EMS{voltajeMax=77.867966, temperaturaMax=94.68028, voltajeReactivación=38.933983, temperaturaSegura=84.68028} Distancia acelerada po
1047.9726 s EMS{voltajeMax=78.60051, temperaturaMax=170.73529, voltajeReactivación=39.200255, temperaturaSegura=160.73529} Distancia acelerada p
1048.0957 s EMS{voltajeMax=78.16548, temperaturaMax=126.44685, voltajeReactivación=39.08274, temperaturaSegura=116.44685} Distancia acelerada po
1052.0435 s EMS{voltajeMax=82.10001, temperaturaMax=125.916275, voltajeReactivación=41.050007, temperaturaSegura=118.916275} Distancia acelerada
1058.7423 s EMS{voltajeMax=70.656296, temperaturaMax=124.11802, voltajeReactivación=35.328148, temperaturaSegura=114.11802} Distancia acelerada ;
1071.8098 s EMS{voltajeMax=72.94505, temperaturaMax=141.62234, voltajeReactivación=36.472527, temperaturaSegura=131.62234} Distancia acelerada p
Log SalidaComportamientoMejoresPilotos.csv escrito con éxito.
Log SalidaBMSMejoresPilotos.csv escrito con éxito.
Log VelocidadesLimiteSector.es.csv escrito con éxito.
```

- Muestra de piloto factible:



```

-
+++++Piloto Factible 13 +++++:
-----Comportamiento Piloto -----
Distancia acelerada en cada sector
[353.16342, 0.0, 8.927944, 81.342705, 0.0, 11.194231, 346.46857, 0.0, 8.454318, 92.15
Distancia distancia frenada en cada sector
[0.0, 16.996765, 0.0, 0.0, 116.93383, 0.0, 0.0, 0.32724035, 0.0, 0.0, 1.5619481,
Velocidad en cada sector
[142.71088, 2.0891304, 61.271988, 154.43298, 34.082626, 58.5774, 88.38697, 17.406067,
velocidad media: 99.56006 Km/H
DistanciaRecorrida: 30461.699963092804 Metros
Tiempo: 1101.4669 s
Mayor velocidad alcanzada: 178.99004 Km/h
Mayor aceleración alcanzada: 40.291435 m/s2
Mayor temperatura alcanzada: 118.78453 °C
Consumo: 102.11246 A/h
Mayor voltaje alcanzado: 75.26692 V
Voltaje de reactivación: 37.63346 V
Temperatura segura: 108.78453 °C
Tiempo de vuelta: 1101.4669 s

```

- Lectura de ficheros:

```

*****
Fichero MotoBMS.csv leído
Fichero Circuito.csv leído

```

- Escritura de ficheros:

```

-
Log SalidaComportamientoMejoresPilotos.csv escrito con éxito.
Log SalidaBMSMejoresPilotos.csv escrito con éxito.
Log VelocidadesLimiteSectores.csv escrito con éxito.

```

- Muestra de velocidades calculadas para cada sector:

```

Pendiente: 0.0 Vmax 180.0 pendiente aplicada -> 180.0
Pendiente: 0.0 Vmax 50.077539875676806 pendiente aplicada -> 50.077539875676806
Pendiente: 0.0 Vmax 180.0 pendiente aplicada -> 180.0
Pendiente: 0.01 Vmax 180.0 pendiente aplicada -> 178.20000004023314
Pendiente: 0.01 Vmax 113.78506053080957 pendiente aplicada -> 112.64720995093442
Pendiente: 0.05 Vmax 113.78506053080957 pendiente aplicada -> 108.09580741949262
Pendiente: 0.05 Vmax 180.0 pendiente aplicada -> 170.99999986588955
Pendiente: 0.05 Vmax 98.39268265475843 pendiente aplicada -> 93.47304844871225
Pendiente: 0.05 Vmax 180.0 pendiente aplicada -> 170.99999986588955
Pendiente: 0.01 Vmax 180.0 pendiente aplicada -> 178.20000004023314
Pendiente: 0.01 Vmax 101.31298041218608 pendiente aplicada -> 100.29985063070943
Pendiente: 0.01 Vmax 180.0 pendiente aplicada -> 178.20000004023314

```

- Generación de pilotos en base al BMS de un piloto factible:

```

//////////Generando pilotos para el siguiente BMS//////////
BMS{voltajeMax=81.139084, temperaturaMax=170.54834, voltajeReactivación=40.569542, temperaturaSegura=160.54834}
Total pilotos dado un BMS generados: 40
Pilotos factibles generados: 12
    
```

Salidas por archivo:

- Velocidades límite para cada sector:

	A	B
1	Sector0	180.0
2	Sector1	50.08
3	Sector2	180.0
4	Sector3	178.2
5	Sector4	112.65
6	Sector5	108.1
7	Sector6	171.0

- Comportamiento mejores pilotos:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	MEJOR PILOTO : 0														
2	DISTANCIA A	370.05	0.0	7.98	0.0	112.15	11.96	318.99	0.0	8.34	75.06	0.0	0.0	392.78	0.0
3	DISTANCIA F	0.0	11.57	0.0	95.7	0.0	0.0	0.0	30.66	0.0	0.0	31.78	11.56	0.0	28.28
4	VELOCIDAD I	141.65	83.37	179.29	81.62	106.87	107.78	110.37	61.85	172.69	178.11	146.57	26.96	107.85	35.54
5	MEJOR PILOTO : 1														
6	DISTANCIA A	360.97	0.0	7.5	75.77	0.0	0.0	344.21	0.0	8.3	80.3	0.0	0.0	355.65	0.0

- BMS mejores pilotos:

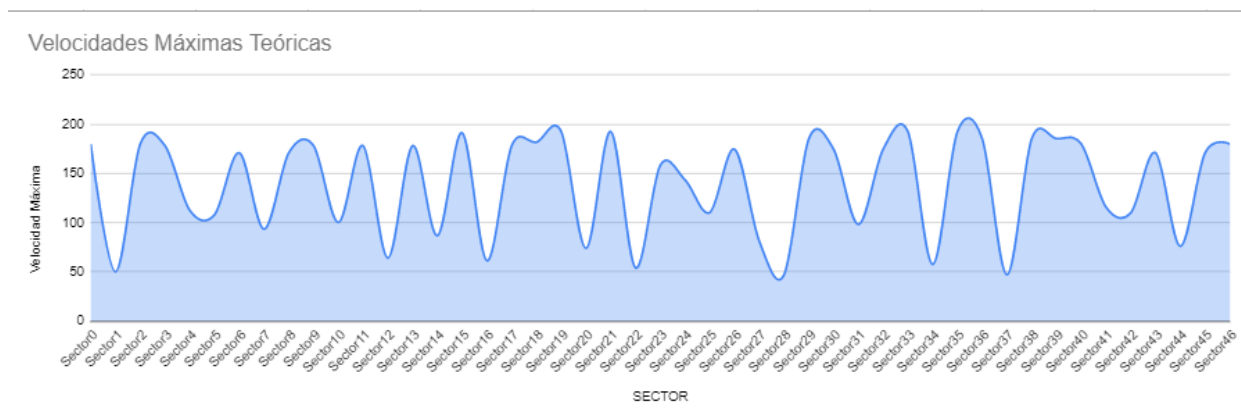
	A	B	C	D	E
1	MEJOR PILOTO 1				
2	TIEMPO:	1012.94			
3	Temperatura	Temperatura	VoltajeMax	VoltajeReactivacion	
4	125.4	115.4	72.79	36.4	
5	MEJOR PILOTO 2				
6	TIEMPO:	1015.32			
7	Temperatura	Temperatura	VoltajeMax	VoltajeReactivacion	
8	106.89	96.89	77.81	38.9	

## 7 - ANÁLISIS DE LAS SALIDAS OBTENIDAS

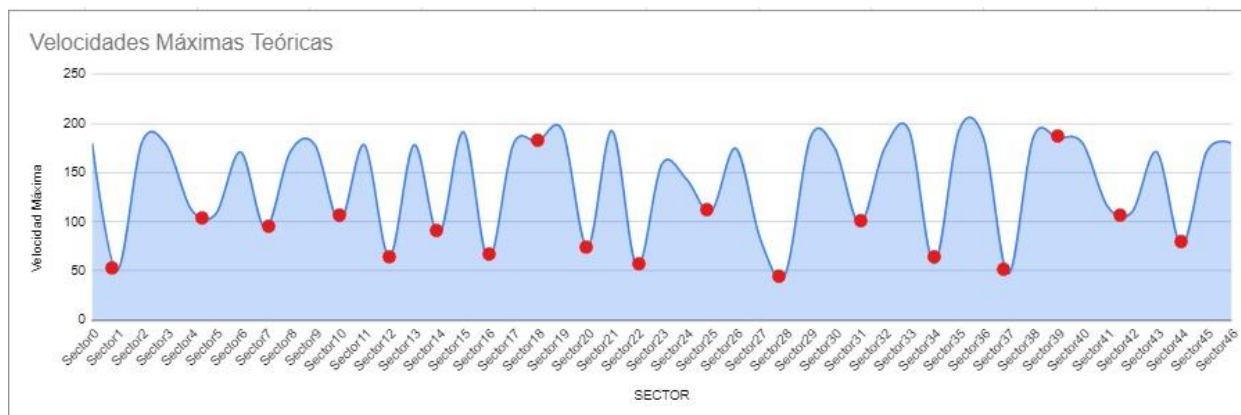
A continuación se van a realizar un análisis de los resultados obtenidos en una simulación de 1000 pilotos con obtención de salidas de datos de los 10 mejores. Las gráficas han sido realizadas y tratadas mediante Google Sheets y Excel para su posterior análisis. Además, estas gráficas usan los datos obtenidos de las salidas de la simulación que se escriben en los archivos csv. En la carpeta “Archivos Excel Análisis” se pueden encontrar tanto los datos de salida (los archivos csv) de esta simulación como las gráficas generadas y sus correspondientes archivos xlsx para los siguientes análisis.

### 7.1 Análisis de las velocidades máximas calculadas para cada sector

Partimos de esta gráfica que representa la evolución de las velocidades máximas calculadas para cada sector del circuito:



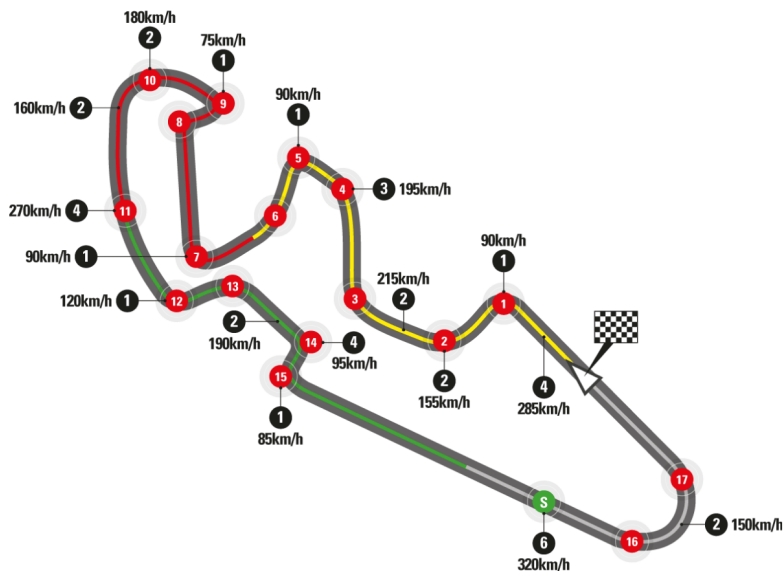
Tras observar los picos en forma de valle sobre esta gráfica de velocidades máximas más bajas calculadas concluimos que en estos puntos se encuentra una curva.



Si observamos hay 18 picos hacia abajo de velocidad (puntos rojos en la gráfica superior).

Podemos inferir que hay 18 frenadas o lo que es lo mismo hay 18 curvas. Por lo que podemos comprobar que los límites de velocidades de nuestro sistema están correctamente calculados ya que coinciden en número los 18 picos en forma de valle y las 18 curvas que podemos ver en el siguiente mapa del circuito.

Si tomamos como referencia los datos de las velocidades de MotoGP estos son proporcionales a las velocidades calculadas:



## 7.2 Análisis de la telemetría del mejor piloto

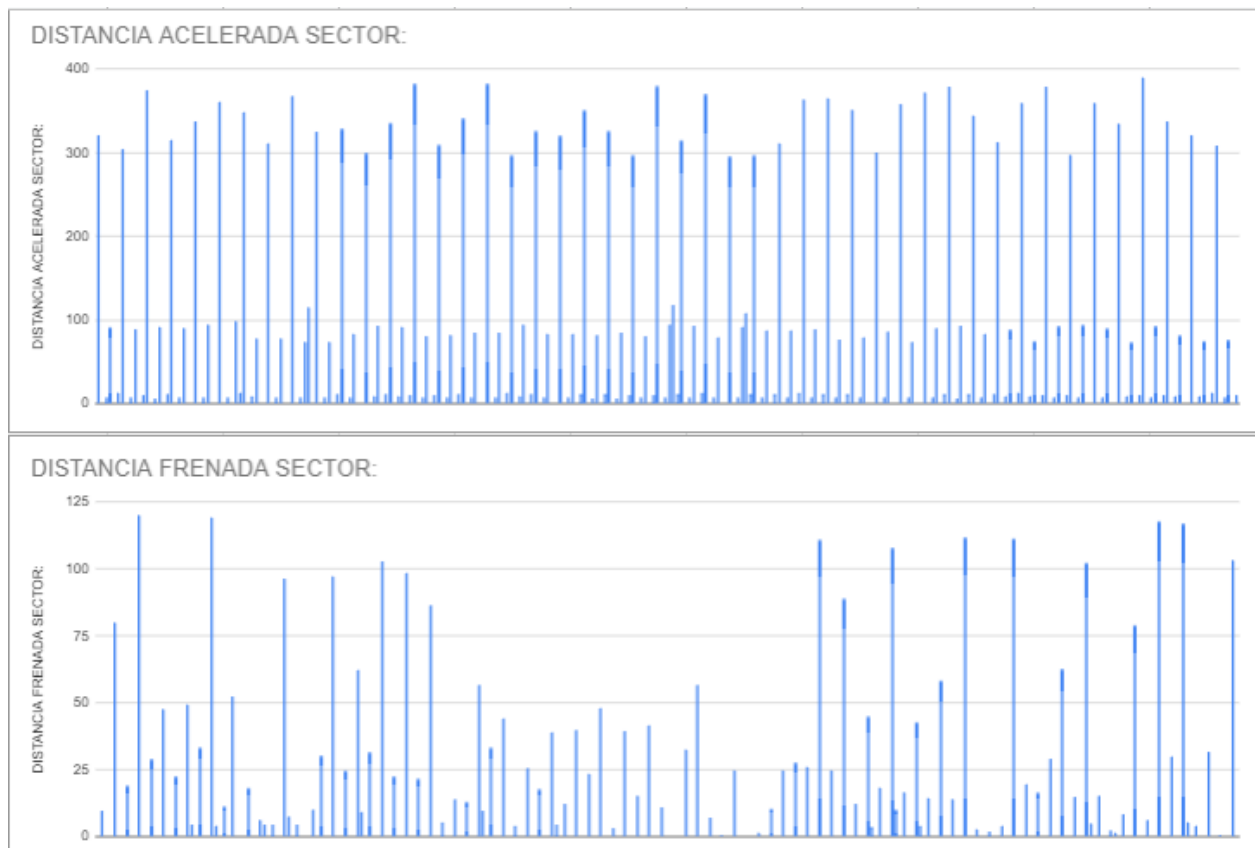
En primer lugar obtenemos de los datos la configuración BMS del piloto más rápido y la establecemos en nuestra moto de cara a realizar las 6 vueltas en el circuito real:

MEJOR PILOTO	1			
TIEMPO:	954,28			
TemperaturaMax	TemperaturaSeg	VoltajeMax	VoltajeReactivacion	
87,02	77,02	85,18	42,59	

Estimamos que nuestro piloto real debe tardar en torno a 954 segundos tal y como indica el tiempo obtenido en la simulación:

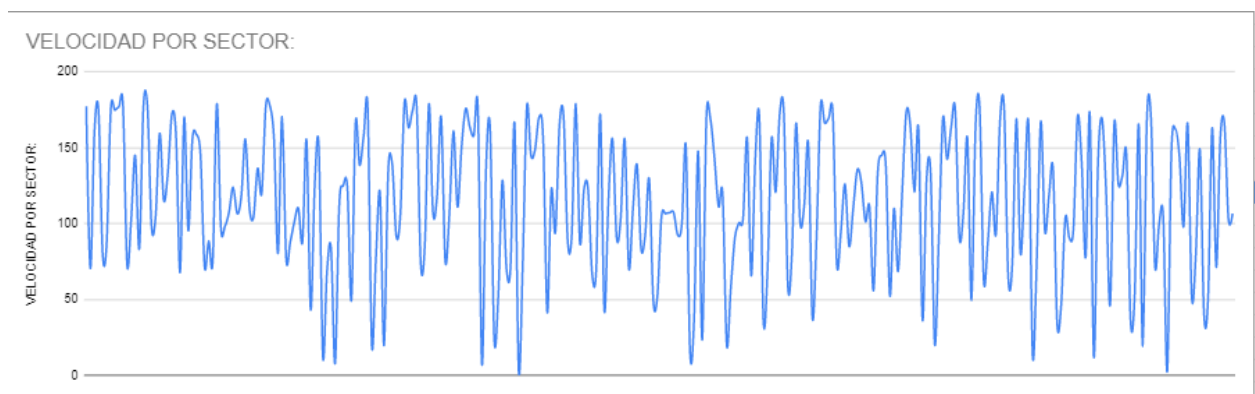
	TIEMPO
MEJOR PILOTO	954,28

Gracias a los ficheros de datos generados con el comportamiento de los mejores pilotos podemos crear gráficas para tener una referencia del comportamiento del piloto simulado de cara a poder tener la mayor aproximación a este comportamiento en el mundo real:



Como podemos observar, el piloto nunca frena a la vez que acelera tal y como está especificado en el diseño. Además, con las frenadas podemos obtener una imagen bastante representativa de dónde se encuentran las curvas.

A continuación tenemos la gráfica de la evolución de la velocidad.



Esta gráfica sería la más representativa para guiar al piloto del sistema real ya que puede visualizar la velocidad óptima en cada sector, si bien es cierto que las dos gráficas anteriores (Distancia Acelerada y Distancia Frenada) son menos visuales y más difíciles de llevar al sistema real por parte del piloto real si pueden ayudar a las pautas de pilotaje. Es decir, guiar sobre el uso del acelerador y del freno.

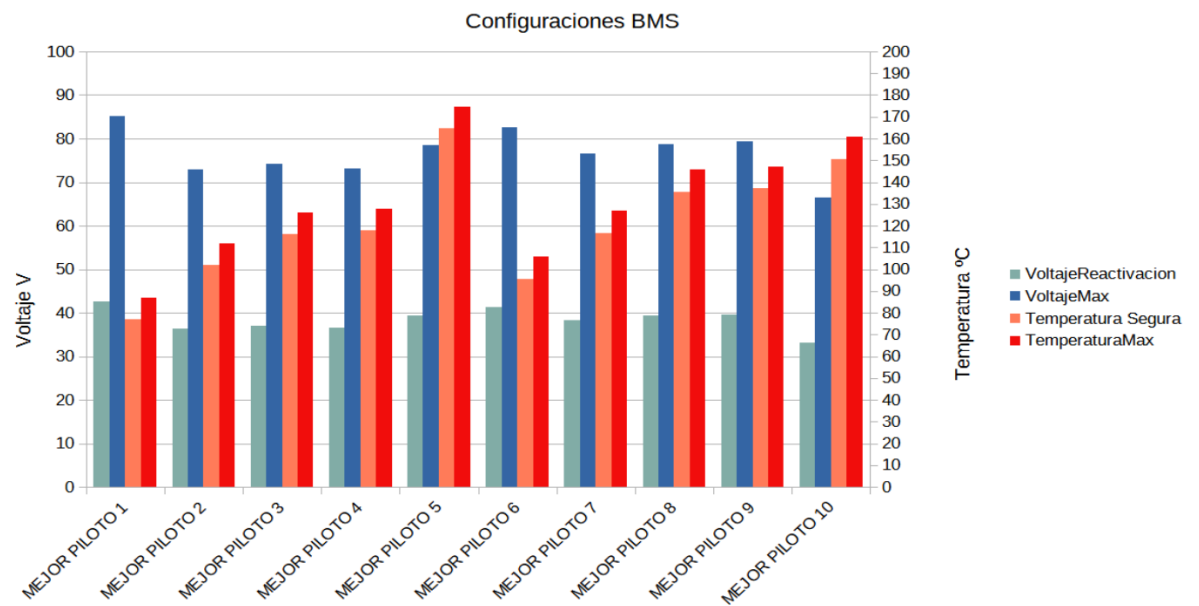
### 7.3 Análisis de las configuraciones obtenidas

Tras probar cada configuración del BMS con todos los pilotos se han recogido los datos de los 10 mejores pilotos de entre todos los pilotos generados y la configuración del BMS que han usado para obtener los mejores resultados.

En la siguiente tabla se muestran los 10 mejores Pilotos obtenidos con correspondiente configuración en el en el modelo del BMS:

Voltajes	VoltajeReactivacion	VoltajeMax	Temperatura Segura	TemperaturaMax
MEJOR PILOTO 1	42,59	85,18	77,02	87,02
MEJOR PILOTO 2	36,47	72,94	101,77	111,77
MEJOR PILOTO 3	37,06	74,13	116,05	126,05
MEJOR PILOTO 4	36,53	73,06	117,92	127,92
MEJOR PILOTO 5	39,28	78,55	164,7	174,7
MEJOR PILOTO 6	41,34	82,67	95,7	105,7
MEJOR PILOTO 7	38,25	76,5	116,8	126,8
MEJOR PILOTO 8	39,39	78,78	135,64	145,64
MEJOR PILOTO 9	39,68	79,36	137,33	147,33
MEJOR PILOTO 10	33,23	66,46	150,67	160,67

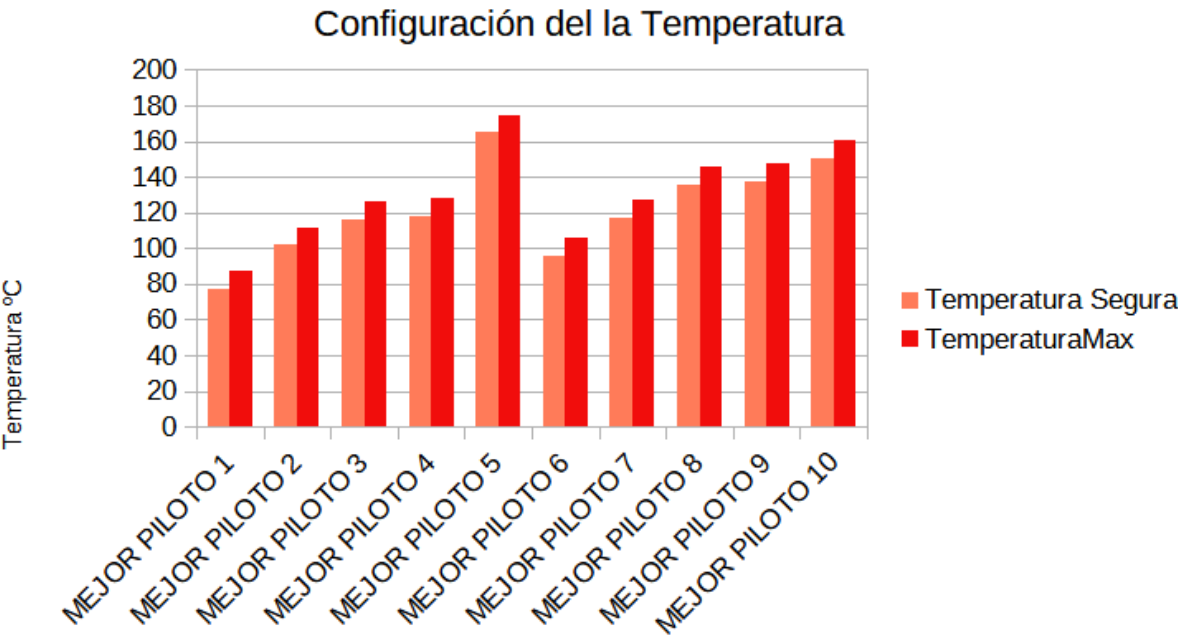
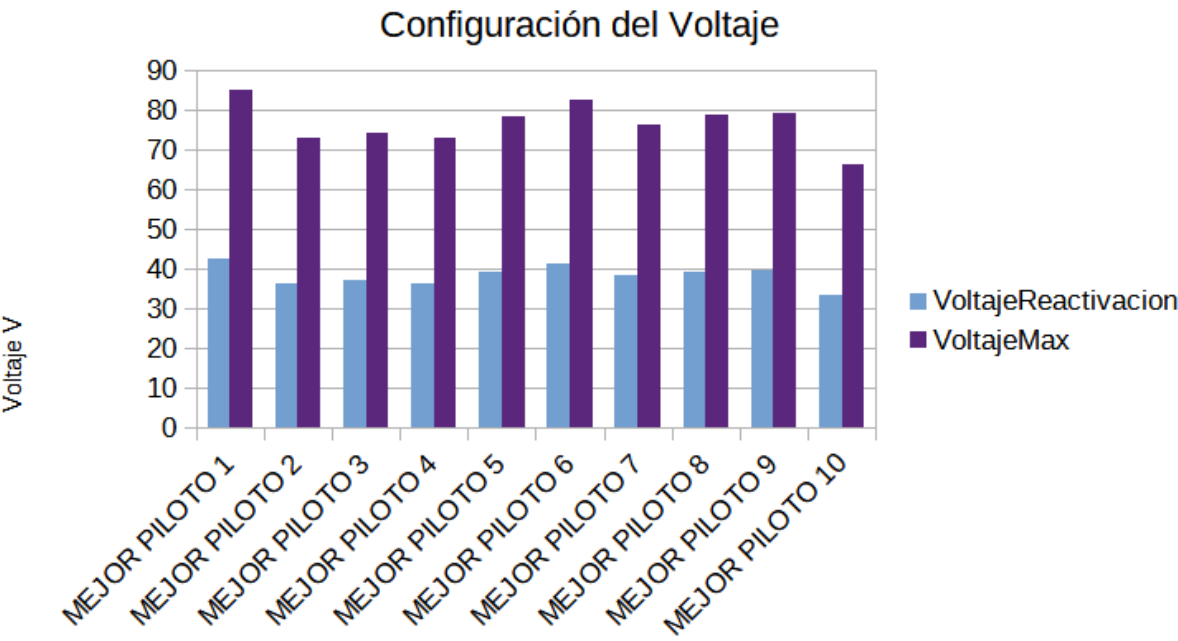
Para poder entender mejor estos datos se puede observar la siguiente gráfica; el eje vertical de la izquierda se muestra la escala para las unidades del Voltaje (en azul) y en el eje vertical de la izquierda se muestra las unidades para la Temperatura (en rojo)



El motivo de unir estos dos tipos de parámetros de la configuración en una misma gráfica es que se aprecie mejor la diferencia en cuanto a la consistencia de estos parámetros, ya que la configuración del Voltaje parece ser bastante consistente, pero la de la temperatura varía mucho en cada piloto.

En las siguientes gráficas se recoge estos datos por separado para facilitar la interpretación de estos:





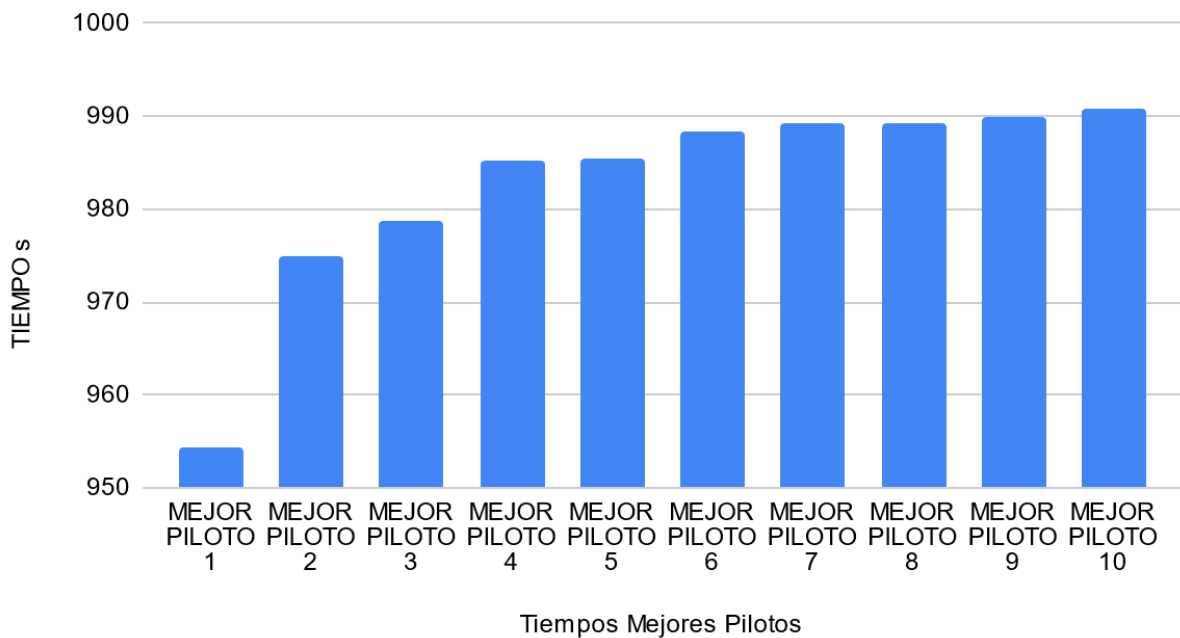
## 7.4 Análisis del tiempo en realizar el recorrido por parte de los mejores pilotos

Se han recogido los tiempos obtenidos por los mejores pilotos. Estos son los tiempos en segundos que tarda cada piloto en completar todas las vueltas al circuito.

Tiempos Mejores Pilotos	TIEMPO
MEJOR PILOTO 1	954,28
MEJOR PILOTO 2	974,82
MEJOR PILOTO 3	978,78
MEJOR PILOTO 4	985,22
MEJOR PILOTO 5	985,44
MEJOR PILOTO 6	988,28
MEJOR PILOTO 7	989,18
MEJOR PILOTO 8	989,22
MEJOR PILOTO 9	989,93
MEJOR PILOTO 10	990,84

Como la diferencia de los tiempos de cada piloto es muy pequeña en relación al tiempo total en completar el circuito (lo cual también se da en la realidad) en su representación gráfica se ha decidido mostrar los resultados desde los 950s y poder apreciar mejor las diferencias entre cada piloto.

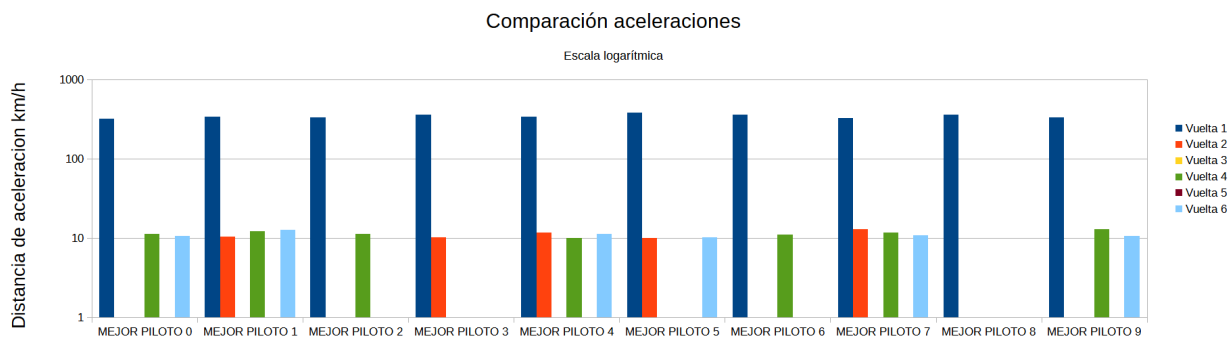
### TIEMPO Mejores Pilotos



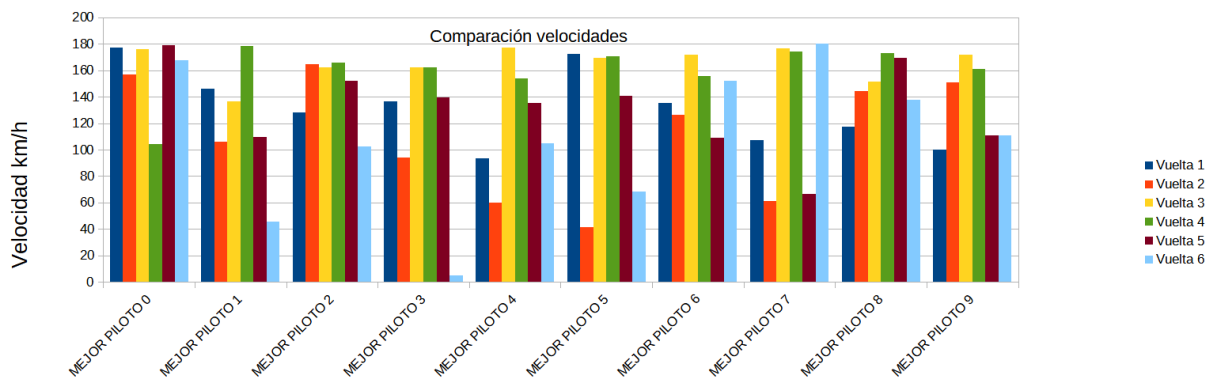
### 7.5 Análisis del Sector0 (salida en cada vuelta)

La velocidad a la que se recorre cada sector varía en función del piloto, pero se ha detectado una peculiaridad en el primer sector y es que en la primera vuelta es notable una gran aceleración en este sector, mientras que que en las siguientes 5 vueltas la aceleración es mínima o incluso se frena.

Este comportamiento está representado en la siguiente gráfica, la cual tiene una escala logarítmica por la grán diferencia entre los datos recogidos en cada vuelta.



Y en la siguiente gráfica se muestran las diferencias entre las velocidades al recorrer este tramo, las cuales varían bastante pero obviamente no se corresponden con la aceleración tomada, esta peculiaridad se explica más detalladamente en las conclusiones alcanzadas.



## 8 - CONCLUSIONES OBTENIDAS

### 8.1 - RESPUESTA AL PROBLEMA FORMULADO

Con esta simulación obtenemos respuesta a la formulación inicial del problema. ¿Cuál es el BMS óptimo para maximizar el tiempo de recorrido de las seis vueltas al circuito MotorLand Aragón?

MEJOR PILOTO 1						
TIEMPO:	954,28					
TemperaturaMax	TemperaturaSeg	VoltajeMax	VoltajeReactivacion			
87,02	77,02	85,18	42,59			
MEJOR PILOTO 2						
TIEMPO:	974,82					
TemperaturaMax	TemperaturaSeg	VoltajeMax	VoltajeReactivacion			
111,77	101,77	72,94	36,47			
MEJOR PILOTO 3						
TIEMPO:	978,78					
TemperaturaMax	TemperaturaSeg	VoltajeMax	VoltajeReactivacion			
126,05	116,05	74,13	37,06			
MEJOR PILOTO 4						
TIEMPO:	985,22					
TemperaturaMax	TemperaturaSeg	VoltajeMax	VoltajeReactivacion			
127,92	117,92	73,06	36,53			
MEJOR PILOTO 5						
TIEMPO:	985,44					
TemperaturaMax	TemperaturaSeg	VoltajeMax	VoltajeReactivacion			
174,7	164,7	78,55	39,28			

	TIEMPO
MEJOR PILOTO	954,28
MEJOR PILOTO	974,82
MEJOR PILOTO	978,78
MEJOR PILOTO	985,22
MEJOR PILOTO	985,44
MEJOR PILOTO	988,28

Nos remitimos a establecer la configuración del mejor tiempo obtenido en la simulación o cualquiera de las X mejores configuraciones obtenidas en el simulador según la preferencia del piloto de nuestro sistema real una vez observe la telemetría del comportamiento para cada tiempo. Esta configuración junto con el seguimiento de los comportamientos del piloto simulado serán suficientes para resolver el problema, logrando así guiarnos sobre la configuración óptima de cara a realizar el recorrido en el menor tiempo posible.

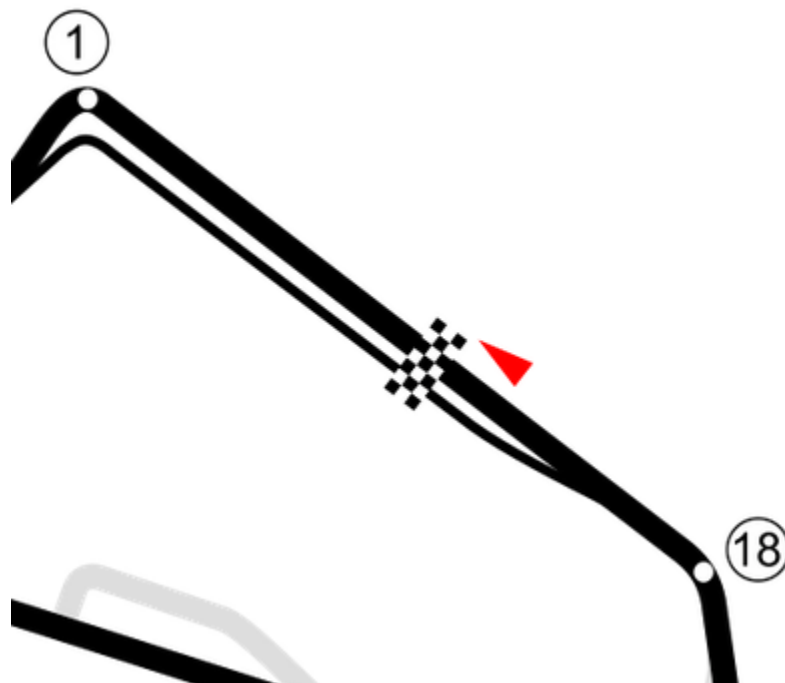
Además, al disponer de varias configuraciones BMS y comportamientos de piloto óptimos hay una gran variedad de configuraciones que, sin perder mucho rendimiento, pueden ser establecidas en el circuito del sistema real de cara a optimizar el tiempo del recorrido.

## 8.2 - OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

### Aceleración en la salida

- En las tablas de datos obtenidas en la salida siempre se acelera al máximo y se sale a casi la velocidad límite. Pero en las siguientes vueltas apenas se acelera o incluso se frena.

- Si observamos el mapa del circuito podemos ver que la recta de la salida puede explicar este comportamiento.



- Como es lógico al inicio la velocidad es 0 y se debe acelerar lo máximo posible, pero en las siguientes vueltas ya no es necesario porque se parte de una velocidad elevada (saliendo de la Curva 18 que es bastante abierta) al entrar de nuevo en el primer sector y el piloto se dirige a una curva bastante pronunciada (Curva 1).

#### **Configuración del BMS, Voltaje y Temperatura**

- Los rangos de los voltajes óptimos son similares, oscilando entre 33 a 42 V para el Voltaje de Reactivación y entre 66 a 85 en el voltaje Máximo.
  - Estos rangos son bastante inferiores a los permitidos por la batería, por lo que puede indicar que la moto necesita de una alta intensidad para producir la potencia necesaria.
- Por otro lado, los rangos de la configuración de la temperatura varían mucho por piloto, por lo que se puede intuir que la configuración de estos parámetros son más dependientes del modo de conducción del piloto.

- En este caso se podría sacar una configuración óptima a partir de los datos recogidos del piloto en particular que vaya a usar la moto.

### **Tiempo obtenido de los pilotos**

- Hay que tener en cuenta que la función de generación del comportamiento de los pilotos posee un alto nivel de aleatoriedad, la cual intenta completar el circuito en el menor tiempo posible cumpliendo las restricciones de la moto.
- A estos pilotos generados de forma aleatoria y con cierto comportamiento greedy se prueban con distintos modelos del BMS para ver su comportamiento.
- Los resultados obtenidos parecen prometedores ya que en ediciones anteriores se completaron las vueltas al circuito entre 15 a 20 min, que serían de 900 a 1200 s y los resultados obtenidos se ubican dentro de este rango. Incluso cercanos a lo que sería una buena marca.

### **Opiniones finales sobre el proyecto**

- Esta simulación obtiene datos bastante realistas y factibles con respecto al sistema real por lo que creemos que es una buena herramienta de ayuda a optimizar el tiempo de recorrido del circuito.
- El modelo de simulación desarrollado es fácil de actualizar con funciones matemáticas de mayor complejidad de cara a aumentar el realismo y fidelidad respecto al sistema real.