

TRABAJO FINAL DE GRADO

Grado de Ingeniería Mecánica

Convocatoria de Octubre 2020



LAP TIME SIMULATION con MATLAB



Autor: Manuel Montesinos del Puerto

Director/a: Yolanda Vidal Seguí

Departamento: Matemáticas - MAT

ÍNDICE

1 Introducción

2 Enfoque del proyecto

3 Modelo de simulación

4 Desarrollo del *software*

5 Validación del *software*

6 Análisis de resultados

7 Planificación del proyecto

8 Impacto medioambiental

9 Análisis económico

10 Conclusiones



EVA. 2015-2016



STEVE. 2016 - 2017



JULIET. 2017 - 2018



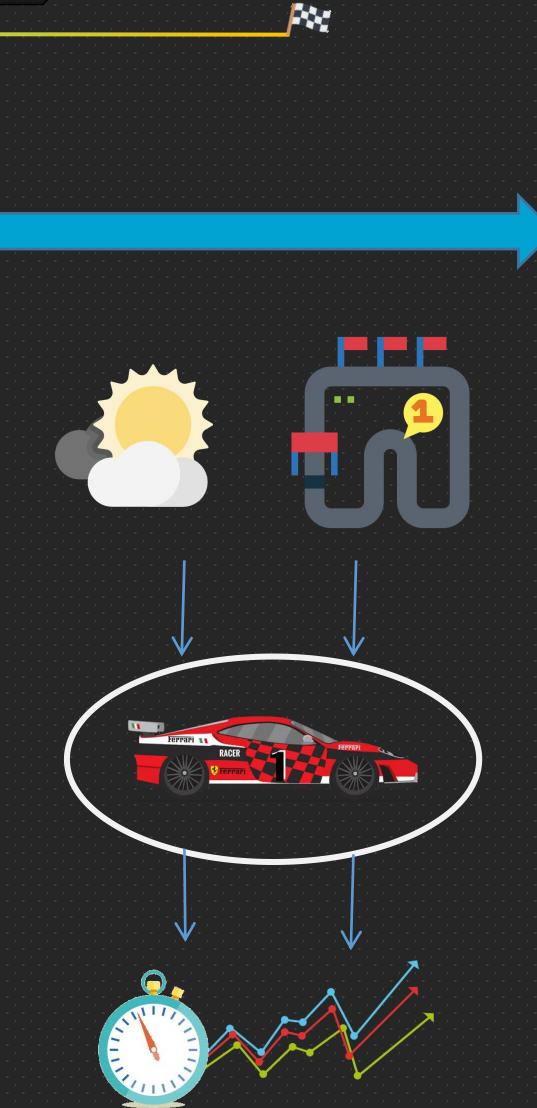
ROMEO- 2018-2019

Valores fundamentales para cualquier proyecto:

- Expresar pasión, ilusión y curiosidad
- Trabajar con un equipo grande de personas
- Conocer y formar parte del mundo de la competición
- Predecir el comportamiento de un vehículo en pista
- Programar con MATLAB y SIMULINK
- Relacionar el vehículo de competición y empresas del sector automovilístico
- Legar el trabajo para las futuras generaciones

Lap Time Simulation (LTS)

Programa de simulación computacional integral de tiempo por vuelta que permite estudiar las variables estáticas y dinámicas de un vehículo de competición, en relación a unas condiciones climáticas y a un circuito determinado



Objetivos

- Mejorar
- Estudiar
- Modelar
- Desarrollar
- Garantizar
- Analizar
- Planificar
- Sintetizar

Alcance

- Software
- Circuitos
- Vehículos
- Estimación
- Validación



Selección usuario



Select car, powertrain, track

Configuración



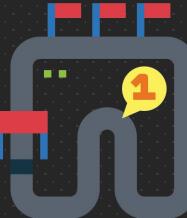
software_config

Entorno



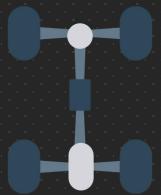
environment_model

Círcuito



track_model

Coche



car_model

Tren de potencia



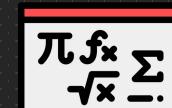
powertrain_model

Neumático



tyre_model

Resolución de modelos



state_var_model
trajectory_solver
dynamic_status_solver

Análisis de resultados

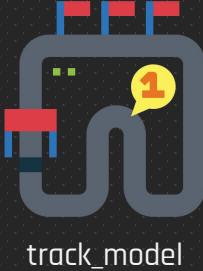


results_solver



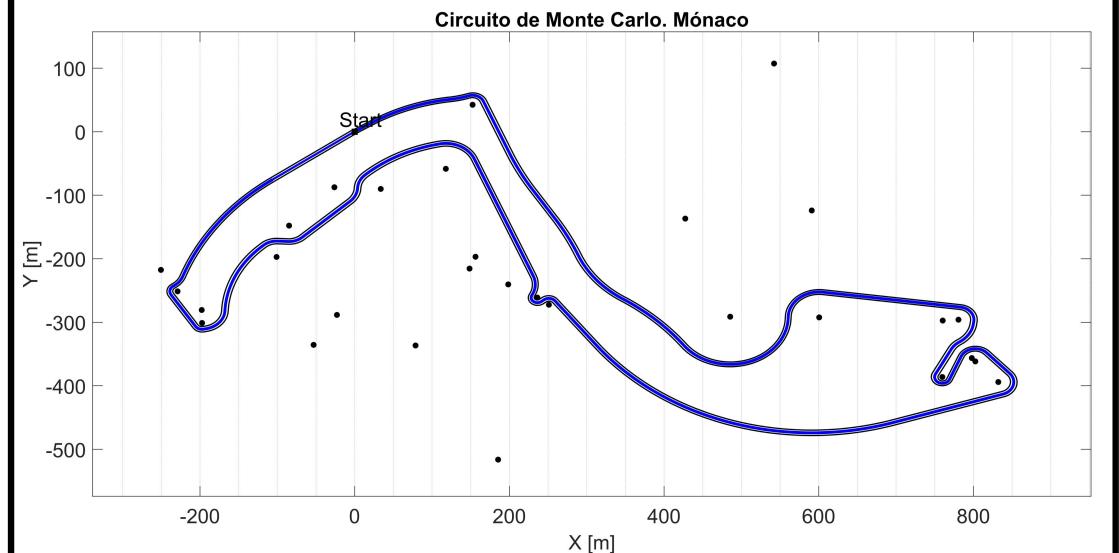
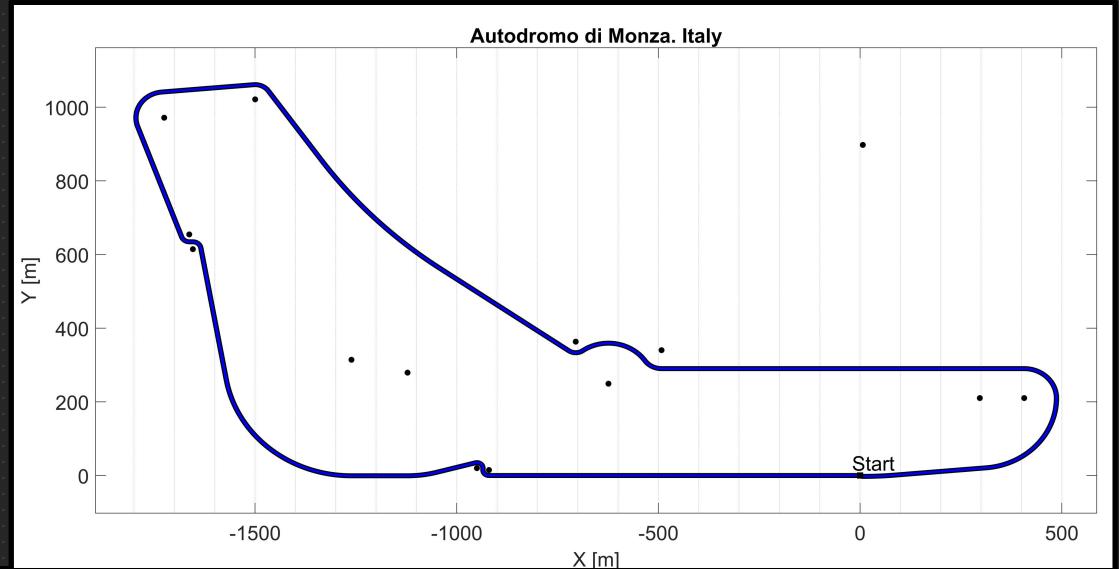


Círculo



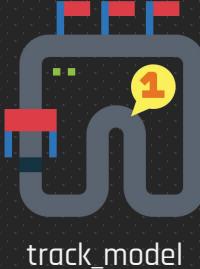
$[P, C] = \text{ParamRecta}(P, C, \text{sector}, P1, n)$
 $[P, C] = \text{ParamArcTag}(P, C, \text{sector}, R, \alpha, n, \text{recta})$

- Modelo de circuito 2D
- Límites de pista
- Trayectoria central



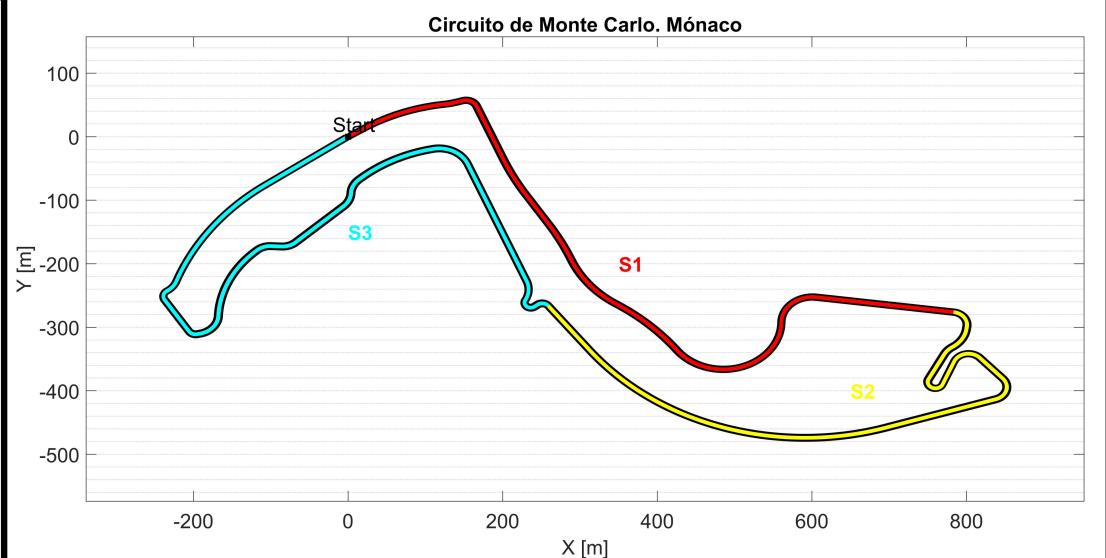
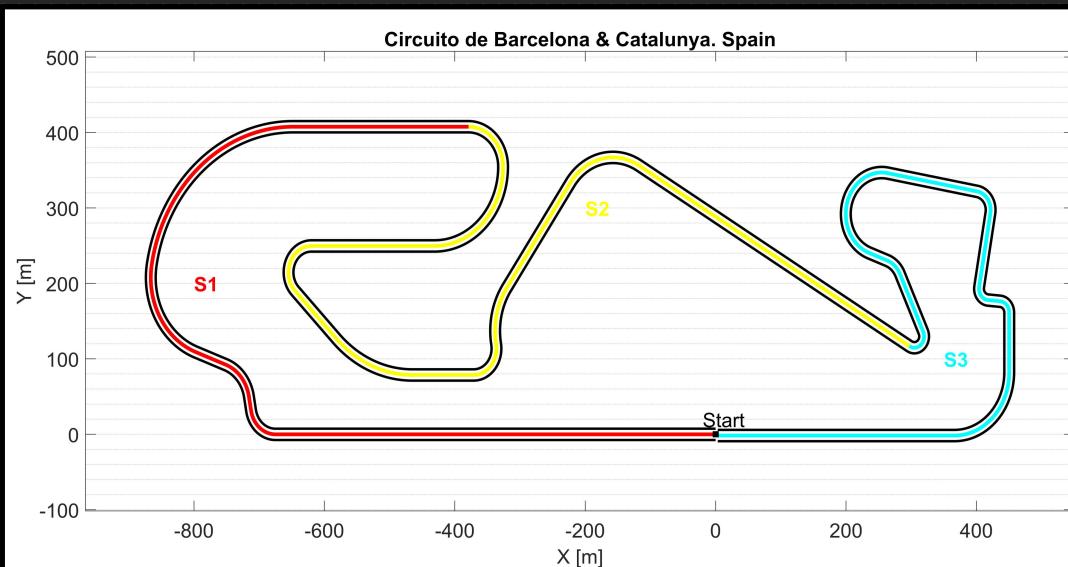
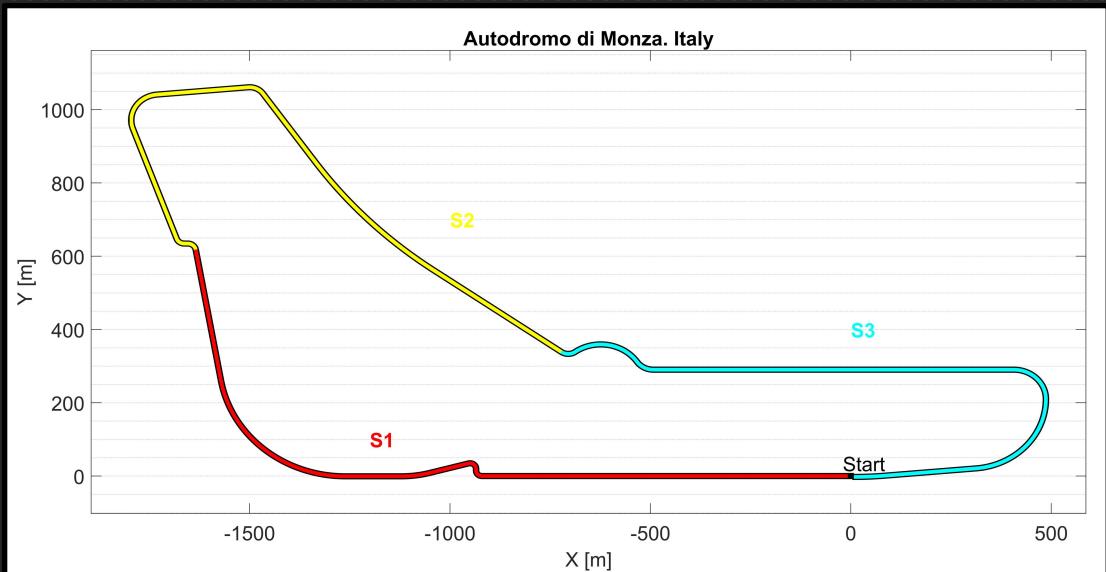


Círculo



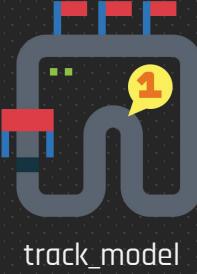
$[P, C] = \text{ParamRecta}(P, C, \text{sector}, P1, n)$
 $[P, C] = \text{ParamArcTag}(P, C, \text{sector}, R, \alpha, n, \text{recta})$

- Modelo de circuito 2D
- Límites de pista
- Trayectoria central
- Sectores



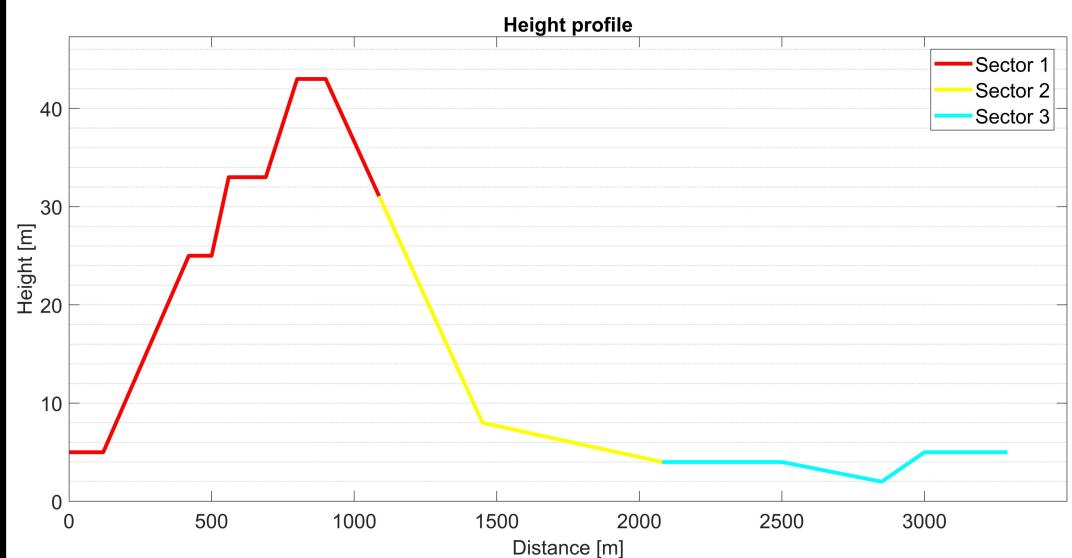
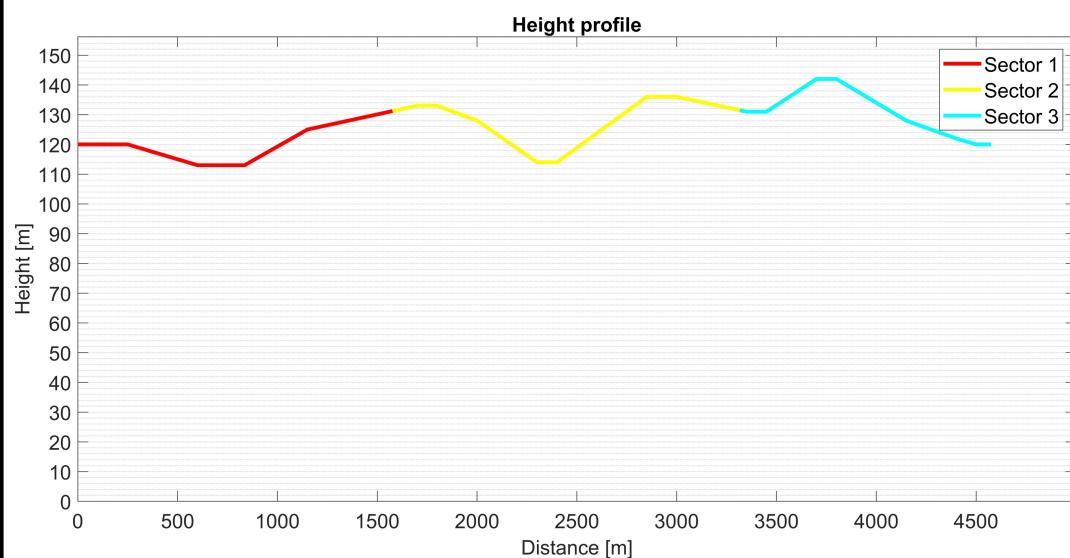
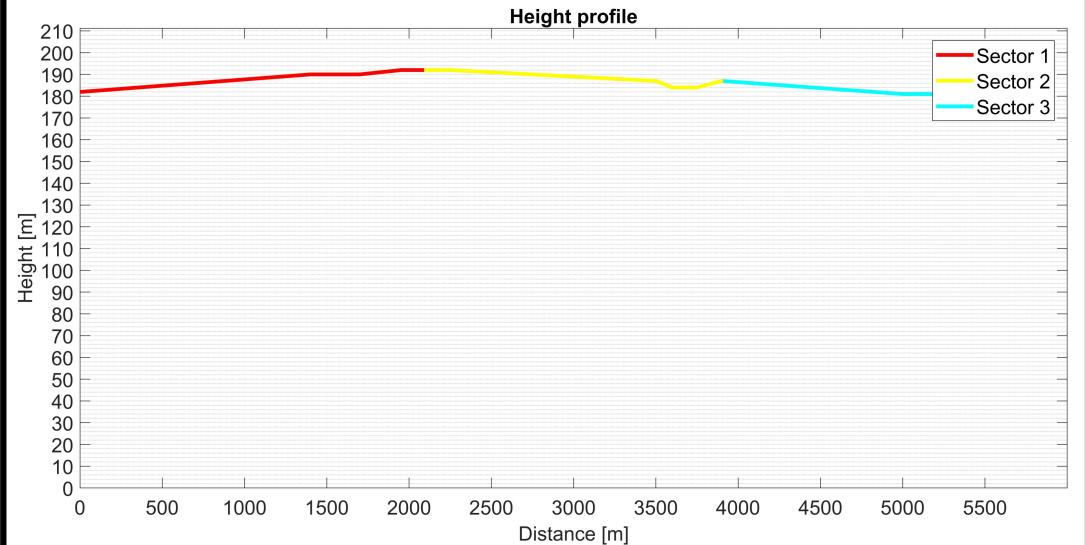


Círculo



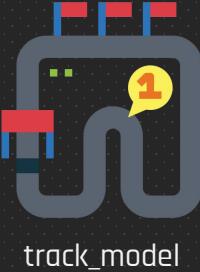
$[P, C] = \text{ParamRecta}(P, C, \text{sector}, P1, n)$
 $[P, C] = \text{ParamArcTag}(P, C, \text{sector}, R, \alpha, n, \text{recta})$

- Modelo de circuito 2D
- Límites de pista
- Trayectoria central
- Sectores
- Perfil de elevación por sectores



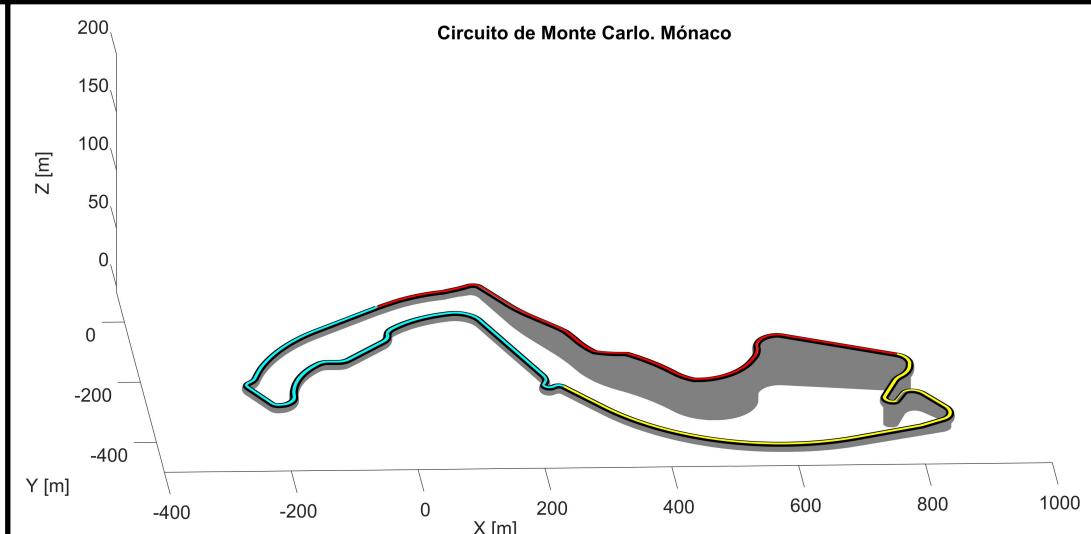
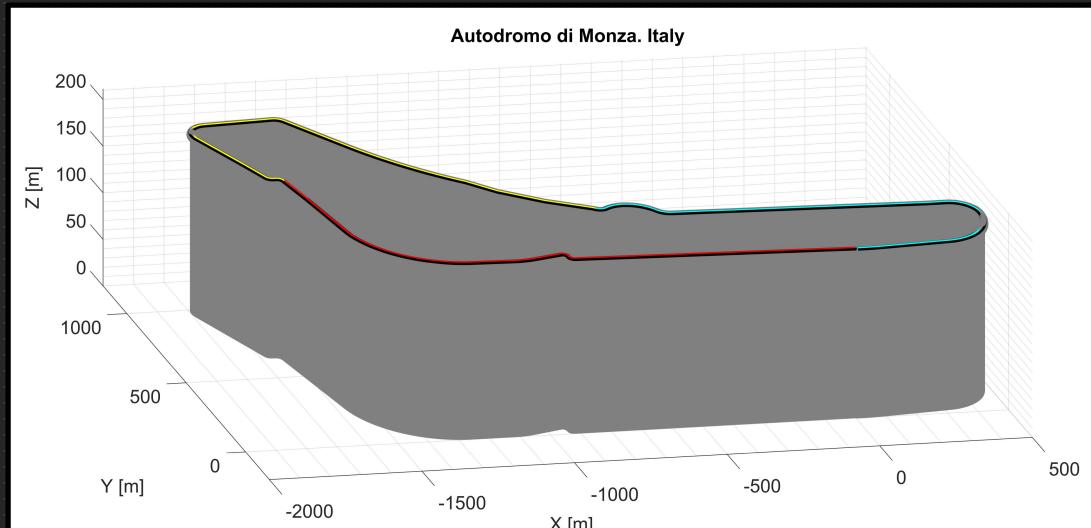
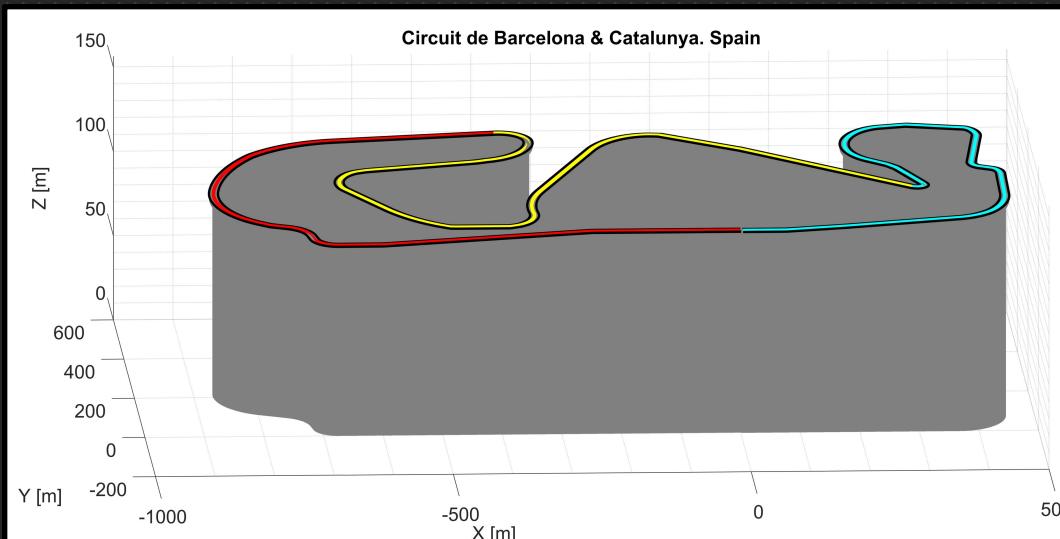


Círculo



$[P, C] = \text{ParamRecta}(P, C, \text{sector}, P1, n)$
 $[P, C] = \text{ParamArcTag}(P, C, \text{sector}, R, \alpha, n, \text{recta})$

- Modelo de circuito 2D
- Límites de pista
- Trayectoria central
- Sectores
- Perfil de elevación por sectores
- **Modelo de circuito 3D**



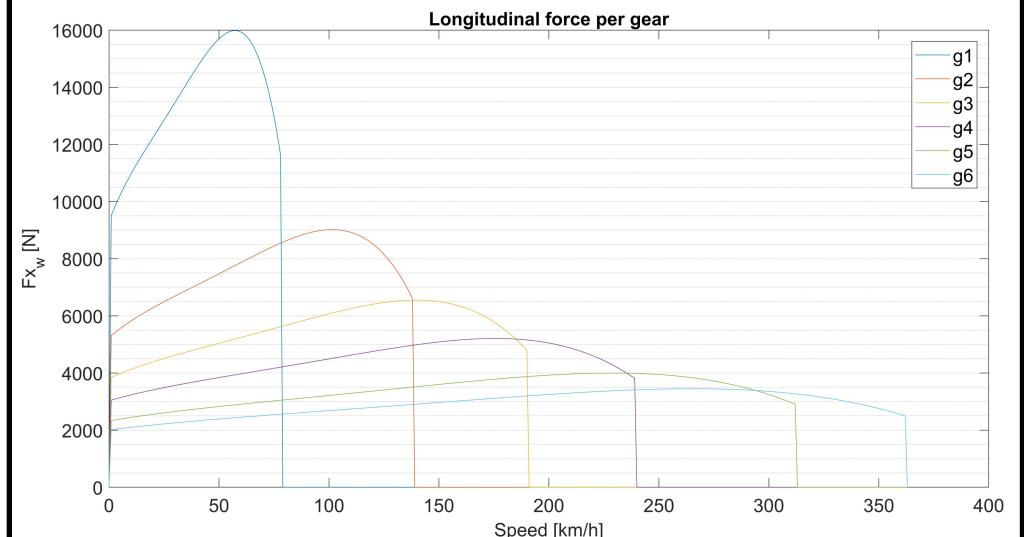
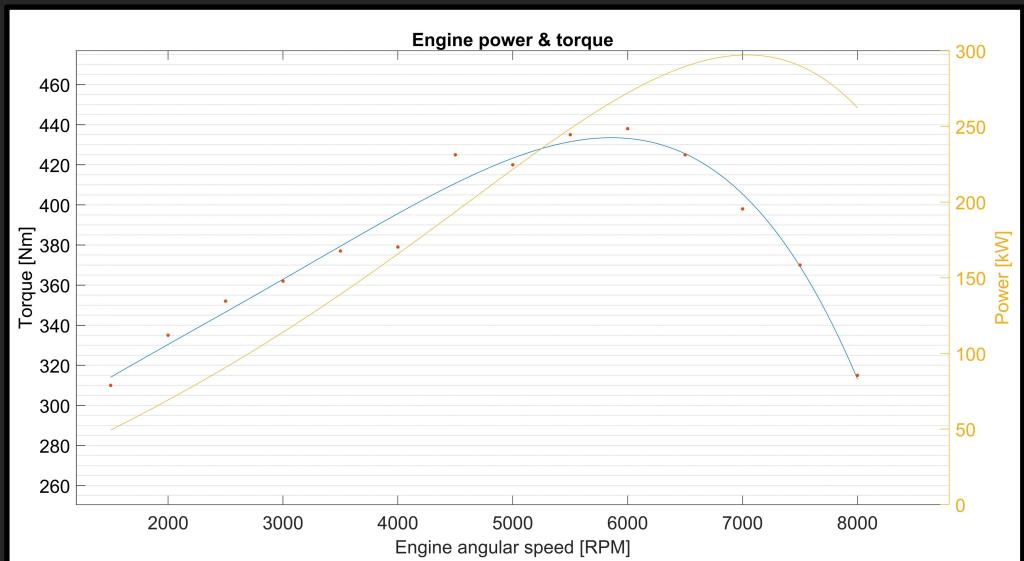
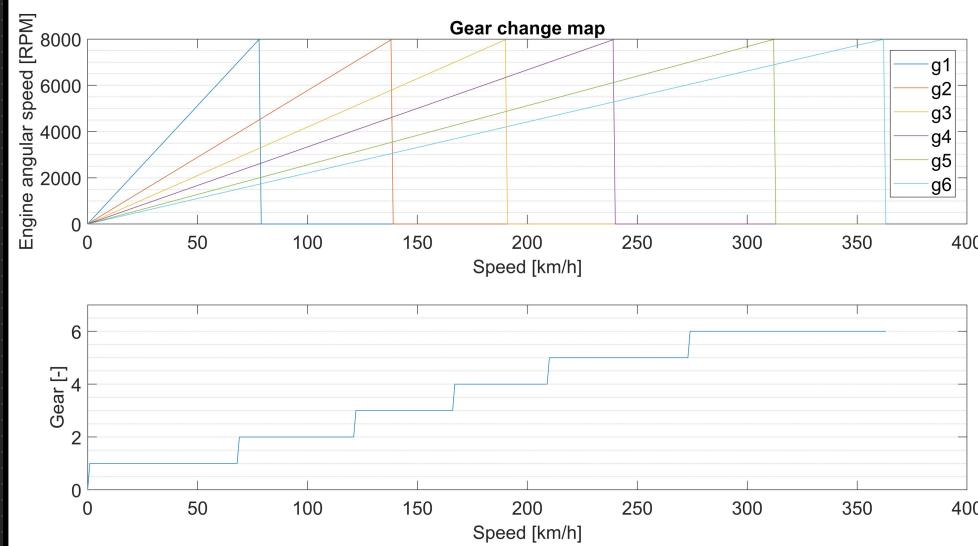


Tren de potencia



powertrain_model

- Gráfico de par - potencia motor
- Mapa de cambio de marchas motor
- Fuerza longitudinal por marcha



Neumático

tyre_model

MF Lateral

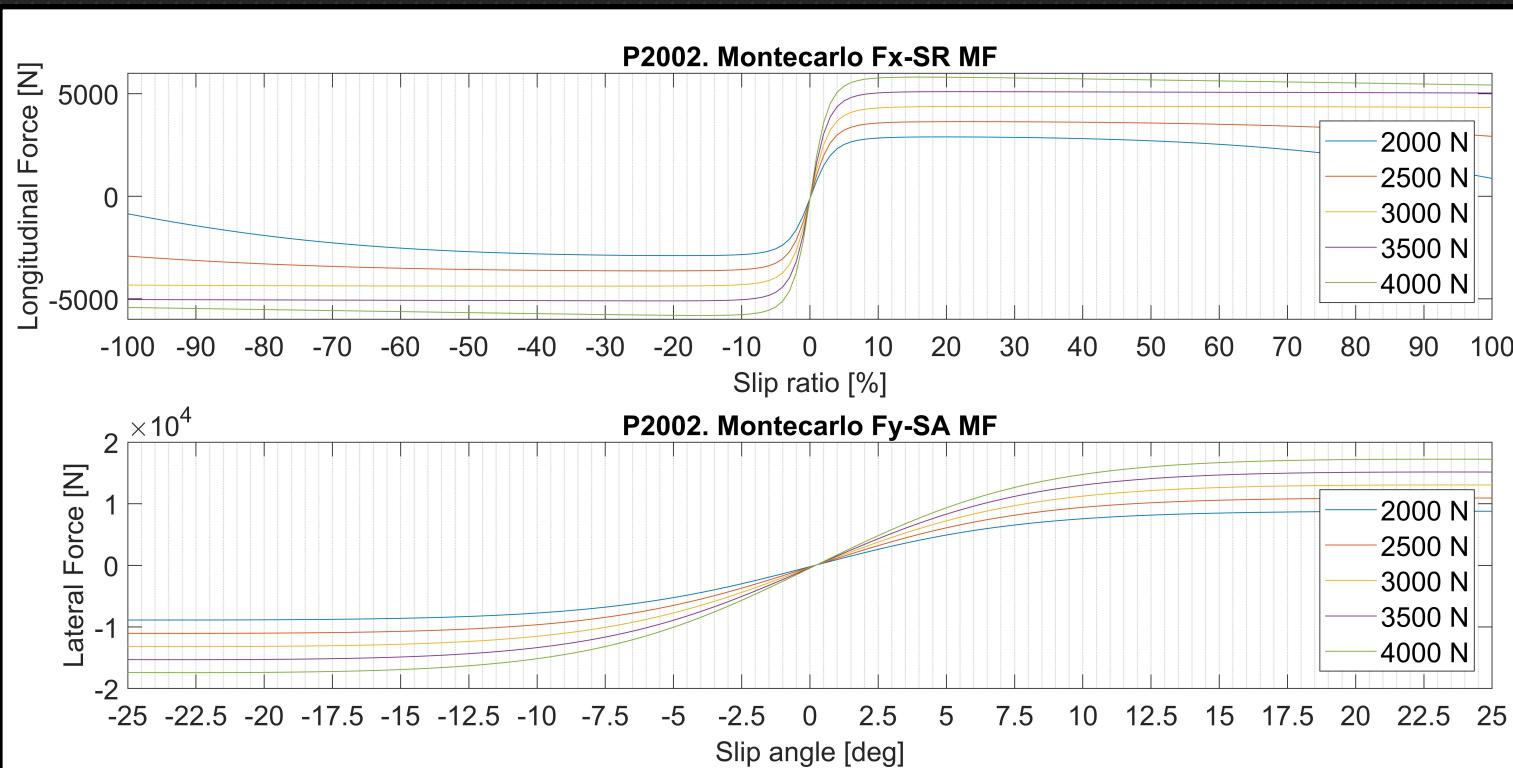
$$\begin{aligned} C &= \alpha_0 \\ D &= F_z \cdot (\alpha_1 + \alpha_2) \\ BCD &= \alpha_3 \cdot \sin(\arctan(F_z/\alpha_4) \cdot 2) \cdot (1 - \alpha_5 \cdot |\text{camber}|) \\ B &= BCD/(C \cdot D) \\ H &= \alpha_8 \cdot \text{camber} + \alpha_9 \cdot F_z + \alpha_{10} \\ Sv &= \alpha_{11} \cdot F_z \cdot \text{camber} + \alpha_{12} \cdot F_z + \alpha_{13} \\ E &= \alpha_6 \cdot F_z + \alpha_7 \\ Sh &= B \cdot (F_z + H) \end{aligned}$$

MF Longitudinal

$$\begin{aligned} C &= b_0 \\ D &= F_z \cdot (b_1 + b_2) \\ BCD &= (b_3 \cdot F_z^2 + b_4 \cdot F_z)^{-b_5 \cdot F_z} \\ B &= BCD/(C \cdot D) \\ H &= b_9 \cdot F_z + b_{10} \\ Sv &= b_{11} \cdot F_z + b_{12} \\ E &= b_6 \cdot F_z^2 + b_7 \cdot F_z + b_8 \\ Sh &= B \cdot (F_z + H) \end{aligned}$$

Pacejka Magic Formula

$$Y = D \sin(C \arctan(S_h - E(S_h - \arctan(S_h)))) + S_v$$





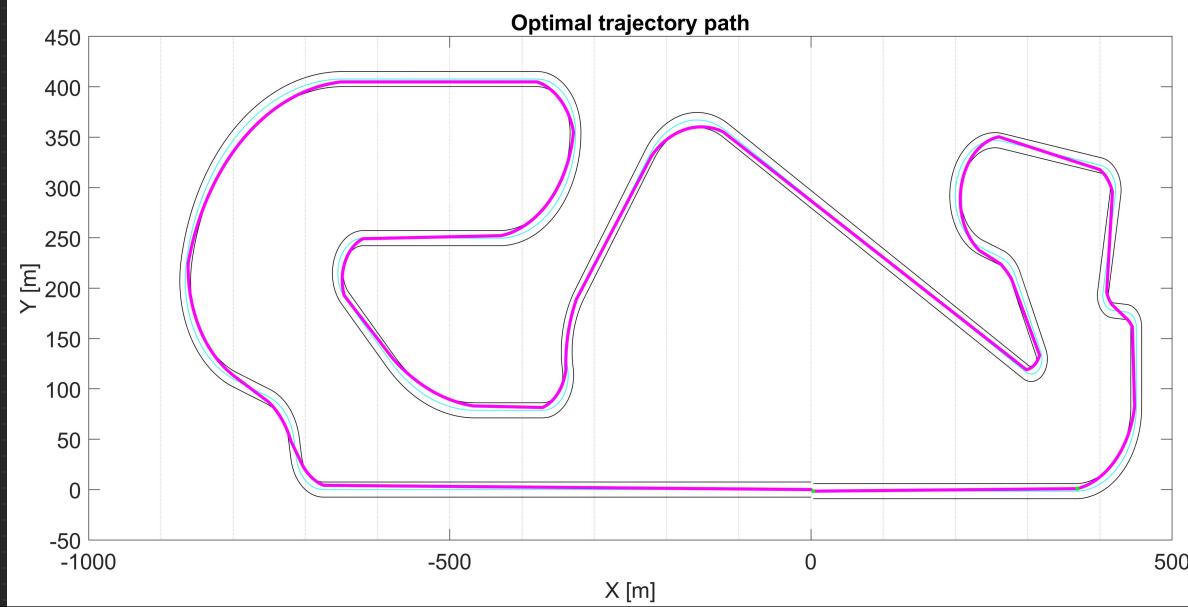
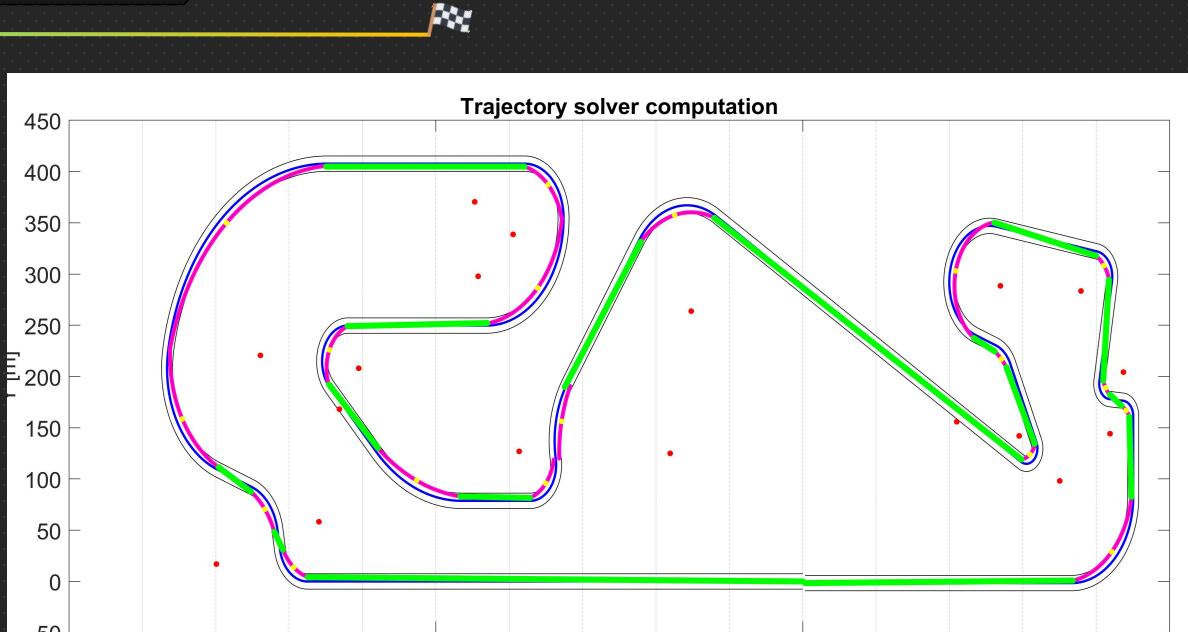
Resolución de modelos

$$\pi \int_{\mathbf{x}_0}^{\mathbf{x}_f} \sqrt{\dot{\mathbf{x}}^T \dot{\mathbf{x}}} \, d\mathbf{x}$$

state_var_model
trayectory_solver

max_radius
max_straight

dynamic_status solver



raceline

- 1 Tipo de elemento
- 2 Punto donde empieza cada elemento
- 3 Radio
- 4 Angulo barrido
- 5 Punto donde se encuentra el appex
- 6 Máximo Radio



Resolución de modelos

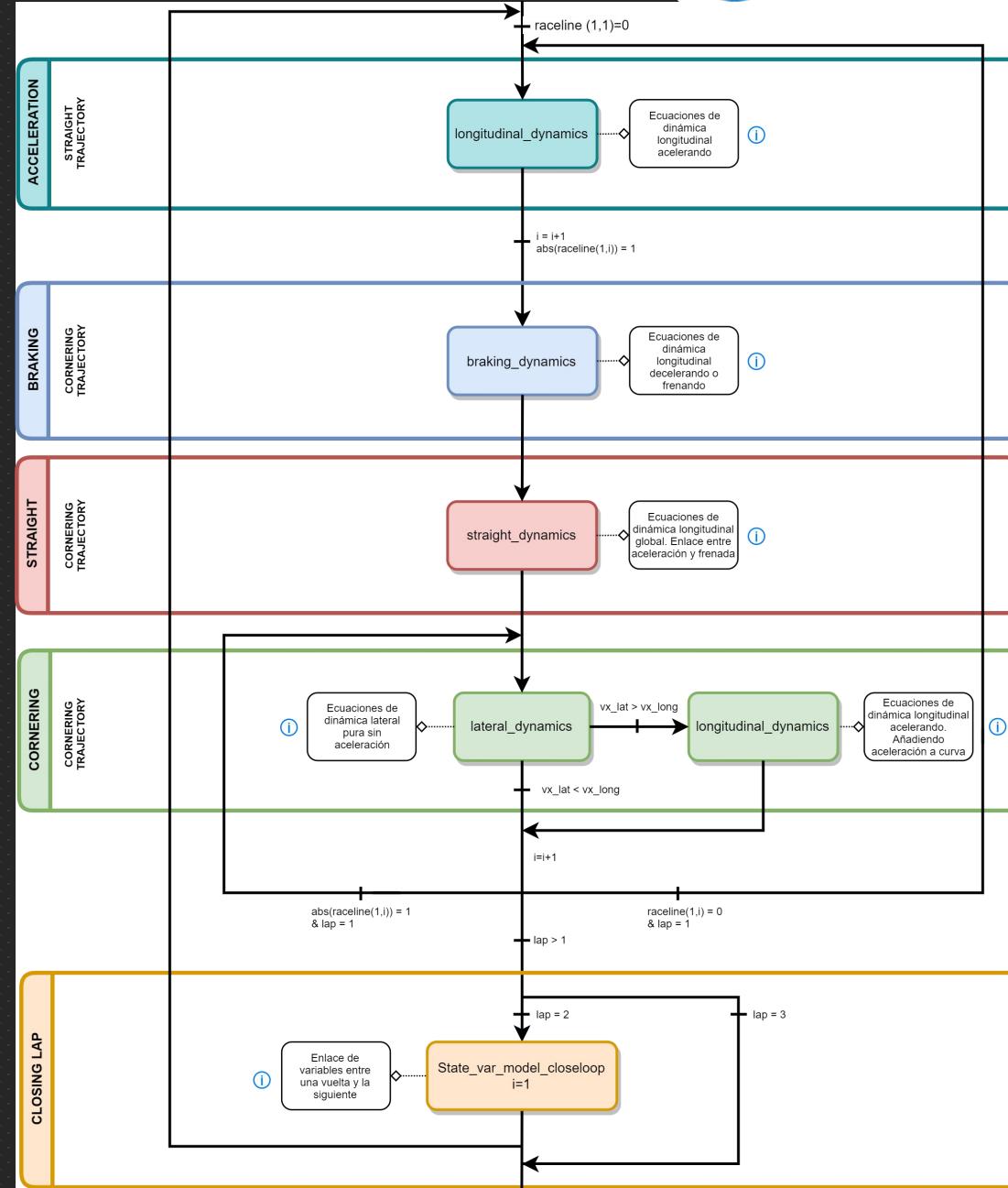
$$\pi \int f(x) dx = \sum$$

state_var_model
trajectory_solver

max_radius
max_straight

dynamic_status_solver

longitudinal_dynamics
braking_dynamics
straight_dynamics
lateral_dynamics
state_var_model_closeloop

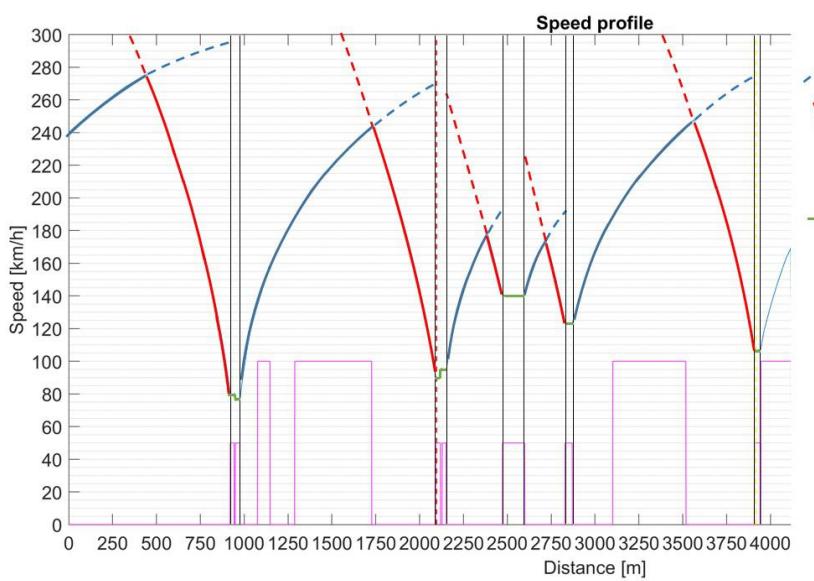




Resolución de modelos

$$\pi \int x \sum$$

state_var_model
trajectory_solver
dynamic_status solver



Aceleración longitudinal

$$F_{X_R} - (Rr_F + Rr_R + F_{Drag} + mg_x) = m \cdot a_x$$

$$F_{Z_R} + F_{Z_F} = F_{Lift} + mg_y$$

Frenada longitudinal

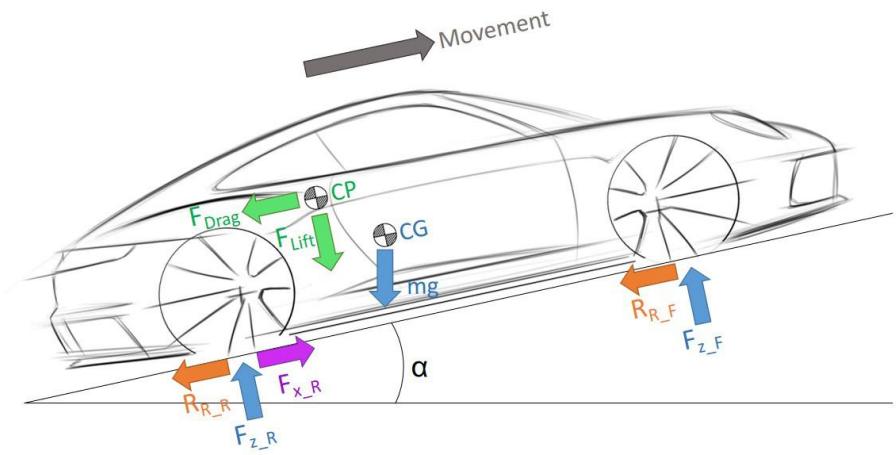
$$-(Rr_F + Rr_R + F_{Drag} + mg_x + F_{b_R} + F_{b_F}) = m \cdot a_x$$

$$F_{Z_R} + F_{Z_F} = F_{Lift} + mg_y$$

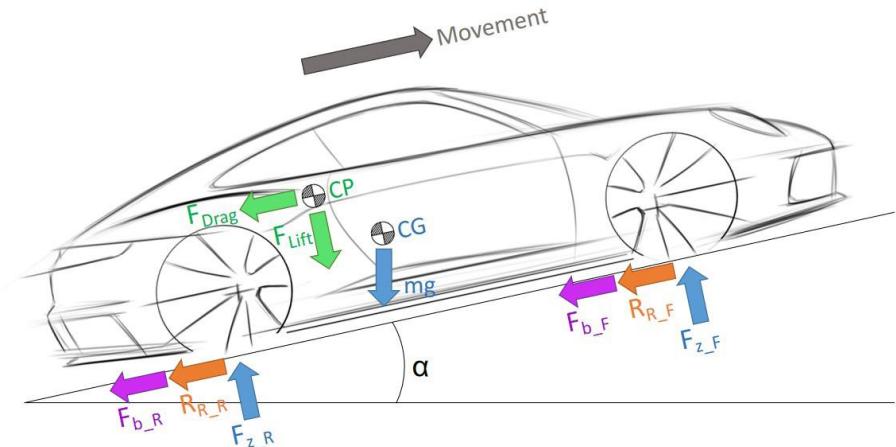
longitudinal_dynamics
braking_dynamics



longitudinal_dynamics



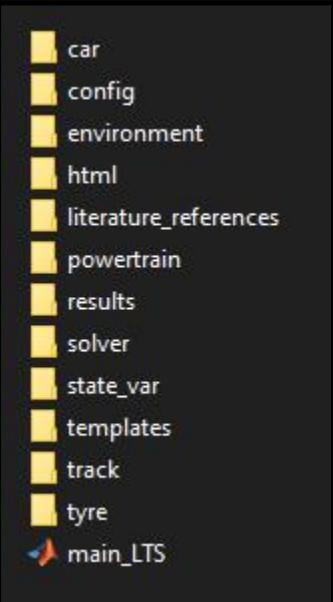
braking_dynamics





Selección opciones

```
% Options
Select_track = 'Montmelo'; % Select the track (Montmelo/Monza/Monaco)
Select_car = 'Porsche911'; % Select the car (SeatLeon/Porsche911)
Select_powertrain = '390HP'; % Select the powertrain (TSI_2.0/390HP)
```

Discretización de *Scripts*

Visualización de resultados

```
----- RESULTS -----
Lap Time [s]: 111.470
Average Speed [km/h]: 160.595
Accelerating Time [%]: 62.7
Braking Time [%]: 37.2
S1 Time [s]: 30.807
S1 Average Speed [km/h]: 193.732
S2 Time [s]: 44.442
S2 Average Speed [km/h]: 147.249
S3 Time [s]: 36.221
S3 Average Speed [km/h]: 137.676
OK <- Analysis Results
Elapsed time is 103.662931 seconds.
```

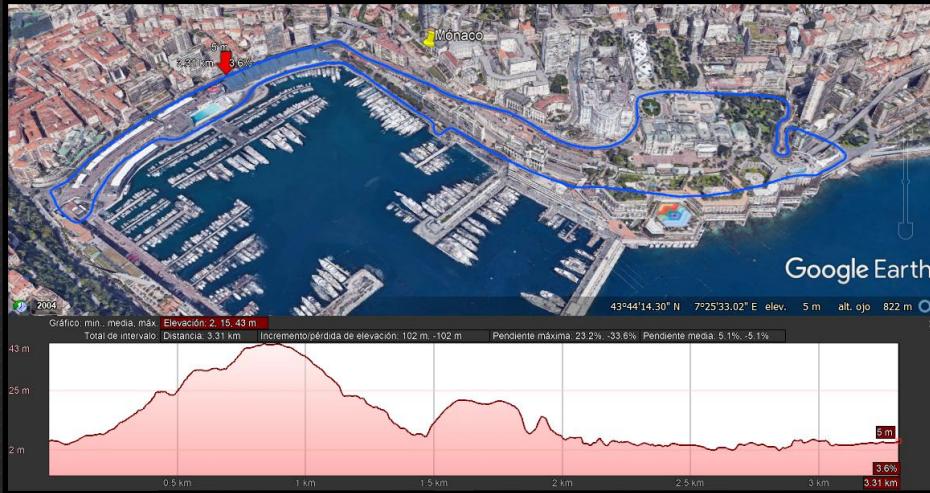
Agrupación de variables

car	
car	1x1 struct
env	1x1 struct
lap_average_speed	160.5951
lap_time	111.4699
pwt	1x1 struct
Select_car	"Porsche911"
Select_powertrain	"390HP"
Select_status	1x4608 double
Select_track	"Montmelo"
stv	1x1 struct
tck	1x1 struct
tyre	1x1 struct

Field	Value
L	2.5000
mc	1472
md	80
m	1552
xCG	0.8000
yCG	0
zCG	0.9000
Rg	0.3556
camber	1
xCP	1
yCP	0
zCP	1
Af	2.0400
Cl	0.1500
Clc	0.5000
DRS	0
Cd	0.2900
Cddrs	0.2300
MbrakingF	1250
MbrakingR	1250
Reg_enable	0
traction	'FWD'



1. Perfil de Elevación



3. Layout



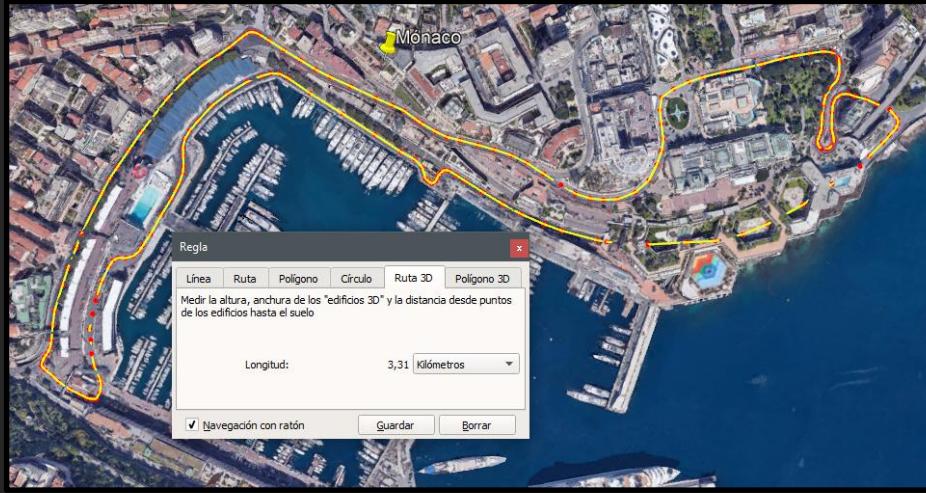
Trabajo final de grado - Lap Time Simulation con MATLAB

Circuito



Google Earth

2. Distancia



4. Convergencia de distancia

Ratio puntos/m	Distancia m	Error %	Tiempo s
0.1	3115.6	4.76	1.55
0.25	3192.6	3.10	1.58
0.5	3218.4	2.55	1.62
1	3231.4	2.27	1.68
2	3238.1	2.12	1.83
4	3241.3	2.06	2.35
10	3243.2	2.02	4.66

Ejemplo: Monte Carlo



Powertrain 390HP

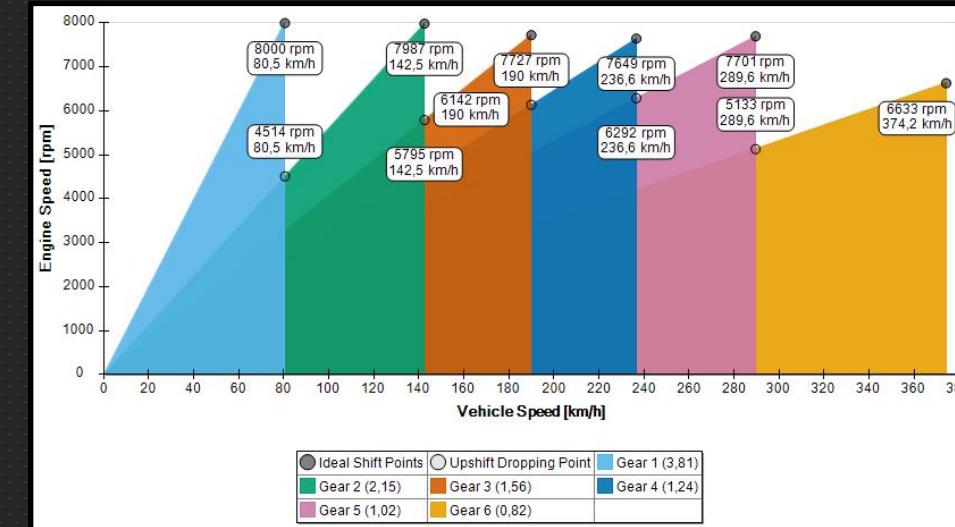
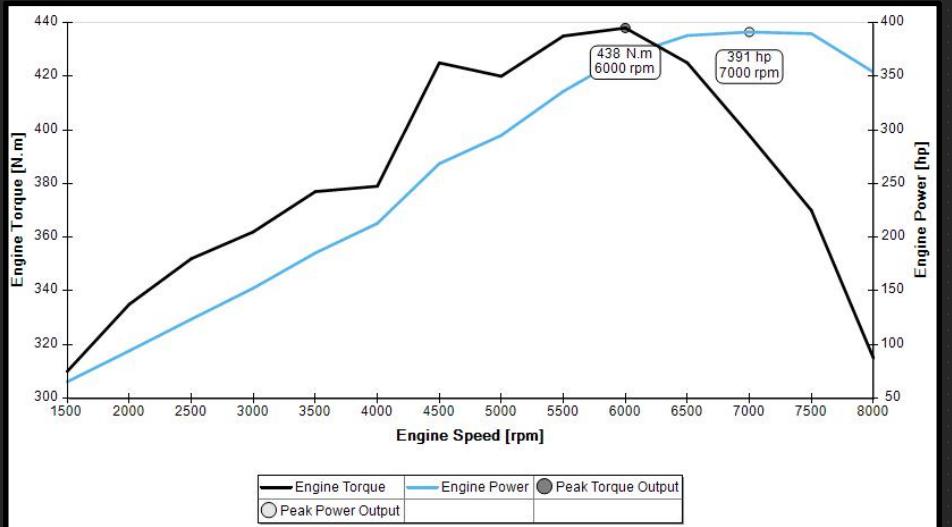


Gráfico potencia - par motor

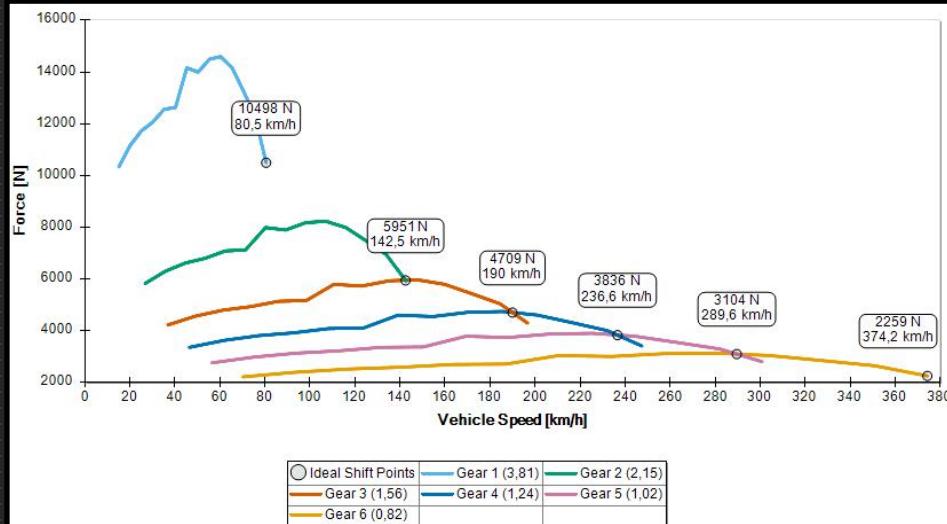


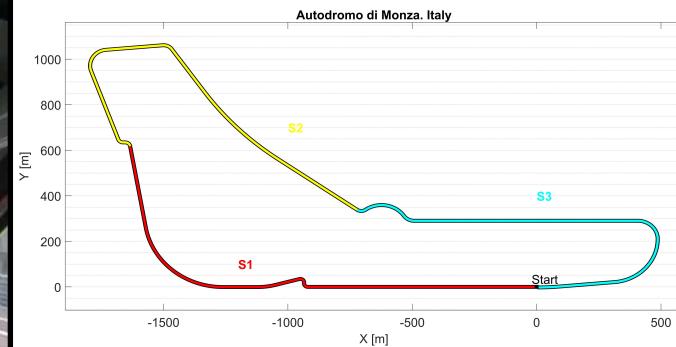
Gráfico cambio de marcha



Solver



Mikel Azcona.
Seat Leon TCR
Monza



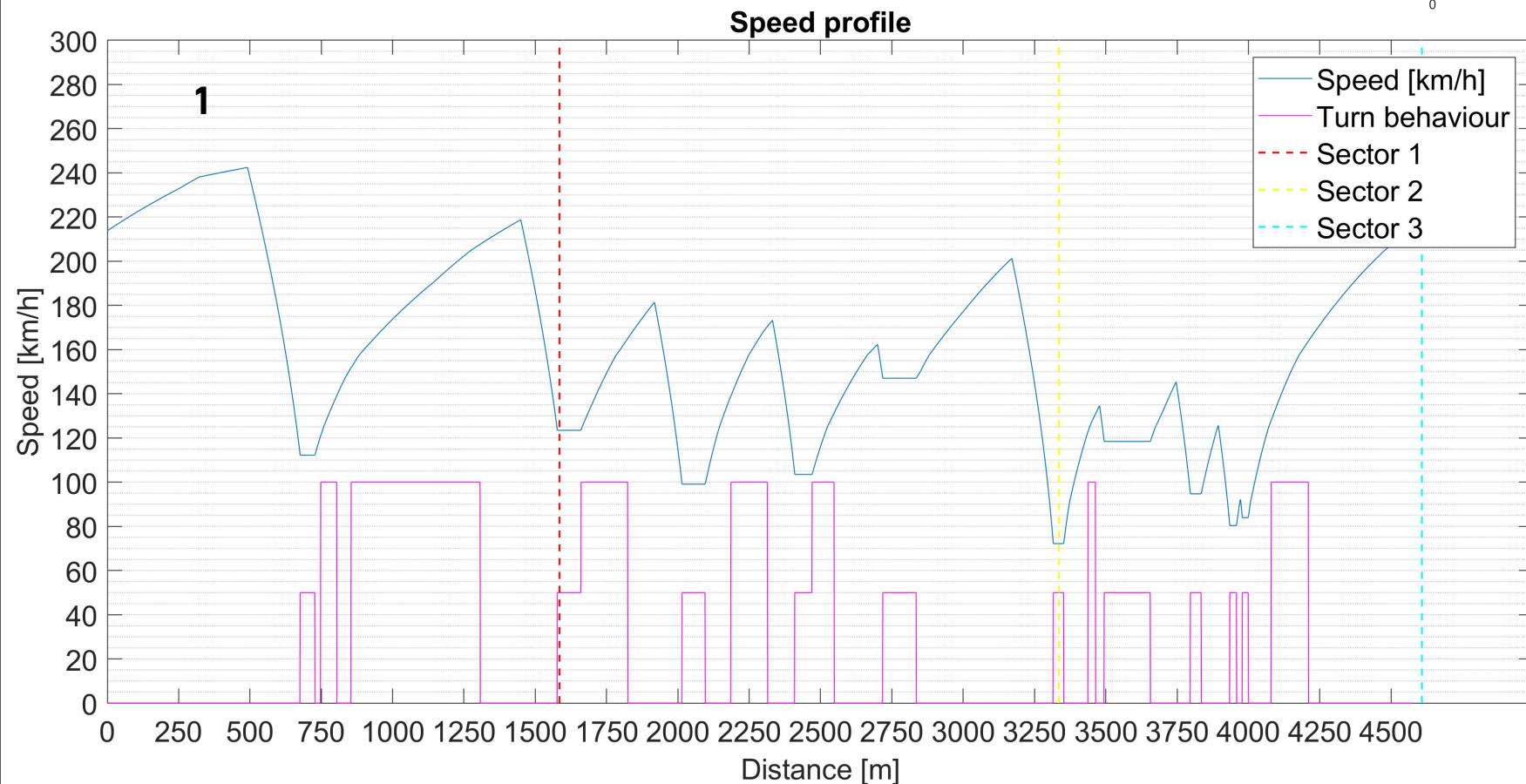
Optimum Lap

Trabajo final de grado - Lap Time Simulation con MATLAB

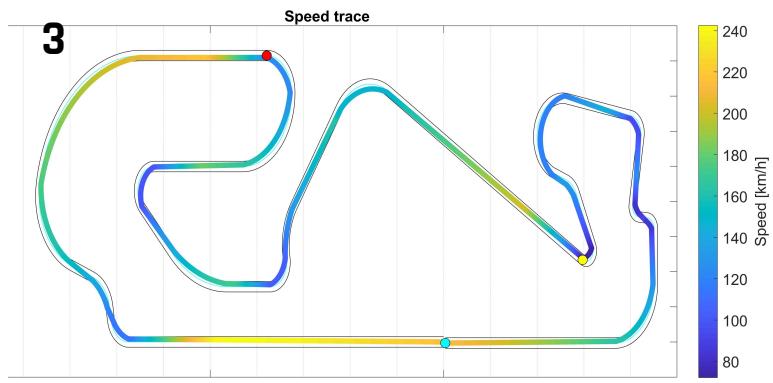
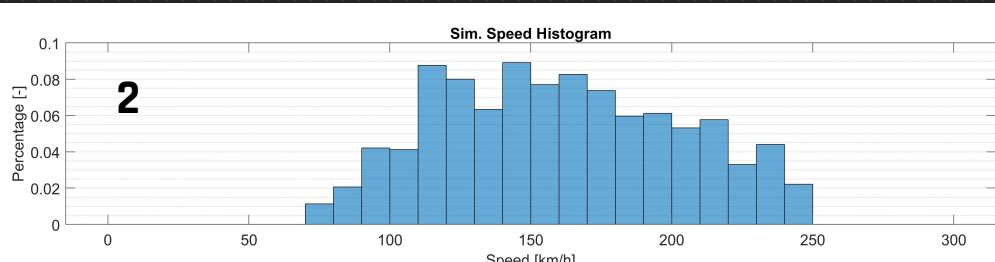
PORSCHE	Lap Time [s]	Velocidad [km/h]												Monza
LTS	122,734	245	70	234	85	170	132	170	116	237	125	233	142	
OPL	121,260	260	65	245,0	80,0	175	115	172	107	245	130	245	120	
Tramos	S1	C12	R2	C34	R3	C5	R4	C6	R5	C789	R6	C10	GLOBAL	
Error [%]	-1,2%	5,8%	-7,7%	4,5%	-6,3%	2,9%	-14,8%	1,2%	-8,4%	3,3%	3,8%	4,9%	-18,3%	-2,3%



Estudio de: Velocidad



Ejemplo:
Montmeló con Porsche 911

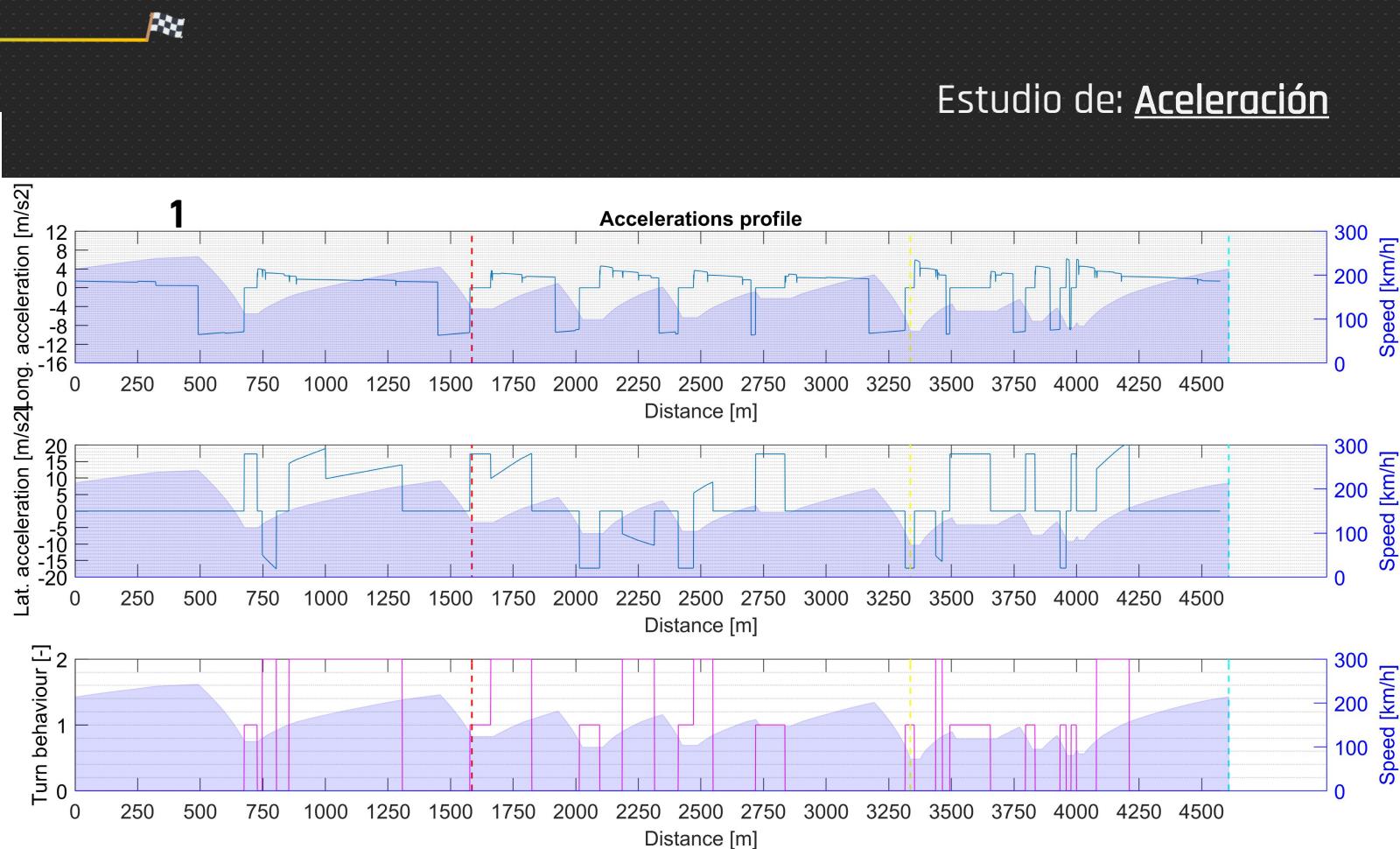
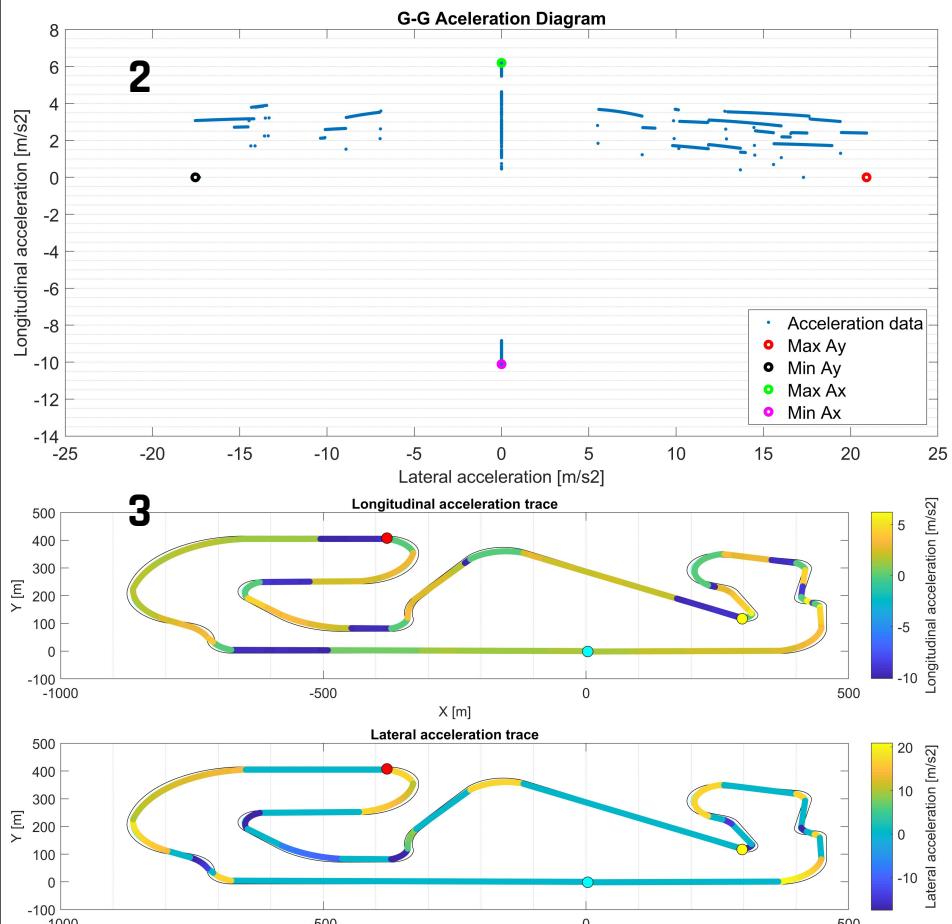


Gráficos

1. Perfil de velocidad
2. Histograma de velocidades
3. Velocidad en mapa del circuito

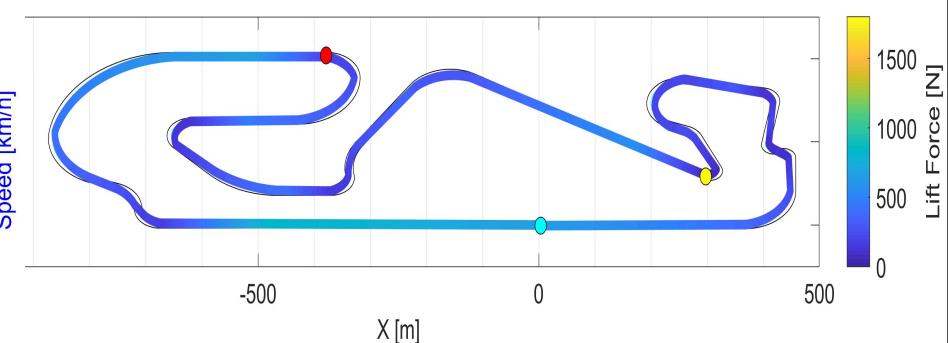
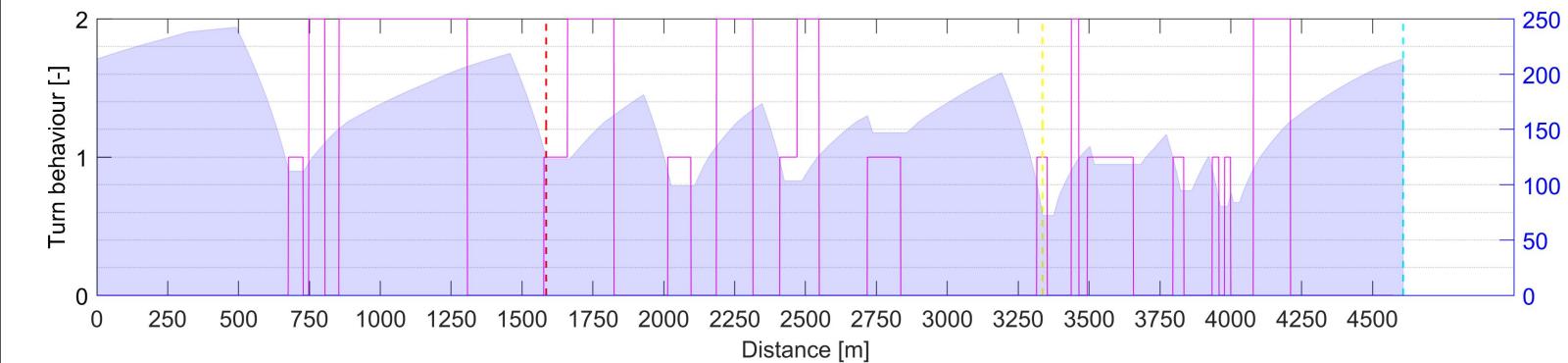
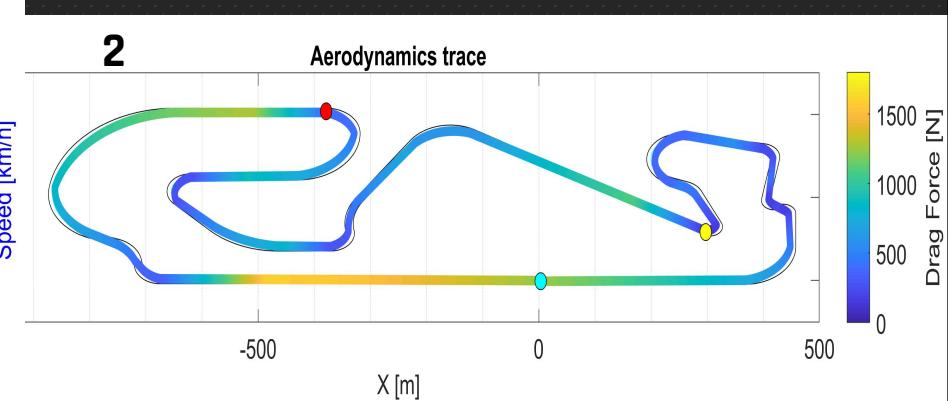
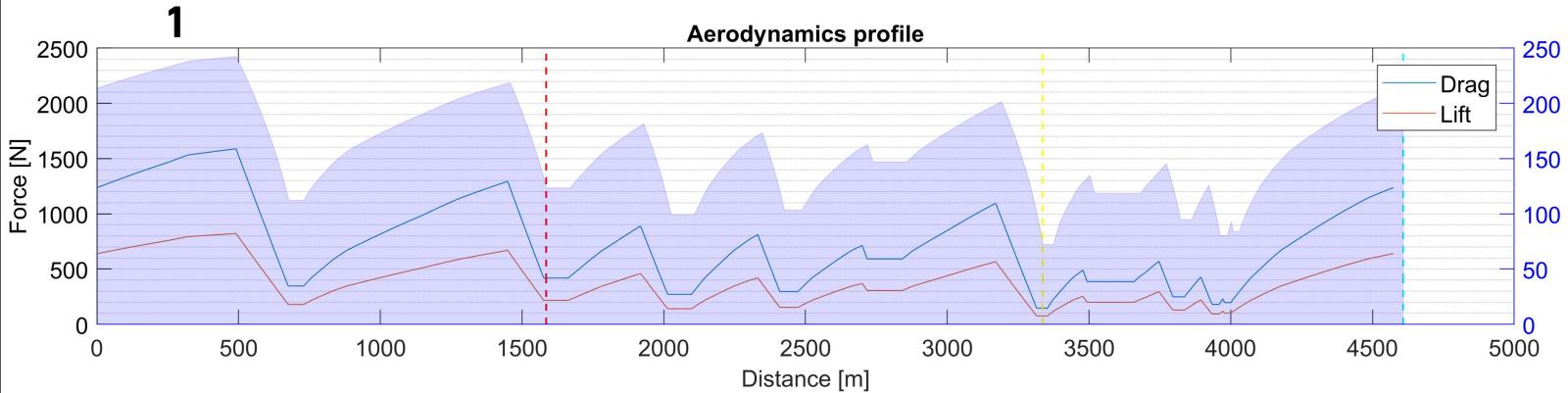


Estudio de: Aceleración



Gráficos

1. Perfil de aceleraciones
2. Diagrama de G's-G's
3. Aceleración en mapa del circuito

Estudio de: Aerodinámica**Gráficos**

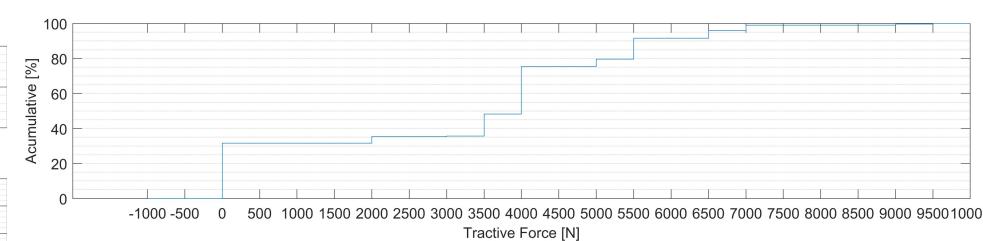
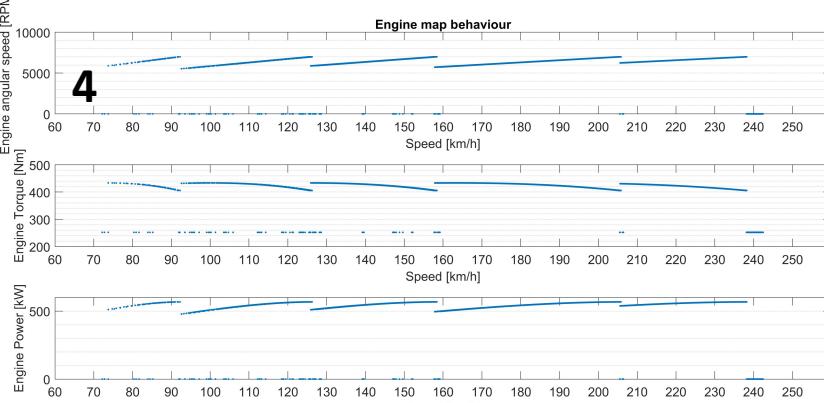
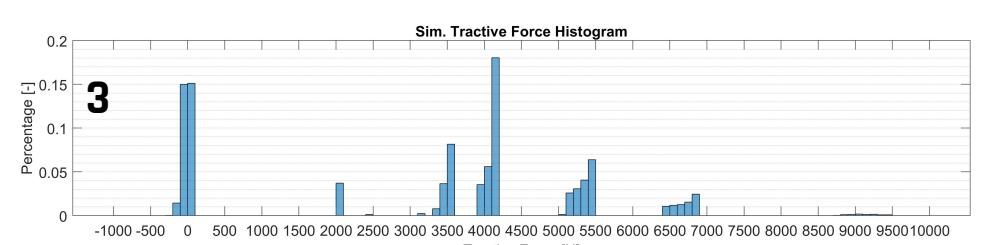
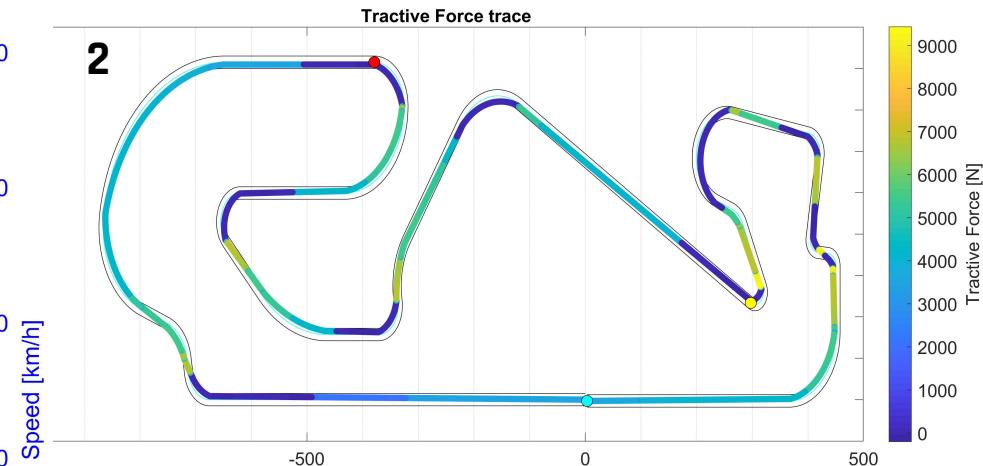
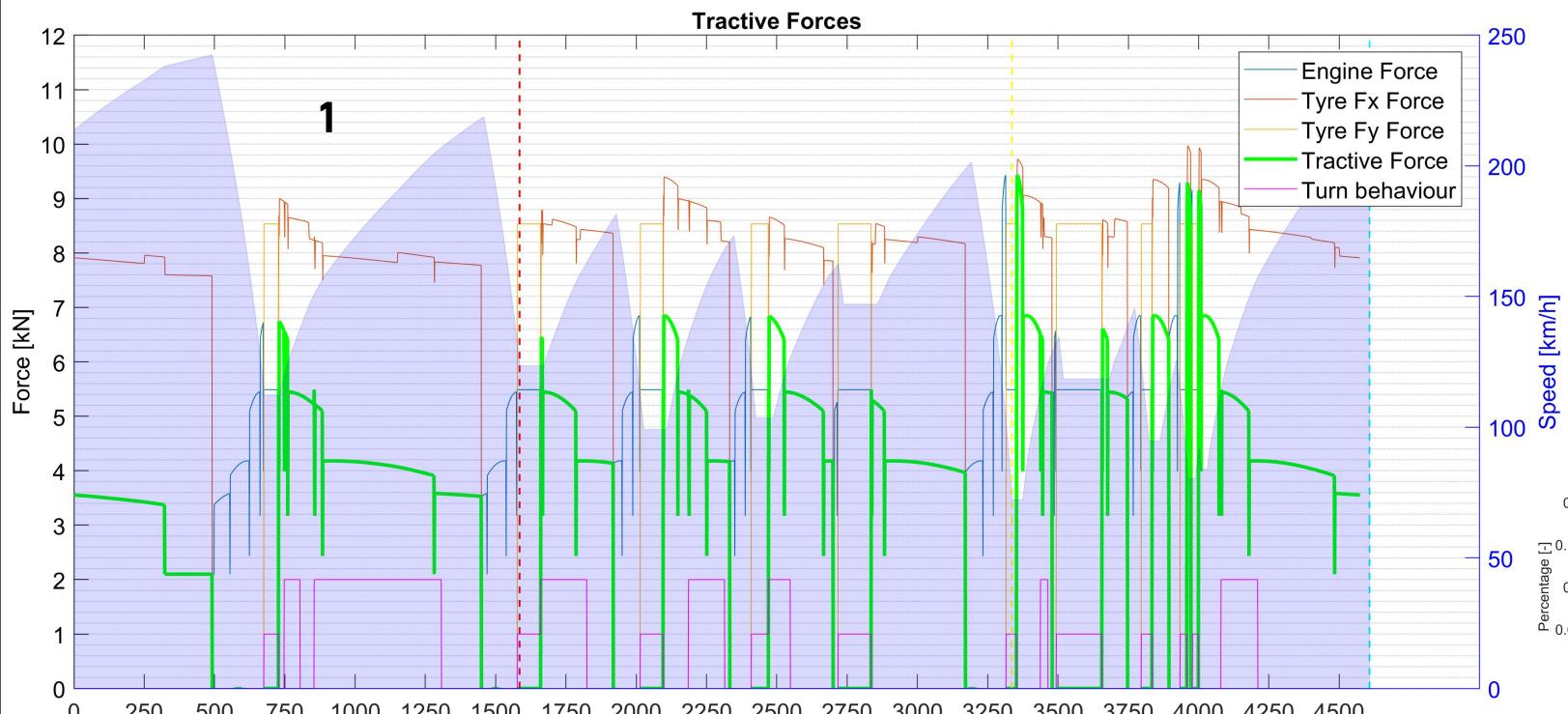
1. Perfil de fuerzas aerodinámicas
2. Fuerzas aerodinámicas en mapa del circuito



Ejemplo:

Montmeló con Porsche 911

Estudio de: Tracción y Motor

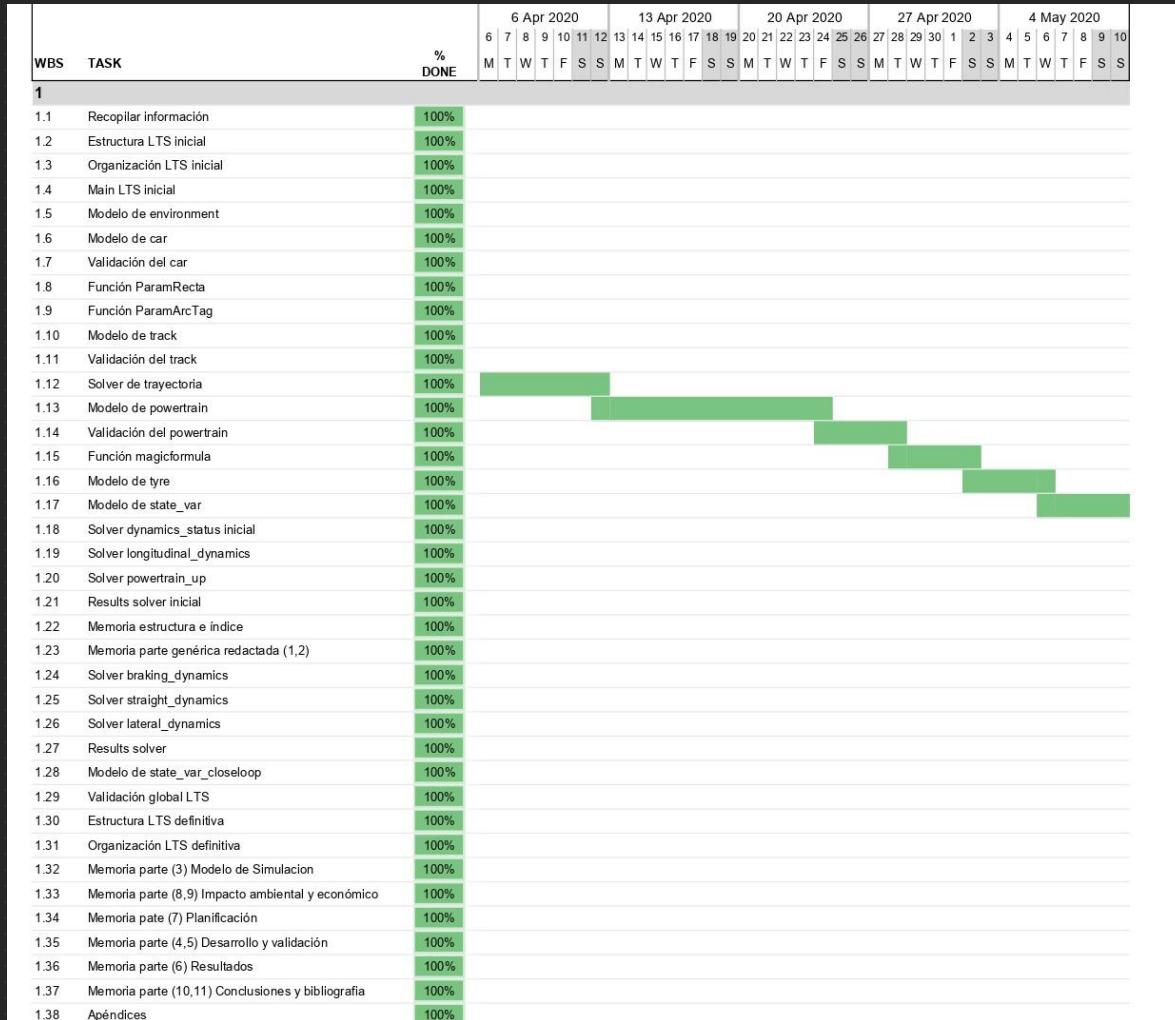
**Gráficos**

1. Perfil de tracción
2. Tracción en mapa del circuito
3. Histograma de fuerzas de tracción
4. Análisis motor

Trabajo final de grado - Lap Time Simulation con MATLAB



Diagramma Gantt



Análisis FODA

Fortalezas

- Simulaciones ilimitadas, no hay necesidad de tener un coche en pista tanto tiempo
 - Accesibilidad y versatilidad a la hora de incorporar nuevos modelos
 - Organización y estructura de la simulación y de los modelos clara y entendible
 - Software focalizado en un tipo de vehículo y en unas necesidades concretas

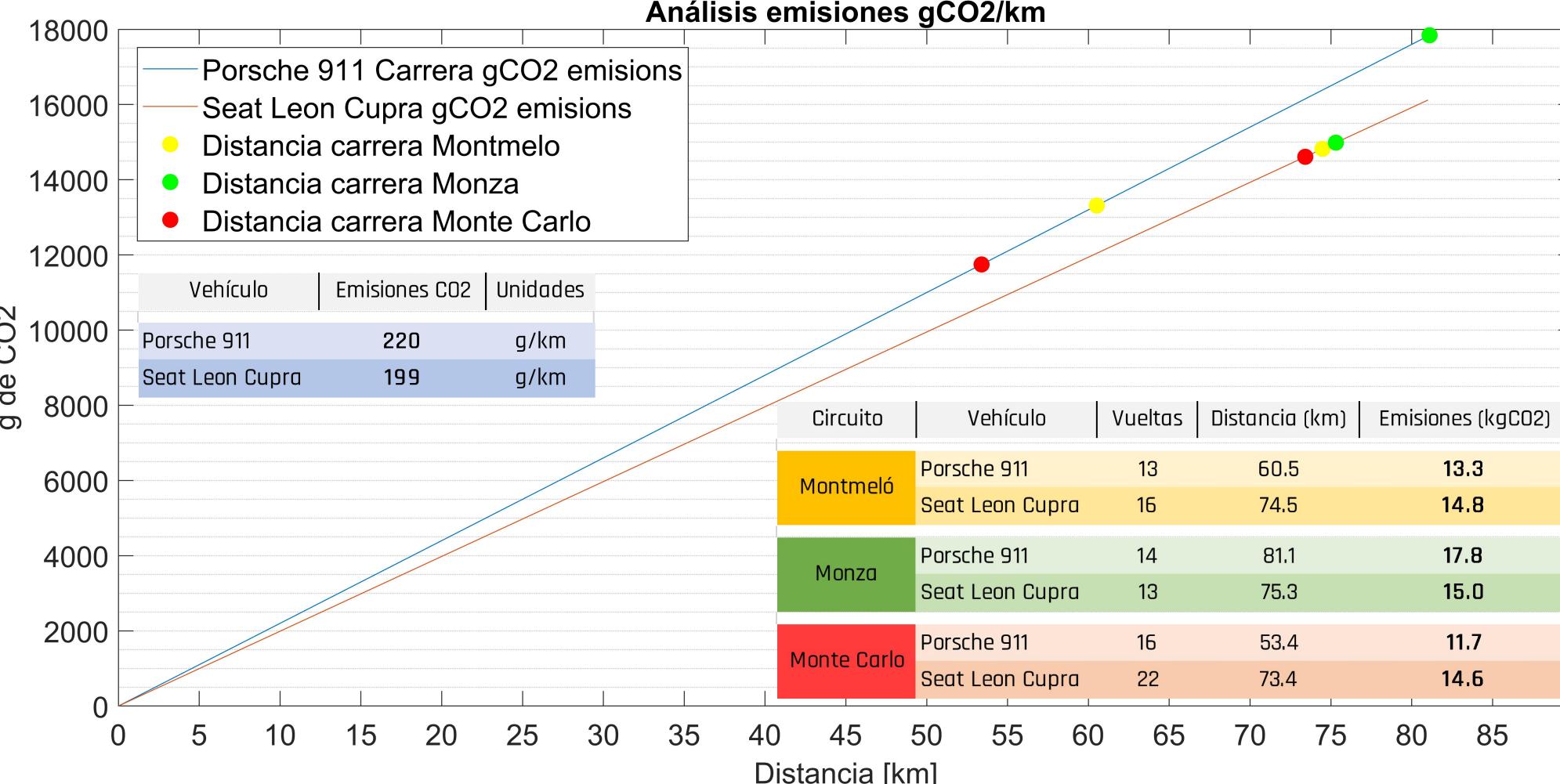
Debilidades

- Herramienta en continuo desarrollo puesto que es software propio
 - No apto para cualquier tipo de vehículo
 - Simulación y estrategia de carrera no disponible por el momento
 - Generación de reports y exportación de datos no disponible por el momento

Oportunidades

Amenazas

- No dispone de interfaz gráfica para facilitar al usuario su interacción con el software
 - Formación mínima en MATLAB necesaria para su ejecución
 - Licencia de MATLAB no gratuita





Análisis de gastos

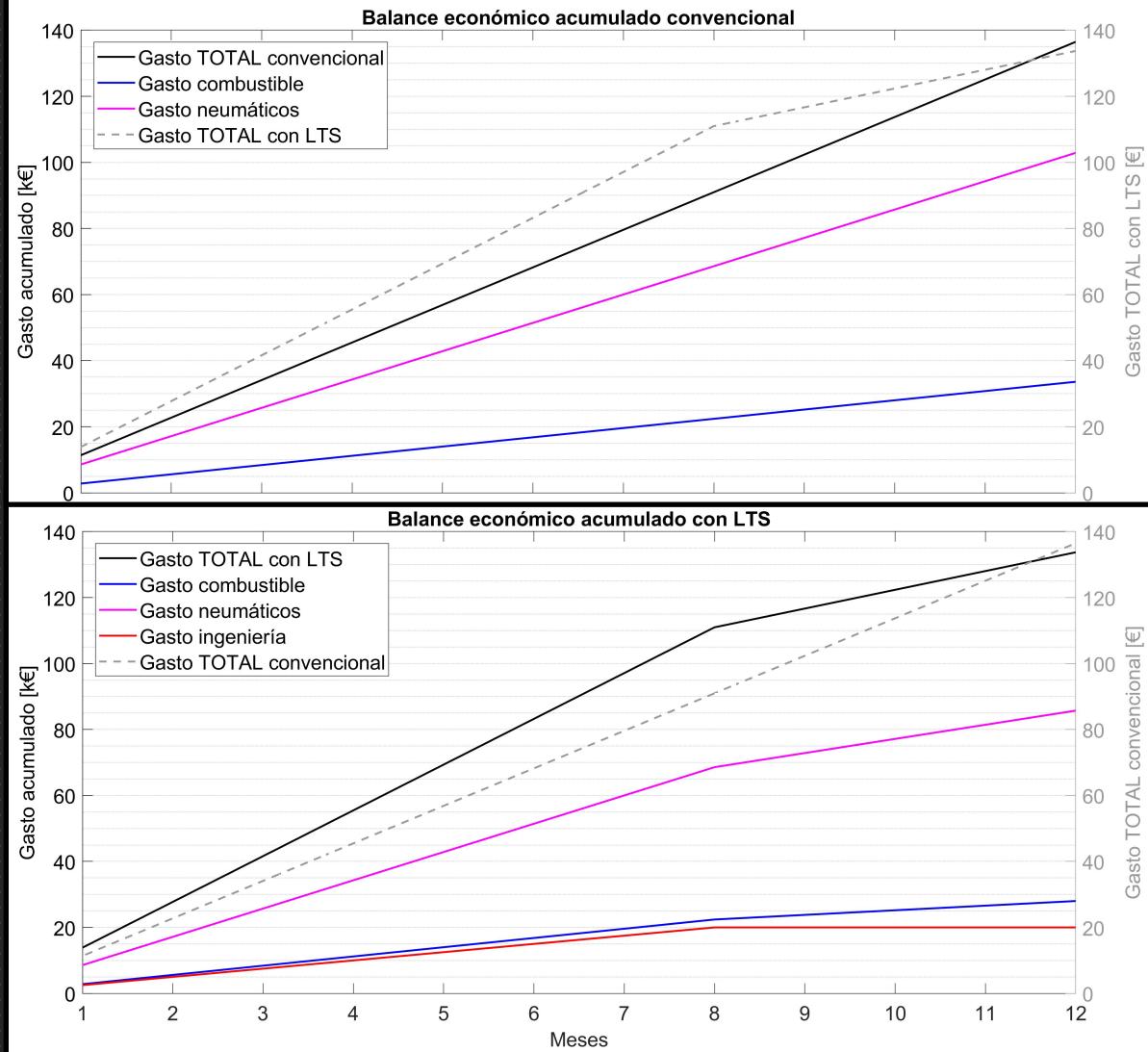
Eventos/mes	Distancia/carrera	Distancia/mes	Distancia/año
	km/carrera	km/mes	km/año
2	70	140	1680
Neumático	Durabilidad	Distancia/vuelta	Ratio precio
€/ud	vueltas	km/mes	€/km
270	1.05	4.41	61.22
Combustible	Consumo 100km	Consumo 1km	Ratio precio
€/L	L/100km	L/km	€/km
60	30	0.3	18
Sueldo anual	Sueldo mensual	Meses de trabajo	Total inversión
€/año	€/mes	-	€/LTS
30000	2500	8	20000

Balance anual de los modelos de negocio

Modelo de negocio convencional						B. anual	
Balance 1-8 en miles €			Balance 9-12 en miles €				
Neum.	Comb.	Ing.	Total	Neum.	Comb.	Ing.	Total
68.6	22.4	0.0	91.0	34.3	11.2	0.0	45.5
Modelo de negocio con LTS							
Balance 1-8 en miles €			Balance 9-12 en miles €				
Neum.	Comb.	Ing.	Total	Neum.	Comb.	Ing.	Total
68.6	22.4	20.0	111.0	17.2	5.6	0.0	22.8

136.5

133.8





Objetivos

- Mejorar
- Estudiar
- Modelar
- Desarrollar
- Garantizar
- Analizar
- Planificar
- Sintetizar

Lap Time Simulation (LTS)

- Destreza en la programación con el *software* MATLAB
- Comportamiento estático y dinámico de un vehículo de competición
- Sistemas dinámicos que describen el movimiento del vehículo
- Programación entendible y eficiente con un flujo de trabajo lógico
- Herramienta válida y fiable para una mejor toma de decisiones
- Análisis gráfico y numérico del comportamiento del vehículo
- Trazabilidad de tareas y estudio de competencias del *software*
- Documentación realizada en LATEX

Futuro

Ingeniero de simulación en competición

TRABAJO FINAL DE GRADO

Grado de Ingeniería Mecánica

Convocatoria de Octubre 2020



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est



Muchas gracias por su atención

¿Demostración del LTS?



Autor: Manuel Montesinos del Puerto

Director/a: Yolanda Vidal Seguí

Departamento: Matemáticas - MAT