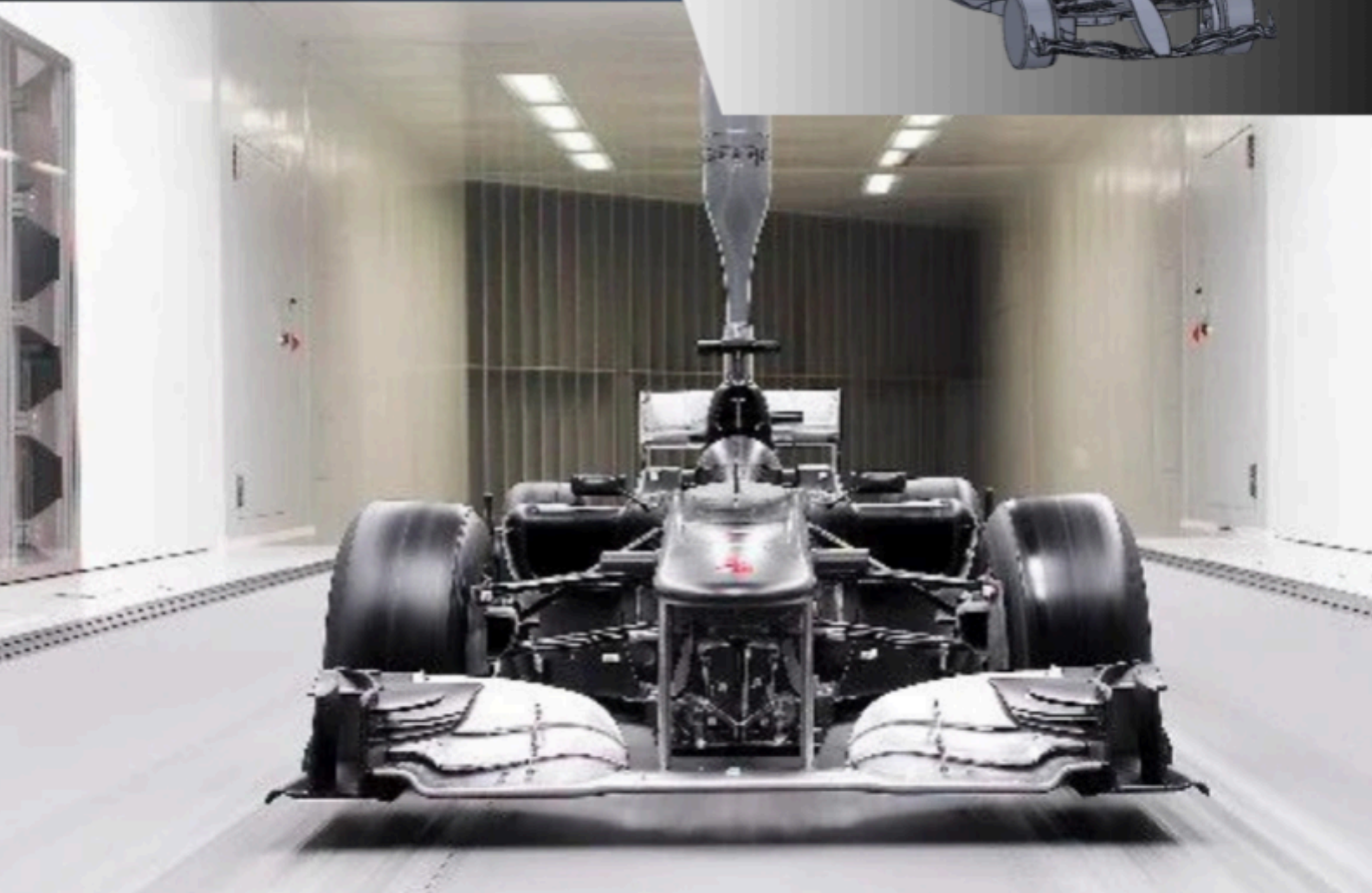
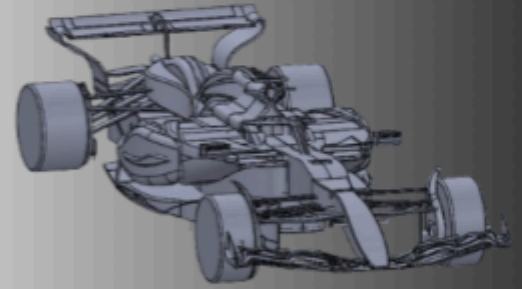




INSTITUT  
PUIG CASTELLAR  
SANTA COLOMA DE GRAMENET

# COM MILLORAR AERODINÀMICAMENT UN FÓRMULA 1 AMB LA REGLAMENTACIÓ TÈCNICA FIA 2024



**Autor: Enzo Senna Alonso**

**Grup: 101**

**Tutoria: Jaime Morcillo i Yolanda Gea Martínez**

**Data de lliurament: 15/11/2024**

**“No és tant una pressió externa apropa per les expectatives que pugui haver-hi posades en mi, sinó un instint intern el que em porta a fer les coses el millor que pugui”**

**-Adrian Newey-**



## RESUMEN

La Fórmula 1 es la mayor competición de motor del mundo. En esta diez equipos y veinte pilotos buscan alcanzar la gloria cada año sabiendo que solo uno de ellos se hará con el título.

Es por este motivo que cada año todas las escuderías invierten millones de euros en desarrollar sus coches para que sean los que den un mejor rendimiento dentro de la pista. En esta producción de los coches hay dos elementos clave; el motor y el diseño aerodinámico del monoplaza para hacer que el vehículo sea lo más estable posible y el piloto pueda tomar las curvas a una velocidad mayor que sus competidores para obtener el mejor tiempo.

Es por este motivo que en este trabajo se ha desarrollado el diseño de un Fórmula 1 desde cero, siguiendo la reglamentación técnica 2024 de la Federación Internacional de Automovilismo para el campeonato mundial de Fórmula 1. Así pues, se tratará de demostrar si alguien con ningún conocimiento sobre diseño 3D anterior, es capaz de diseñar un monoplaza con un mejor rendimiento aerodinámico que los que forman parte de la edición 2024 del campeonato mundial.

## **RESUM**

La Fórmula 1 és la major competició de motor del món. En aquesta deu equips i vint pilots cerquen assolir la glòria cada any sabent que només un d'ells es farà amb el títol.

És per aquest motiu que cada any totes les escuderies inverteixen milions d'euros en desenvolupar els seus cotxes per a que siguin els que proporcionin un millor rendiment dins de la pista. En aquesta producció dels cotxes hi ha dos elements clau; el motor i el disseny aerodinàmic del monoplaça per fer que el vehicle sigui el més estable possible i el pilot pugui fer els revolts a una velocitat major que els seus competidors.

És per aquest motiu que en aquest treball s'ha desenvolupat el disseny d'un Fórmula 1 des de l'inici, seguint la reglamentació tècnica del 2024 de la Federació Internacional d'Automobilisme per al campionat mundial de Fórmula 1. Així doncs, es tractarà de demostrar si algú amb cap coneixement sobre disseny 3D previ, és capaç de dissenyar un monoplaça amb un millor rendiment aerodinàmic que els que formen part de l'edició 2025 del campionat mundial.





## ABSTRACT

Formula 1 is the largest motor competition in the world. In this ten teams and twenty drivers seek to achieve glory each year knowing that only one of them will win the title.

It is for this reason that every year all teams invest millions of euros in developing their cars so that they provide the best performance on the track. In this production of cars there are two key elements; the engine and the aerodynamic design of the car to make the vehicle as stable as possible and the driver can take the curves at a higher speed than his competitors to obtain the best time.

It is for this reason that in this work the design of a Formula 1 has been developed from scratch, following the 2024 technical regulations of the International Automobile Federation for the Formula 1 world championship. Thus, it will try to demonstrate if someone with no knowledge about previous 3D design, is capable of designing a car with better aerodynamic performance than those that are part of the 2024 edition of the world championship.

## ÍNDEX

<b>1. INTRODUCCIÓ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. HIPÒTESI.....</b>	<b>2</b>
<b>3. LA FÓRMULA 1.....</b>	<b>3</b>
3.1 MUNDIAL DE CONSTRUCTORS I MUNDIAL DE PILOTS.....	7
3.1.1 CODI DE BANDERES I SANCIONS.....	11
3.2 HISTÒRIA DE LA FÓRMULA 1.....	12
3.2.1 La Fórmula 1 de la dècada dels 50.....	13
3.2.2 La Fórmula 1 de la dècada dels 60.....	13
3.2.3 La Fórmula 1 de la dècada dels 70.....	14
3.2.4 La Fórmula 1 de la dècada dels 80.....	15
3.2.5 La Fórmula 1 de la dècada dels 90.....	15
3.2.6 La Fórmula 1 de la dècada dels 2000.....	16
3.2.7 La Fórmula 1 de la dècada dels 2010.....	18
3.2.8 La Fórmula 1 de la dècada dels 2020.....	18
3.3 ELS COTXES DE FÓRMULA 1.....	18
3.4 EVOLUCIÓ HISTÒRICA DELS F1.....	25
3.4.1 Els F1 de la dècada dels 50.....	26
3.4.2 Els F1 de la dècada dels 60.....	27
3.4.3 Els F1 de la dècada dels 70.....	28
3.4.4 Els F1 de la dècada dels 80.....	29
3.4.5 Els F1 de la dècada dels 90.....	31
3.4.6 Els F1 de la dècada dels 2000.....	32
3.4.7 Els F1 de la dècada dels 2010.....	33
3.4.8 Els F1 de la dècada dels 2020.....	34
<b>4. L'AERODINÀMICA.....</b>	<b>35</b>
4.1 FLUX LAMINAR.....	35
4.2 FLUX TURBULENT.....	36
4.3 VÒRTEX.....	36
4.4 CAPA LÍMIT.....	37
4.5 DOWNFORCE.....	38
4.6 DRAG.....	39
4.7 PRINCIPI DE BERNOULLI.....	40
4.8 EFECTE DE VENTURI.....	41
4.9 EFECTE OUTWASH.....	41
4.10 EFECTE INWASH.....	41
<b>5. L'AERODINÀMICA A LA F1.....</b>	<b>42</b>
5.1 ALETINS.....	42
5.2 ALERÓ DAVANTER.....	42
5.3 NAS.....	43
5.4 GEOMETRIA DE SUSPENSÍO I SISTEMA DE REFRIGERACIÓ DELS FRENS.....	44
5.5 RETROVISORS I HALO.....	45

5.6 CANALS DE VENTURI.....	46
5.7 PONTONS I COBERTA MOTOR.....	46
5.8 SÒL.....	47
5.9 GENERADORS DE VÒRTEX.....	48
5.10 DIFUSOR.....	49
5.11 ALA POSTERIOR I BEAM WINGS.....	50
<b>6. REVOLUCIONS AERODINÀMIQUES A LA F1.....</b>	<b>50</b>
6.1 PRIMERES ALES.....	51
6.2 DISSENY AMB FORMA D'AMPOLLA DE COCA COLA.....	51
6.3 XASSÍS EN FORMA DE "V".....	52
6.4 SUSPENSIO ACTIVA.....	52
6.5 MASS DAMPER.....	53
6.6 DOBLE DIFUSOR.....	54
6.7 SISTEMA D'ESCAPAMENT BUFAT.....	55
6.8 ALETA DE TAURÓ I CONDUCTE "F".....	56
6.9 CONDUCTES VERTICALS EN ELS PONTONS.....	57
<b>7. PROCÉS D'ELABORACIÓ D'UN DISSENY AERODINÀMIC.....</b>	<b>58</b>
7.1 DISSENY 3D DEL VEHICLE.....	58
7.2 PROVES EN CFD.....	59
7.3 PROVES EN SIMULADOR.....	62
7.4 PROVES EN TÚNEL DE VENT.....	63
7.5 PROVES EN PISTA.....	65
<b>8. DISSENY AERODINÀMIC D'UN F1 PROPI.....</b>	<b>67</b>
8.1 DISSENY DEL MONOCASC I XASSÍS.....	67
8.2 NAS I ALERÓ DAVANTER.....	68
8.3 RECOBRIMENT D'ELEMENTS DE SUSPENSIO I RODES.....	69
8.4 ENTRADES LATERALS DE REFRIGERACIÓ AL MOTOR.....	71
8.5 CANALS DE VENTURI I GENERADOR DE VÒRTEX.....	71
8.6 PONTONS.....	72
8.7 ALERÓ POSTERIOR.....	73
8.8 SÒL DEL VEHICLE.....	74
8.9 RETROVISORS.....	75
<b>9. PROCÉS DE DISSENY D'UN FÓRMULA 1 PROPI.....</b>	<b>76</b>
9.1 EL PROGRAMA SOLIDWORKS.....	76
9.2 DISSENY DEL MONOCASC I XASSÍS.....	76
9.3 NAS I ALERÓ DAVANTER.....	77
9.4 DISSENY DEL ROLL-HUB I PONTONS.....	79
9.5 DISSENY DE L'ALA POSTERIOR, BEAM WINGS I COKE PANEL.....	81
9.6 DISSENY DE LA GEOMETRIA DE SUSPENSIO, RECOBRIMENT DE LES RODES I CONDUCTES DE REFRIGERACIÓ DELS FRENS.....	82
9.7 DISSENY DEL SÒL, CONDUCTES DE VENTURI, GENERADOR DE VÒRTEX I DIFUSOR.....	83
9.8 DISSENY DE RETROVISORS I HALO.....	84
<b>10. PROVES EN CFD.....</b>	<b>85</b>

<b>11. IMPRESSIÓ DEL MODEL 3D.....</b>	<b>89</b>
<b>12. PROVES AERODINÀMIQUES AMB FILS.....</b>	<b>91</b>
<b>13. CONCLUSIONS.....</b>	<b>93</b>
<b>14. AGRAÏMENTS.....</b>	<b>96</b>
<b>15. WEBGRAFIA I BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>97</b>
<b>I. HISTÒRIA DE LA F1.....</b>	<b>101</b>
I.I Sistema de puntuació de la dècada del 1950.....	101
I.II Sistema de puntuació de la dècada del 1960.....	101
I.III Sistema de puntuació del 1991.....	102
I.IV Sistema de puntuació del 2003.....	102
I.V Sistema de puntuació del 2010.....	102
I.VI Sistema de puntuació del 2019.....	102
I. VII Conflicte FISA-FOCA.....	102
I.VIII Rivalitat Senna-Prost.....	104
I.IX Rivalitat Alonso-Hamilton.....	107
<b>II. ELS F1 AL LLARG DE LA HISTÒRIA.....</b>	<b>108</b>
II.I Motors a la dècada dels 50.....	108
II.II Motors a la dècada dels 60.....	109
II.III Motors a la dècada dels 70.....	109
II.IV Motors a la dècada dels 80.....	109
II.V Motors a la dècada dels 90.....	110
II.VI Motors a la dècada dels 2000.....	111
II.VII Motors a la dècada dels 2010.....	111

## 1. INTRODUCCIÓ

La Fórmula 1 és una de les competicions esportives més conegudes de tot el món. Tenint aquesta més de 70 milions d'espectadors darrere del televisor cada cap de setmana de Gran Premi donant suport als seus equips i pilots favorits mentre aquests arrisquen les seves vides circulant a velocitats que en molts casos superen els 200 Km/h en revolts de gran velocitat a la recerca de la glòria, tot tenint en compte, que una mil·lèsima de segon pot suposar l'èxit o el fracàs.

Personalment, considero que estic dins d'aquest grup de persones, és per aquest motiu que quan es va donar l'oportunitat de realitzar un treball de lliure elecció vaig escollir un tema relacionat amb els monoplaques de Fórmula 1.

La principal raó per estudiar a fons aquest àmbit de l'automoció ha estat el meu objectiu de ser algun dia director tècnic de la que considero que és la millor escuderia de tots els temps, Ferrari,—el meu ídol en l'àmbit de l'enginyeria d'automoció, Adrian Newey<sup>1</sup> (tot i que mai ha treballat per a Ferrari), assumeix aquest rol en Red Bull i perquè sempre m'ha fascinat la idea de (participar en el disseny d'un fórmula 1). Abans de realitzar aquest treball, des de que tenia l'edat de dotze anys he estat en un constant procés de recerca sobre les característiques que ha de tenir un bon enginyer de Fórmula 1 i de com aquest pot entrar en un món tan complex. En la gran majoria de fonts que he consultat, destaca una característica en especial, que és la passió pel món del motor. Aquesta ha format part de la meua personalitat des de que tinc consciència, gràcies a la pel·lícula *Cars* i al meu ídol Fernando Alonso Diaz del qual vaig poder gaudir de les seves heroicitats en l'escuderia "d'Il Cavalino Rampante", les quals van provocar una adoració per la marca italiana que fins i tot va fer que avui dia el color vermell continuï sent el meu color favorit. Durant el procés de selecció d'enginyers els equips busquen a personal el qual demostrï una gran afició per aquest món, és per aquest motiu que he considerat que realitzar un treball de temàtica lliure sobre aquest àmbit de la tecnologia pot resultar molt beneficiós en un futur a l'hora de ser escollit en una escuderia .

És per aquests motius que he decidit que el subjecte d'interès d'aquest tema sigui l'elaboració pròpia d'un disseny 3D mitjançant el programa "SolidWorks" d'un monoplaça de la temporada 2024, seguint a més la reglamentació tècnica oficial imposada per la Federació Internacional d'Automobilisme (FIA), en el qual jo pugui il·lustrar totes les meves idees i coneixements respecte a la matèria per tal de intentar millorar el rendiment aerodinàmic dels actuals equips que conformen la graella de la Fórmula 1.

---

<sup>1</sup>(26 de desembre de 1958) és un enginyer britànic. Ha treballat tant en Fórmula 1 com en IndyCar com a enginyer de cursa, enginyer d'aerodinàmica, dissenyador i director tècnic, aconseguint èxits en ambdues categories.

A més aquest model serà posteriorment provat en simulacions de comportament de l'aire sobre el cotxe amb el programa "SolidWorks". Aquesta estarà recolzada per una prova en la qual mitjançant un ventilador i fils de lana adherits a la superfície del prototip, poder observar el comportament del flux aerodinàmic arran el vehicle.

## 2. HIPÒTESI

L'objectiu dels enginyers dels diferent deu equips de la graella cada temporada consisteix en optimitzar el rendiment dels seus monoplaces constantment per obtenir així millores en el rendiment i en el comportament del vehicle per tal d'obtenir els millors resultats possibles. I aquest serà també l'objectiu plantejat en aquest treball. Evidentment, en el cas de les escuderies les eines utilitzades són molt més complexes i desenvolupades que les utilitzades en aquest document.

Degut a aquest aspecte, em plantejaré la següent hipòtesi:

***És possible realitzar i imprimir un disseny 3D d'un automòbil de Fórmula 1, el qual segueix i respecta la normativa tècnica establerta per la FIA i que a més presenta unes característiques aerodinàmiques millors que la dels cotxes presents en la temporada 2024, sense haver tingut una experiència anterior en aquest àmbit de l'enginyeria ?***

Per validar o refutar aquesta afirmació, realitzaré una maqueta d'un fórmula 1 pròpia, mitjançant el programa "SolidWorks". aquesta part pràctica estarà recolzada per una part teòrica en la qual es descriuen conceptes com la Fórmula 1 i els seus monoplaces, l'aerodinàmica i la seva aplicació en aquest esport, així com el procés de disseny d'un fórmula 1 i la reglamentació tècnica a seguir.

S'intentarà obtenir una resposta verídica a les següents preguntes plantejades, al final del projecte:

- És possible realitzar un cotxe més ràpid que els dels equips, sense cap experiència prèvia?
- Com afecta el disseny aerodinàmic al comportament del vehicle?
- Com es poden generar vòrtex aerodinàmics?
- Com interpretar una pràctica de CFD?

### **3. LA FÓRMULA 1**

El campionat del món de Fórmula 1 és el major esdeveniment en el món del motor. Aquest consisteix en una sèrie de 24 Grans Premis (al 2024, el nombre d'events pot variar amb el pas dels anys) arreu del món en els quals els vint pilots de la graella (els quals estan repartits en deu escuderies diferents, tenint cadascuna dos corredors) intenten sumar la major quantitat de punts possibles.

Els grans premis tenen una durada de tres dies. En els que es disputen tres sessions d'entrenaments lliures que serveixen als equips per adaptar els seus monoplaques al traçat mitjançant simulacions de classificació i carrera en les que es modifica la configuració del vehicle per a que el pilot estigui còmode amb el comportament del cotxe. Posteriorment, hi ha una sessió de classificació que determina l'ordre de sortida de la cursa. Per últim, es disputa la carrera que és l'única activitat en pista que otorga punts. Aquestes proves tenen lloc de la següent manera durant el cap de setmana de Gran Premi:

Divendres:

- Entrenaments lliures 1 (FP1): Els quals es realitzen durant el matí i tenen una durada d'una hora.
- Entrenaments lliures 2 (FP2): Aquests són realitzats durant la tarda i tenen la mateixa durada que la primera sessió. Sol ser molt important pels equips a l'hora de configurar el vehicle ja que acostuma a ser a la mateixa hora que la carrera. Les condicions de pista venen principalment determinades pel vent i la temperatura tant de l'ambient com de l'asfalt i acostumen ser iguals que les que es troben en l'última prova del cap de setmana.

Dissabte:

- Entrenaments lliures 3 (FP3): Es realitzen durant el matí i la duració és la mateixa que la de les sessions anteriors. És molt propi d'aquesta que els pilots circulin amb gran delicadesa i precaució degut al poc temps restant per a la classificació. Un accident que suposés un gran temps de reparació durant aquesta prova podria suposar no disputar la següent.
- Classificació: és disputada durant la tarda i es divideix tres sessions les quals són:
  - Classificació 1 (Q1): Té una durada de 18 minuts. durant aquesta primera part els pilots intenten marcar un temps que estigui dins de les quinze marques més ràpides, degut a que s'eliminen els últims cinc



corredors. Cal recalcar que el temps d'aquests pilots eliminats determina el seu ordre en la graella de sortida.

- **Classificació 2 (Q2):** Durant els quinze minuts que té lloc aquesta sessió, els pilots intenten marcar un temps que estigui en els deu primers, ja que com en l'anterior, els cinc últims queden eliminats.
- **Classificació 3 (Q3):** És l'única part de la classificació en la qual no hi ha pilots eliminats, els deu corredors restants intenten en dotze minuts marcar el millor temps per aconseguir el primer lloc a la graella de sortida el dia de la carrera, o com es sol conèixer més a aquesta fita; obtenir la *pole*.  
És important aclarir que es tracta de la marca realitzada en dita sessió, no de la classificació en conjunt, és a dir, obtenir el millor temps de tota la prova classificatòria a la Q2 no garantitza sortir primer a la carrera, si no que això és determinat per la marca realitzada a la Q3.

Diumenge:

És el dia més important de tot el cap de setmana ja que és el dia en el qual es disputa la carrera, i per tant, la jornada en la que es reparteixen els punts. aquests són donats de la següent forma segons la posició finalitzada (només es poden obtenir en cas de finalitzar entre els deu primers):

- Primer lloc: 25 punts.
- Segon lloc: 18 punts.
- Tercer lloc: 15 punts.
- Quart lloc: 12 punts.
- Cinquè lloc: 10 punts.
- Sisè lloc: 8 punts.
- Setè lloc: 6 punts.
- Vuitè lloc: 4 punts.
- Novè lloc: 2 punts.
- Desè lloc: 1 punt.

A més hem de comptar amb que si un pilot acaba dins de les deu primeres posicions (desena inclosa) i aconseguix la volta més veloç de carrera suma un punt més.

La durada de la carrera ve definida per les voltes que la FIA determini com adequades; però tot i que el nombre d'aquestes varia per circuit (degut a que hi ha traçats més llargs que d'altres) la durada mitjana de la prova sol estar entorn als 90 minuts. A més, la durada màxima d'aquesta és de dues hores, en cas de que aquest

temps es prevegi que sigui excedit, el director de carrera anul·la les voltes restants i la carrera finalitza un cop s'arribi al límit disputat.

<b>DISPOSICIÓ DEL GRAN PREMI</b>			
	<b>DIVENDRES</b>	<b>DISSABTE</b>	<b>DIUMENGE</b>
<b>MATÍ</b>	Entrenaments lliures 1 (FP1): 60 minuts.	Entrenaments lliures 3 (FP3): 60 minuts.	
<b>TARDA</b>	Entrenaments lliures 2 (FP2): 60 minuts.	Classificació: -Q1: 18 minuts. -Q2: 15 minuts. -Q3: 12 minuts.	Carrera: Durada determinada pel nombre de voltes, però sol durar uns 90 minuts.

**Taula 1.** Gran Premi. Taula propia.

És de vital importància explicar que aquest format de cap de setmana varia de forma dràstica durant els Grans Premis en els quals hi ha proves *sprint* (sis en el 2024: el Gran Premi de la Xina, Gran Premi de Miami, Gran Premi d'Àustria, Gran Premi dels Estats Units, Gran Premi de Brasil, Gran Premi de Qatar) en els quals es disputen dues carreres i el format és el següent:

**Divendres:**

- Entrenaments lliures 1 (FP1): Tot i no presentar cap diferència en el moment del dia en que són realitzats, ni en la duració de la sessió, aquests són de vital importància degut a què és l'única prova que poden fer tant pilots com equips en tot el cap de setmana. Això suposa una gran dificultat pels enginyers de les escuderies a l'hora de configurar els vehicles.
- Classificació *sprint (sprint shootout)*: Aquesta és la prova que determina l'ordre de sortida a la carrera *sprint* del dissabte. Continua amb el format de tres fases classificatòries, tot i que alterant la durada, sent de dotze minuts la Q1, deu la Q2 i vuit la Q3. A més hi ha restriccions dels pneumàtics que es poden utilitzar en cada sessió, on només es podran fer servir les gomes mitjanes a la Q3 i a la Q2 i les rodes toves a la Q3,

**Dissabte:**

- Carrera *sprint*: És la primera cursa del cap de setmana. La duració és menor ja que no és l'event principal del cap de setmana, sent aquesta d'una distància d'uns cent quilòmetres suposant un temps d'uns trenta minuts. També és la primera sessió en la que es reparteixen punts, tot i que la

quantitat és menor respecte a la carrera del diumenge. Els punts són atorgats de la següent manera (cal tenir en compte que si un pilot finalitza dins de la zona de puntuació i fa la volta ràpida de la *sprint*, obté un punt extra):

- 1ra posició: 8 punts.
  - 2na posició: 7 punts.
  - 3ra posició: 6 punts.
  - 4ta posició: 5 punts.
  - 5na posició: 4 punts.
  - 6na posició: 3 punts.
  - 7na posició: 2 punts.
  - 8na posició: 1 punts.
- Classificació: No queda modificada respecte als altres Grans Premis

Diumenge:

- Carrera: Aquesta no es modificada en comparació amb la resta de proves del campionat.

<b>DISPOSICIÓ DEL GRAN PREMI AMB <i>SPRINT</i></b>			
	<b>DIVENDRES</b>	<b>DISSABTE</b>	<b>DIUMENGE</b>
<b>MATÍ</b>	Entrenaments lliures 1 (FP1): 60 minuts.	Carrera <i>sprint</i> : 100 Km (entorn als 30 minuts)	
<b>TARDA</b>	<i>Sprint shootout</i> : -Q1: 12 minuts. -Q2: 10 minuts. -Q3: 8 minuts.	Classificació: -Q1: 18 minuts. -Q2: 15 minuts. -Q3: 12 minuts.	Carrera: Durada determinada pel nombre de voltes, però sol durar uns 90 minuts.

**Taula 2.** Gran Premi amb sprint. Taula propia.

### 3.1 MUNDIAL DE CONSTRUCTORS I MUNDIAL DE PILOTS

Com s'ha dit anteriorment, durant els diferents Grans Premis de l'any tant equips com pilots intenten sumar la major quantitat de punts per tal d'obtenir el títol mundial. Així doncs cal tenir en compte el fet de que es disputen dos campionats als mateix moment, els quals són:

- Mundial de pilots: Aquest títol és el que determina qui ha estat el pilot més constant de l'any per haver sumat la major quantitat de punts durant el campionat dels vint que hi participen. A més el campió, tot i que la F1 no li otorga cap compensació econòmica, sol rebre grans quantitats econòmiques per part dels bons del contracte amb el seu equip per haver aconseguit dita fita i per part de nous patrocinadors. Cal recalcar que en moltes ocasions qui obté el mundial no és necessàriament el millor pilot d'aquest ja que factors com la diferència de rendiment entre monoplaques determinen sempre el campió tot i que hi hagi un altre pilot que hagi fet una temporada més meritòria. Durant els 74 anys d'història de la Fòrmula 1 hi ha hagut un total de 34 campions del món sent l'últim el neerlandès Max Verstappen (1). Per últim, el ser campió permet al conductor portar el número 1 al monoplaça durant la següent temporada.
- Mundial de constructors: Tot i ser oblidat per molts dels fanàtics, a l'hora seguir la competició, aquest té un pes molt elevat dins de la Fòrmula 1, ja que és el títol que determina quina ha estat la millor escuderia durant l'any i per tant, en la majoria de les ocasions, el millor cotxe de la temporada. Com és evident, pels equips aquest és de vital importància, sent inclús més important que el de pilots (el qual és molt més reconegut pel públic), degut a que la competició atorga una quantitat de diners majors al campió per haver aconseguit dita fita. A més aquest obté molts més patrocinadors i en cas de que el constructor també sigui un fabricant de vehicles de carrer (com ara Mercedes-Benz) aquest fet es veu reflectit en les seves vendes.

Els deu equips (i els seus dos pilots i dorsals d'aquests) que formen la graella i aspirants a aquest títol són:

- Oracle Red Bull Racing: L'equip austríac que compta amb un total de sis campionats d'escuderies (2010, 2011, 2012, 2013, 2022 i 2023). Defensarà el títol per segon any consecutiu amb el monoplaça dissenyat per l'enginyer anglès, Adrian Newey, l'RB20, el qual és una revolució del model de l'any passat. Aquest ha presentat grans novetats en l'àrea dels pontons el quals ara tenen una funció estrictament aerodinàmica i en el disseny aerodinàmic de la coberta motror, tractant de millora el que Mercedes va



voler integrar al 2023 en el W14. A més compten amb el tricampió (2021, 2022, 2023) i actual campió del món el neerlandès Max Verstappen (1) i el mexicà Sergio "Checo" Pérez (11). Tots dos, a les ordres dels dos màxims representants de l'equip Christian Horner (cap de l'equip) i Helmut Marko (asesor principal de l'escuderia).

- Mercedes-AMG PETRONAS Formula One Team: L'equip alemany va a la recerca de sumar un títol més als vuit que ja té en la seva col·lecció (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 i 2021), per fer-ho l'equip dirigit per l'austríac Toto Wolff ha dissenyat el W15 en el qual el director tècnic, James Allison, ha pogut implementar un aleró davanter que intenta crear un vòrtex (remolí de vent) similar al Y250 que generaven les ales de l'anterior normativa el qual desplaça l'aire a l'exterior dels pneumàtics davanters per evitar protuberàncies a la part posterior. Aquest serà conduït per l'heptacampió del món (2008, 2014, 2015, 2017, 2018, 2019, 2020) el britànic Lewis Hamilton (44) el qual té el millor palmarès de la història de l'esport i el jove anglès George Russell (63) i campió de la Fórmula 2 a l'any 2018.
- Scuderia Ferrari: L'equip italià és l'únic que ha disputat totes les edicions del campionat. A més és el més llorejat de la història tenint en el seu poder setze campionats del món de constructors (1961, 1964, 1975, 1976, 1977, 1979, 1982, 1983, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2007 i 2008). Després de setze anys de sequera guanyadora, els de Maranello continuen a la recerca del títol amb l'SF-24 dissenyat per Enrico Cardile el qual sembla ser una gran millora del model anterior, el SF-23. El monegasc Charles Leclerc (16) i el madrileny Carlos Sainz Jr. (55) seran els encarregats de conduir el monoplaça. Tots dos dirigits pel francès Frédéric Vasseur (cap de l'equip)
- McLaren F1 Team: L'equip anglès amb base en Woking compta amb vuit mundials de constructors (1974, 1984, 1985, 1988, 1989, 1990, 1991, 1998) i aquest any busca el novè amb el seu MCL38 pilotat per Lando Norris (4) i Oscar Piastri (81). L'escuderia està liderada per Zack Brown (CEO de l'equip), Andrea Stella (cap de l'equip) i el reputat Rob Marshall en l'àrea tècnica.
- Aston Martin Aramco F1 Team: L'equip amb base en Silverstone (Regne Unit) intentarà aconseguir el seu primer mundial de constructors amb l'AMR24 dissenyat per Dan Fallows. Aquest serà conduït pel campió del món en els anys 2005 i 2006 Fernando Alonso (14) i Lance Stroll (18). L'equip estarà sota les ordres del luxemburguès Mike Crack, tot i que el propietari de l'equip és el canadenc Lawrence Stroll (pare de Lance Stroll).



- BWT Alpine F1 Team: L'escuderia que fins l'any 2020 es deia Renault F1 Team i que va ser campiona de constructors als anys 2005 i 2006, va a la recerca del seu tercer mundial amb l'A524 dissenyat per David Sánchez. L'equip francès disposa al volant als dos pilots francesos Pierre Gasly (10) i Esteban Ocon (31). Tots dos estaran sota el mandat de Bruno Famin.
- Williams Racing: L'equip anglès compta amb 9 mundials de constructors en el seu palmarès (1980, 1981, 1986, 1987, 1992, 1993, 1994, 1996, 1997) sent el segon amb més campionats i busca apropar-se a la zona alta de la classificació amb el seu FW46 dissenyat per Pat Fry. Aquest serà pilotat per l'anglès Alexander Albon (23) i l'americà Logan Sargeant (2). Per últim el cap de l'escuderia és James Vowles.
- Visa Cash App RB Formula One Team: L'equip amb base en la ciutat italiana de Faenza és l'equip "B" de Red Bull, ja que la responsabilitat d'escollir els pilots que condueixen per l'escuderia recau en l'equip de begudes energètiques, a més les peces dels seus cotxes són produïdes i dissenyades per l'empresa Red Bull Technologies que també fa els components de l'actual campió de constructors. Els seus pilots són el japonès Yuki Tsunoda (22) i l'australià Daniel Ricciardo (3). Per últim, qui dirigeix l'equip és el francès Laurent Mekies.
- Stake F1 Team Kick Sauber: L'equip amb base en Suïssa té com a objectiu dominar la zona mitjana de la classificació, per fer-ho compten amb el Sauber C44 dissenyat per James Key. Els seus pilots són el finlandès Valtteri Bottas (77) i el xinès Guanyu Zhou (24). A més l'equip compta amb un nou cap d'equip Alessandro Alunni Bravi, i amb una nova directiva encapçalada pel CEO Andrea Seidl.
- MoneyGram Haas F1 Team: L'equip Americà de Gene Haas ha construït el VF-24 dissenyat per Rob Taylor per tractar de millorar la decepcionant última posició en el mundial de constructors que van obtenir al 2023. També hi ha hagut canvis en la direcció de l'equip per revertir la situació sent Ayao Komatsu el nou cap de l'equip. Els seus pilots són el danès Kevin Magnussen (20) i l'alemany Nico Hulkenberg (27).

Per als equips tots dos títols són importants degut a les compensacions econòmiques rebudes, però normalment el títol de constructors és més important que el de pilots degut a que dona un major estatus a la marca, sobretot quan aquesta és productora de vehicles de carrer, i una major retribució econòmica per

part de la competició y de patrocinadors, tot i que aquesta regla canvia únicament quan un dels seus pilots és campió del món.

Les compensacions econòmiques per part de la Fórmula 1 segons la posició en el mundial d'escuderies són les següents (dades del 2023; font: <https://www.dazn.com/es-ES/news/motor/cuanto-paga-equipo-por-correr-f1/fhfwx5o47d01181hrqj733b00>):

<b>POSICIÓ EN EL MUNDIAL</b>	1ra posició	2na posició	3ra posició	4ta posició	5na posició	6na posició	7na posició	8na posició	9na posició	10ma posició
<b>PREMI</b>	140 milions de dòlars	131 milions de dòlars	122 milions de dòlars	113 milions de dòlars	104 milions de dòlars	95 milions de dòlars	87 milions de dòlars	78 milions de dòlars	69 milions de dòlars	60 milions de dòlars

**Taula 3.** Premis segons posició, Taula propia.

Cal afegir que tot i que reben una retribució a final de temporada els equips han de pagar a la competició per participar-hi, aquesta quota consta d'un import fix del valor de 657.637 dòlars a aquesta s'hi sumen 7.893 dòlars per punt aconseguit durant la temporada anterior.

Les quotes pagades per cada equip per competir en 2024 han estat:

<b>EQUIP</b>	<b>IMPORT PAGAT (en dòlars)</b>
Oracle Red Bull Racing	7.445.817
Mercedes-AMG PETRONAS Formula One Team	3.347.012
Scuderia Ferrari	3.327.287
McLaren F1 Team	2.643.487
Aston Martin Aramco F1 Team	2.498.837
BWT Alpine F1 Team	1.446.837
Williams Racing	841.937
Visa Cash App RB Formula One Team (Alpha Tauri al 2023)	822.212
Stake F1 Team Kick Sauber (Alfa Romeo al 2023)	763.037
MoneyGram Haas F1 Team	736.737

**Taula 4.** Premis per equip. extreta de: <https://www.dazn.com/>



Per últim s'ha d'aclarir que la Fórmula 1 aplica aquestes normatives per evitar que hi hagi una gran diferència de recursos econòmics entre equips que posteriorment es reflexa en una gran desigualtat en pista. És per aquest motiu que també hi ha imposat un sostre pressupostari de 135 milions de dòlars.

### 3.1.1 CODI DE BANDERES I SANCIONS

En totes les sessions els pilots han de fer cas a les banderes mostrades pels comissaris de pista, aquestes són:

<b>BANDERES I EL SEU SIGNIFICAT</b>	
Bandera verda	Pista segura.
Bandera groga	Perill en pista.
Bandera vermella	Es para la sessió i tots els vehicles a boxes
Bandera blava	Cedir el pas a un vehicle més ràpid
Bandera blanca	Vehicle excessivament lent en pista
Bandera groga amb tres ratlles vermelles	Pista relliscosa
Bandera blanca i negra	Advertència per conducta inadequada
Bandera negra amb un cercle taronja	El vehicle a de passar per boxes per ser reparat
Bandera negra	Desqualificació
Bandera de quadres	Final de la sessió

**Taula 5.** Banderas i el seu significat, Taula propia.

També s'ha de tenir en compte el concepte de *Safety Car* (SC) i *Virtual Safety Car* (VSC). El primer succeeix quan hi ha un accident i aquest posa en risc la seguretat de la resta dels pilots, així doncs surt un cotxe esportiu de carrer (en alguns grans premis és l'Aston Martin Vantage F1 Edition de 535 CV i en altres el Mercedes AMG GT-R Black Series de 730 CV) que reagrupa a tots els vehicles fent que vagin més lent i per tant evitar accidents mentre es neteja la pista. El VSC, en canvi, surt quan hi ha un accident i aquest no posa massa en risc la seguretat dels pilots. Així doncs, aquest consisteix en que no surt cap vehicle exterior com passa al SC però els pilots han de fer un temps més lent o igual que el que se'ls marca a la pantalla del volant que és un 40% més lent que una volta normal. Cal recalcar que tots dos esdeveniments venen precedits per una doble bandera groga en la que els pilots han de disminuir la velocitat en la zona en la que es mostra.



També hem de tenir en compte que si els pilots fan accions en contra del reglament se'ls poden aplicar diferents sancions:

- Sanció de 5 segons: S'afegeixen cinc segons al pilot sancionat, tot i que si para en boxes està obligat a estar cinc segons sense que els mecànics toquin el cotxe i en cas de no ser complida correctament s'estableix un altre de deu segons. Hem de tenir en compte que a més es poden imposar d'aquest tipus de 10, 15 i 20 segons.
- *Drive through*: Consisteix en que el pilot penalitzat passi pel *pit-lane* sense parar en la caixa de boxes.
- *Stop and go*: Aquesta és compleix passant pel *pit-lane*, parar en la caixa de boxes el temps que determini direcció de carrera, que poden ser cinc o deu segons, sense que els mecànics toquin el vehicle en cap moment i un cop passat aquest temps el monoplaça torni una altra vegada a pista.
- Desqualificació: Consisteix en que un cotxe queda eliminat de la carrera.

A més d'aquestes també es poden aplicar sancions que afectin a la posició de sortida en cas de que la infracció hagi estat realitzada en la classificació o que aquesta sigui un accident que deixi fora a l'infractor qui rebrà una sanció per a la pròxima carrera. També es poden aplicar sancions econòmiques tant a pilots com equips i resta de punts de la super llicència (aquesta té 12 i en cas de que siguin tots eliminats el pilot es perdrà una carrera).

## 3.2 HISTÒRIA DE LA FÓRMULA 1

La primera carrera de cotxes es va disputar per primera vegada el 22 de juliol de 1894. Aquesta era la prova París-Rouen que consistia en una cursa de 126 Km.

Posteriorment, arribarien carreres mítiques com les 500 milles d'Indianapolis corregudes per primera vegada el 30 de maig del 1911 o les 24 hores de Le Mans celebrades per primer cop el cap de setmana del 26 i 27 de juny del 1923.

Però, no va ser fins el 13 de maig de 1950 que es va disputar la primera carrera de Fórmula 1 de la història en el circuit britànic de Silverstone, prova que va guanyar Giuseppe Farina al volant d'un dels monoplaques més dominants i mítics de la competició, l'Alfa Romeo 158 Alfetta. Més tard acabaria sent el campió d'aquella temporada després d'haver guanyat tres de les set proves que van tenir lloc.

### 3.2.1 La Fórmula 1 de la dècada dels 50

Durant aquest temps va brillar la figura de l'argentí Juan Manuel Fangio, qui guanyaria cinc campionats mundials (1951 amb Alfa Romeo, 1954 amb Maserati i Mercedes, 1955 amb Mercedes, 1956 amb Ferrari i 1957 amb Maserati) en una època en la que les morts ocasionades per accidents eren molt habituals (entre el 1950 i el 1958 van morir dotze pilots). Aquesta fita i el fet de que va ser campió per primera vegada a l'edat de 40 anys en la que molts pilots es retiren, conservant una gran capacitat d'adaptació als diferents vehicles que va conduir, fan que sigui considerat un dels millors corredors de la història. Cal recalcar, que al contrari de molts pilots de l'època ell no disposava de recursos econòmics suficients per participar en la competició, però tot i així els equips el volien a les seves files.

Aquesta dècada inicial va permetre el primer podium d'Espanya en la competició durant el GP de Gran Bretanya del 1956 amb la segona posició del marquès Alfonso de Portago. Però, cal aclarir que va ser compartit amb el seu company d'equip Peter Collins (qui va tenir una averia) ja que li va cedir el seient del seu Ferrari D50 per a que l'anglès completés la prova i pogués puntuar.

### 3.2.2 La Fórmula 1 de la dècada dels 60

Durant els anys 60 hi van participar una gran quantitat de pilots mítics entre els quals es troben pilots com l'australià Jack Brabham campió als anys 1959, 1960 i 1966. A més continua sent fins ara l'única persona capaç de guanyar el mundial de pilots amb la seva pròpia escuderia i aconseguir durant la mateixa temporada el mundial de constructors com va fer ell al 1966 amb el BT19 de Brabham Racing Organization.

Un altre pilot molt llaurejat de l'època va ser el britànic Graham Hill que es va fer amb els mundials de 1962 i 1968. Fins avui dia continua sent l'únic pilot en tota la història de l'automobilisme en haver guanyat la triple corona que consisteix en vèncer les tres carreres més importants del món del motor que són: el Gran Premi de Mònaco de Fórmula 1 (1963, 1964, 1965, 1968 i 1968, fita que va fer que l'apodesin *Mr. Mònaco*) les 24 Hores de Le Mans (1972) i les 500 Milles d'Indianapolis (1966).

La Fórmula 1 també va poder gaudir de la participació de Jim Clark, que va guanyar els campionats de 1963 i 1965 de manera molt superior a la resta. Durant el segon mundial va disputar una carrera menys que la resta de pilots, el Gran Premi de Mònaco, ja que durant aquell cap de setmana va guanyar les . Tot i ser considerat

un dels millors pilots de la història de l'esport, va morir de manera tràgica el 7 d'abril de 1968 a l'edat de 32 anys al circuit alemany de Hockenheimring en un accident durant una carrera de Fórmula 2, que en aquell temps era una competència a part de la F1 en la que hi havia un nivell de pilotatge semblant al de la categoria reina en la que també hi participaven pilots com Graham Hill. Aquest malaurat accident que va patir el pilot Britànic és un clar indicatiu de la poca seguretat de l'època on fins i tot el pilot amb més victòries de Fórmula 1 de l'època amb 25 triomfs podia patir una col·lisió fatal. De fet el jove Jackie Stewart ja va començar una batalla al 1966 per fer que la seguretat dels monoplaques augmentés després d'un apartos accident que va tenir durant el Gran Premi de Bèlgica.

### 3.2.3 La Fórmula 1 de la dècada dels 70

Durant el 1970 la Fórmula 1 va tenir l'únic campió pòstum de la història, l'austriac Jochen Rindt qui va morir al Gran Premi d'Itàlia, a l'Autodromo Internazionale di Monza, a l'edat de 28 anys durant els entrenaments. Tot i l'accident fatal que va patir el seu seguidor més proper Jacky Ickx no va poder sumar els punts necessaris per superar a Rindt durant les quatre carreres restants.

Altre pilot que va marcar una època va ser el britànic Jackie Stewart qui va guanyar els mundials de 1969, 1971 i 1973. A més va batir el record de victòries de Jim Clark i es va posicionar com el pilot amb més triomfs de l'esport del moment amb 27.

També va destacar molt la figura d'Emerson Fittipaldi, el qual va ser campió del món en les temporades 1972 i 1974, a més va guanyar les 500 Milles d'Indianapolis en dues ocasions en 1989 i 1993.

Per últim, una altra gran figura és la de Niki Lauda qui va ser campió del món al 1975, 1977 i 1984.

Aquest a la temporada 1976 va patir un accident molt aparatós a la corva Bergwerk del Nürburgring durant una carrera en pluvia que ell va tractar suspendre prèviament, però no va tenir el recolzament de la resta de pilots. Durant l'accident va estar aproximadament un minut dins del cotxe en flames, però milagrosament va poder sobreviure (tot i que amb seqüeles de per vida) i va tornar només sis setmanes després. Finalment va perdre el campionat, degut a que durant l'última prova del mundial, el Gran Premi de Japó, en el que tenia un avantatge de tres punts sobre James Hunt, el segon, es va retirar ja que les condicions de pista eren similars a les que hi havia en durant el Gran Premi d'Alemanya i Hunt va quedar campió.

Durant el final de la dècada es va produir el conflicte FISA-FOCA que va estar a prop de ser el final de la Fórmula 1 actual. Explicat a l'annex

### 3.2.4 La Fórmula 1 de la dècada dels 80

Els anys 80 són considerats per molts l'època daurada de la F1 juntament amb els inicis dels 90, degut a la qualitat dels pilots.

Un exemple és Gilles Villeneuve, qui no va ser campió del món ja que va morir en un terrible accident durant el Gran Premi de Bèlgica de 1982. Aquest a més era molt estimat per Enzo Ferrari, amistat que reflexa la qualitat del canadenc en pista.

També trobem figures com la del brasiler Nelson Piquet qui va ser campió en els anys 1981, 1982 i 1987.

A més, Niki Lauda qui es va retirar en 1978 va tornar en 1982 i va guanyar el seu últim mundial al 1984 per tan sol mig punt respecte al seu company d'equip Alain Prost.

Però de tot els anys 80 el que més resalta és la rivalitat entre Ayrton Senna i Alain Prost sent tots dos a McLaren. Explicat a l'annex.

### 3.2.5 La Fórmula 1 de la dècada dels 90

Senna va guanyar els títols del 1990 i 91. Però, aquest últim seria el final del domini de McLaren-Honda, ja que va arribar Williams amb el FW14B que va demostrar una gran dominància gràcies a la suspensió activa que va fer que Nigel Mansell fos el campió del 1992.

A la següent temporada va continuar el domini dels anglesos. Aquest cop Prost obtindria el seu últim campionat durant la seva última participació en el mundial.

El 1994 va significar un abans i un després en la seguretat de la F1. Durant les dos primeres carreres Senna, que havia fixat amb Williams (que ja no disposava de la suspensió activa ja que va ser prohibida degut a les peticions de Ferrari), estava lluitant amb el jove Michael Schumacher.

El brasiler va obtenir la *pole* en totes dues però no va acabar-ne cap. Van arribar a Imola i Senna estava obligat a guanyar per poder lluitar pel mundial, el dissabte va complir i va fer el millor temps. Però el més resaltable d'aquell dia va ser la malaurada mort del seu amic Roland Ratzenberger provocada per un fatal accident,

el qual no va ser l'únic, ja que durant el dia anterior Rubens Barrichello també va estar a prop de perdre la vida.

Degut a aquestes desgràcies, Ayrton Senna no volia participar en la carrera però ho va fer i malauradament després del rellançament del cotxe de seguretat va tenir un fatal accident a la corva del Tamburello que va provocar la seva mort.

Aquell és considerat com el Gran Premi maleït, però a partir d'aquell moment la F1 va treballar molt més a fons per millorar la seguretat dels pilots. Acte que va donar resultats ja que no va a haver-hi una víctima mortal durant un gran premi de F1 fins el Gran Premi de Japó del 2014.

El mundial del 94 l'acabaria guanyant Schumacher després de col·lisionar amb Damon Hill (fill de Braham Hill) en l'última prova del campionat a Austràlia després d'haver comès un error i reincorporar-se a la pista tancant totes les opcions d'avançament. L'alemany repetiria també al 95 però sense polèmica.

Al 1996, Williams va a tornar a guanyar i vam tenir per primera vegada un fill d'un campió del món sent campió amb el domini de Damon Hill.

Al 1997, es va produir un controversial final de mundial en el que el Ferrari de Schumacher va col·lisionar en el circuit de Jerez amb Jacques Villeneuve (fill de Gilles Villeneuve) i l'alemany es va quedar fora de carrera fent que el pilot canadenc només necessités acabar tercer. El pilot de Williams va ser campió i la FIA va desqualificar a Schumacher del mundial ja que els comisaris esportius van considerar que la col·lisió va ser a propòsit.

Durant el 98 i el 99 el dominador seria el finlandés Mika Hakkinen qui va batre a Michael Schumacher.

### 3.2.6 La Fórmula 1 de la dècada dels 2000

Durant els primers anys del 2000 trobaríem una de les majors hegemònies de la història de l'esport en la que Michael Schumacher i Ferrari es farien amb els mundials entre el 2000 i 2004, anys en els que el pilot alemany obtindria cinc mundials consecutius amb els que es va convertir en el pilot amb més mundials de la història amb set superant els cinc de Juan Manuel Fangio, aquesta fita va fer que fos sobrenomenat el *Kaiser*. Ferrari per altre banda guanyaria sis mundials de constructors consecutius (sumant el del 1999).



Al 2005 Fernando Alonso acabaria amb el domini de Ferrari i Michael Schumacher, al volant del Renault R25 que va guanyar el mundial de constructors.

Cal recalcar actuacions del pilot Asturià com ara la defensa que va fer contra Schumacher per obtenir la victòria durant tretze voltes al Gran Premi de San Marino amb un motor que disposava d'un cilindre averiat i que ocasionava grans pèrdues de potència. Tot i així va obtenir la seva tercera victòria consecutiva.

També va fer accions espectaculars com l'avançament per l'exterior que va fer al *Kaiser* a la corba 130R de Suzuka.

A més es va convertir en el primer espanyol de la història en guanyar un mundial de F1, com també va ser el primer en guanyar un Gran Premi quan ho va fer a Hongria al 2003 i en obtenir una *pole position* quan ho va fer a Malasia al 2003.

Al 2006 Alonso tornaria a ser campió després de tenir una intensa lluita tant dins com fora de la pista amb Ferrari, Michael Schumacher (qui es retiraria per tornar al 2010 amb Mercedes), i la FIA, organisme que li va imposar sancions un tant polèmiques com la rebuda a la classificació del Gran Premi d'Itàlia disputat a l'*Autodromo Internazionale di Monza* per supostament molestar a Massa (company de Schumacher) quan aquest feia la seva volta

Tot i això el V8 del Ferrari del *Kaiser* va trencar durant la penúltima carrera del mundial, a Japó que va possibilitar la victòria d'Alonso des de la cinquena posició i tot va quedar viu fins a Brasil, l'última carrera, en la que Alonso va ser campió.

El 2006 va ser un gran any per a la F1 en Espanya. Les audiències superaven els tres milions d'espectadors en cada carrera. A més Pedro Martínez de la Rosa va obtenir el seu únic podium al Gran Premi d'Hongria.

Al 2007 es va viure una de les majors rivalitats de la història. Aquesta va ser la que tenien el debutant Lewis Hamilton i el bicampió Fernando Alonso ambdós a McLaren, que va ser aprofitada pel pilot de Ferrari Kimi Raikkonen per guanyar el seu únic mundial amb un sol punt de diferència amb els dos de l'escuderia anglesa. Explicada a l'annex

Hamilton aconseguiria el seu primer títol al 2008 després d'avançar a Timo Glock qui marxava en 5 posició (la mínima que necessitava el britànic per ser campió) durant l'última volta del Gran Premi de Brasil.

Al 2009 Jenson Button guanyaria el seu únic mundial amb Brawn GP. Equip que va estar a punt de desaparèixer per la crisi econòmica del 2008 (quan era BAR-Honda)



el qual va comprar el seu cap d'equip Ross Brawn per tan sols una libra a més de fer-se responsable del gran deute que tenien.

Tot i així i no tenir patrocinadors van aconseguir guanyar el mundial de constructors també, una fita que semblava impossible.

### 3.2.7 La Fórmula 1 de la dècada dels 2010

Durant les primeres quatre temporades Red Bull va dominar la categoria obtenint els dos títols entre 2010 i 2013 amb Sebastian Vettel com a campió de pilots.

Aquesta hegemonia va acabar al 2014 quan es van establir els motors híbrids.

Mercedes va aprofitar molt bé aquest canvi de reglamentació obtenint vuit títols de constructors consecutius, sent la major hegemonia de la història, entre 2014 i 2021. També set de pilots tots obtinguts per Hamilton, (qui va apostar per Mercedes quan ningú creia en el potencial de l'equip alemany), menys al 2016 que el va guanyar el seu company d'equip Nico Rosberg (fill de Keke Rosberg).

Gràcies a la gran hegemonia de Mercedes, Hamilton va poder igualar a Schumacher en títols mundials i a més superar-lo en victòries (103 del britànic contra 91 de l'alemany), *poles* (104 contra 68) i podiums (197 de l'anglès sobre els 155 del *Kaiser*)

### 3.2.8 La Fórmula 1 de la dècada dels 2020

Max Verstappen va acabar amb l'hegemonia dels pilots Mercedes al 2021 quan va avançar a Hamilton en l'última volta d'aquell mundial a la corba cinc d'Abu Dhabi.

També va guanyar els títols de 2022 i 2023 amb el seu Red Bull que va guanyar també aquells dos mundials de constructors acabant amb el domini de Mercedes de manera definitiva.

## 3.3 ELS COTXES DE FÓRMULA 1

Actualment a la Fórmula 1 el monoplaça és la peça fonamental per obtenir l'èxit en la competició, és per això que per exemple en un equip podem trobar a 1000 persones posant tota la seva atenció i treball en un monoplaça.

Aquest està format per diversos elements:

- **Xassís:** Aquest és el primer element que es dissenya a l'hora de fabricar el vehicle i la seva importància és molt gran dins del comportament del mateix. Aquest té com a funció complementar-se amb la resta d'elements aerodinàmics per generar la màxima càrrega aerodinàmica. A més ha de ser el més lleuger possible per a que no interfereixi en la velocitat del monoplaça. Aquests estan fets en fibra de carboni, un material que destaca per la seva gran lleugeresa i capacitat d'absorbir impactes que el fan molt segur. Però garantir aquest efecte, a principi de temporada el xassís ha de passar unes proves de seguretat que consisteixen en xocs frontals i laterals per comprovar que les estructures d'impacte col·locades funcionen, ja que hem de tenir en compte que el monocasc o *cockpit* que és on es troba el pilot està dins d'aquest element.
- **Unitat de potència:** Aquesta es troba en la zona central posterior del vehicle, darrere del tanc de gasolina que és posterior al seient del pilot, per tenir un millor balanç de pes i que el comportament del monoplaça sigui el més estable possible i és l'encarregada de generar la potència que posteriorment serà enviada a les rodes per a que aquestes generin moviment.

Està formada pels següents components:

- **Motor de combustió interna (ICE):** És l'encarregat de generar la major part de la potència de la unitat de potència.

Actualment tots els motors han de ser per reglamentació, fins al 2026, V6 ( dos blocs de tres cilindres en línia units al cigonyal en forma de V) de 1.6L turbo amb un angle de bancada de 90° (l'angle que fan les bieles en V), a més no poden tenir més d'una bugia per cilindre.

Poden arribar fins a les 15.000 rpm.

Aquest pot ser canviat quatre vegades en total sense comportar una penalització.

- **Turbocompressor (TC):** És un l'element que disposa de dues parts.

Una que disposa d'una turbina i rep els gasos d'escapament del motor fent que aquesta es mogui i altra anomenada compressor que està connectada al mateix eix que la turbina i té com a funció comprimir l'aire que entra durant l'admissió per fer que l'explosió al cilindre sigui major, i per tant aconseguir una major potència.

Aquest element també necessita altres per poder ser efectiu.

Un exemple és l'*intercooler* que refrigera l'aire abans d'entrar a la cambra de combustió. També ho són les vàlvules de descàrrega per evitar que a baixes revolucions el gasos del motor facin girar en sentit contrari la turbina.

Aquest element pot ser canviat un màxim de quatre vegades sense penalització.

- MGU-H: Es troba connectat als eixos del turbo i forma part de la unitat elèctrica de la unitat de potència.

Així doncs, la seva funció és aprofitar el moviment de la turbina per transformar aquesta energia cinètica en elèctrica que després utilitzarà quan el pilot ho necessiti. També per evitar el fenomen de "turbo lag" que consisteix en que el motor arriba a les revolucions en les que el turbo hauria de començar a treballar i aquest ho fa molt lentament i no termina de fer-ho. Llavors, el MGU-H l'ajuda a tenir aquest impuls inicial fent actuar la turbina.

Aquest pot ser canviat un màxim de quatre vegades sense tenir penalització.

- MGU-K: Aquest element forma part de la unitat elèctrica del motor també i la seva funció és transformar l'energia cinètica que reben els frens durant la frenada per transforma-la en energia elèctrica.

Aquest element pot ser canviat fins a quatre vegades sense tenir penalització.

- Bateria: És on s'emmagatzema l'energia elèctrica generada pel MGU-H i el MGU-K per posteriorment ser utilitzada.

Es poden emmagatzemar un total de 4 MJ per volta.

Pot ser canviada dues vegades sense tenir penalització.

- Centralita electrònica (ES): És l'element que s'encarrega de que tot funcioni en ordre en la unitat de potència, regulant paràmetres com per exemple l'entrega de potència i l'ús de l'energia, entre d'altres.

Pot ser canviada dues vegades sense tenir penalització.

- Sistema d'escapament: Està format pel tub d'escapament que allibera a l'exterior els gasos rebutjats durant la combustió així com els gasos alliberats per la vàlvula de descàrrega.

Pot ser canviat un total de quatre vegades.

Actualment hi ha quatre constructors d'unitats de potencia que són Ferrari, Mercedes, Honda i Renault.

Cada constructor no motorista compra la unitat de potència a un d'aquests quatre.

<b>EQUIP</b>	<b>MOTOR</b>
Oracle Red Bull Racing	Honda
Mercedes-AMG PETRONAS Formula One Team	Mercedes
Scuderia Ferrari	Ferrari
McLaren F1 Team	Mercedes
Aston Martin Aramco F1 Team	Mercedes
BWT Alpine F1 Team	Renault
Williams Racing	Mercedes
Visa Cash App RB Formula One Team (Alpha Tauri al 2023)	Honda
Stake F1 Team Kick Sauber (Alfa Romeo al 2023)	Ferrari
MoneyGram Haas F1 Team	Ferrari

**Taula 6.** Equip i Motor, Taula propia

- Aleró davanter: És un element aerodinàmic que es troba el part davantera del vehicle sent el primer element que interactua amb l'aire. Té com a objectiu generar la màxima càrrega aerodinàmica i dirigir el flux d'aire de manera que aquest interactui amb els pneumàtics i sigui turbulent. La seva importància és vital ja que al ser el primer element té contacte amb l'aire és el que defineix com serà el flux en la resta del monoplaça.
- Sistema de suspensió: Té com a objectiu fer que el cotxe vagi el més a prop a la pista possible.

Amb la reglamentació actual les suspensions tenen les barres de torsió molt dures per evitar que el cotxe oscili i així perdre càrrega aerodinàmica, però també comporta efectes negatius com el gran rebot que pateixen quan els monoplaques passen molt per sobre d'un piano o d'un sot.

Aquesta està formada per elements de subjecció amb l'estructura del nas del vehicle inferiors i superiors, anomenats també trapezis o triangles de suspensió, per tenir un millor funcionament. A més aquests elements tenen formes aerodinàmiques ja que la seva interacció amb l'aire afecta a la resta del monoplaça.

Les suspensions poden ser de dos tipus:

- *Push-rod*: Aquesta consisteix en el que el braç de suspensió va des de la zona superior del nas fins a la part inferior de la roda. Com avantatges ofereix una major facilitat a l'accés dels elements de suspensió així com un menor gruix d'aquests per alleugerir pes. Però en contra té un pitjor balanç de pesos ja que tots els elements interns del sistema com ara els amortidors, balancins (fan moure les barres de torsió en els seus dos extrems per a que facin un efecte similar al de una molla helicoïdal) i barres de torsió es troben a la part superior.
- *Pull-rod*: És el contrari a la suspensió de tipus *push-rod* ja que va des de sota del nas fins a la part superior de la roda el que dificulta molt l'accés als elements de suspensió així com al gruix d'aquests. Però tot i això, el repartiment de pesos és millor i l'aerodinàmica en teoria també, tot i que depèn molt de les característiques de cada monoplaça.

Aquesta és utilitzada per Red Bull, McLaren i Haas, la resta d'equips utilitzen la *push-rod*.

- Pontons: Són dues grans peces voluminoses que tapen tot el que seria el motor i les que donen forma als conductes de refrigeració del motor. Són dos elements clau en l'aerodinàmica del vehicle per generar la major càrrega aerodinàmica possible.
- Sòl del vehicle: És la superfície que es troba a la part inferior del vehicle i la que més càrrega aerodinàmica genera sent l'element aerodinàmic que més desenvolupen els equips.

- Difusor: És l'encarregar d'expulsar el corrent d'aire que circula sota el vehicle. La seva funció també és molt important a l'hora de generar gran càrrega aerodinàmica.
- Aleró posterior i *beam wings*: Són dos elements que treballen a diferents altures, ja que l'aleró és més a dalt i els *beam wings* just a sobre del difusor.

L'aleró està format per dos perfils alars un sobre l'altre. Incorpora el sistema DRS (*drag reduction system*) que fa que el superior s'obri per deixar passar més aire i generar menys resistència a l'avanç en les rectes, tot i que aquest només es pot activar en unes zones determinades i en carrera només quan un vehicle està a una distància menor de un segon respecte al de davant.

Els *beam wings* poden estar formats per un sol perfil alar i les dimensions respecte l'ala posterior són inferiors.

Tots dos elements són molt importants no tant per la càrrega aerodinàmica que generen si no per la influència que posseeixen en el comportament del difusor.

- Sistema de transmissió: És l'encarregat de transmetre tota la potència del motor a les rodes.

En primer lloc està formada per una caixa de canvis semiautomàtica (les velocitats es canvien amb les leves del volant) de vuit velocitats.

Posteriorment l'eix de transmissió es connecta al diferencial que té com a funció regular la potència que li arriba a cada una de les rodes. Normalment trobem dos tipus de diferencial l'obert que fa que la roda exterior giri més que la interior i el tancat en el que les dues rodes giren a la mateixa velocitat. En canvi, en un F1 es pot regular en cada fase de la corba com d'obert o tancat és vol el diferencial en cada moment, tot depenent les característiques del vehicle. Tot això ho fa gràcies a un sistema hidràulic.

- Sistema de direcció: És l'encarregat de donar l'orientació que el pilot desitja a les rodes en cada moment.  
Està format per la barra de direcció i una cremallera hidràulica (juntament amb els eixos que la connecten amb les rodes) ja que la direcció és assistida perquè, degut a la gran càrrega aerodinàmica que generen els monoplaques seria massa costós fer girar el volant.
- Sistema de frenament: És l'encarregat de fer parar el vehicle quan el pilot ho sollicita.

És un sistema hidràulic que permet donar més frenada en la part davantera o en la del darrere respecte a la contrària depenent les necessitats del pilot.

El fre té un recorregut molt curt, d'apenes quatre centímetres.

Els discs són carboceràmics i les pinces de fre són de sis pistons .La majoria dels equips utilitzen els de la marca Brembo.

Aquest sistema també inclou una entrada d'aire (a la que se li dona forma aerodinàmica) per refrigerar el frens.

- Volant multifunció: A més de ser utilitzat per girar, és el centre d'operacions de tots el sistemes del vehicle arribant a tenir fins a més de seixanta botons entre els quals es troben el balanç de frenada, l'entrega de potència, el sistema de la ràdio per comunicar-se amb l'equip, el mapa motor, el mapa del diferencial, entre d'altres.

Troblem també l'accionament de l'embragament que s'utilitza només a la sortida accionant la leva darrere d'aquest.

Tots els elements descrits estan fets en fibra de carboni menys el sistema de frens, la cremallera de direcció, amortidors, barres de torsió, sistema de transmissió i unitat de potència.

Un altre element que juga un paper molt important en el comportament del vehicle són els pneumàtics, dels quals trobem diferents compostos.

<b>COMPOSTOS</b>				
Tou ( <i>slick</i> )	Mitjà ( <i>slick</i> )	Dur ( <i>slick</i> )	Intermedis (pista mullada)	Extrems (pista molt mullada)
Presenta una gran adherència, per tant un millor temps per volta però la seva duració és petita. Aquest és el de la banda vermella.	És un pneumàtic que equilibra adherència amb duració. Aquest és el de la banda groga.	És el que té menys adherència però el que presenta una major duració. Aquest és el de la banda blanca.	Presenta dibuix en la seva superfície per evaquar uns 40 litres d'aigua per segon a 300 km/h. Aquest és el de la banda verda.	Presenten un dibuix molt agressiu a tota la seva superfície per poder evacuar 65 litres d'aigua per segon a 300 km/h. Aquest és el de la banda blava.

**Taula 7.** Compostos, Taula propia



Tot i que aquestes són les característiques generals, depenent el traçat i les condicions de pista pot ser que un pneumàtic no funcioni com normalment ho fa. A més hem de tenir en compte que els pneumàtics treballen en un rang de temperatura determinat, necessitant els tous una quantitat menor de temperatura i els durs una major. També és necessari saber que en cada circuit Pirelli (el fabricant) fa una selecció de tres pneumàtics entre tots el de la seva gama que està formada pels pneumàtics C0, C1, C2, C3, C4, C5, anant del més dur al més tou.

En els pneumàtics *slick* (de superfície llisa) hi dos fenòmens que alteren la seva superfície i per tant el seu rendiment. Aquests són:

- *Graining*: Quan el pneumàtic no arriba a la temperatura òptima comença a lliscar i per tant a degradar la seva superfície això comporta la creació de petits fragments de goma procedents del pneumàtic anomenats *marvels* que s'acumulen a la roda generant una línia molt oscura en una part determinada del pneumàtic que fa perdre temps.

Tot i això hi ha una part bona i és que és superficial, de tal manera que amb un bon tractament per part de pilot és pot netejar i desaparèixer.

- *Blistering*: Té lloc quan el pneumàtic està a sobretemperatura i genera ampolles en la superfície d'aquest. En cas de tenir un *blister* es perd molt de temps per volta ja que el pneumàtic llisca molt a causa d'aquest fenomen que al contrari que el *graining* no es pot netejar i l'única opció és parar en boxes.

És de vital importància per entendre el comportament de les gomes tenir en compte que un bon disseny aerodinàmic i mecànic afavoreix al bon funcionament d'aquestes.

Hem de tenir en compte també que les llantes de Fórmula 1 són de 18 polzades, el que fa que les dimensions dels pneumàtics siguin de 305 mm d'amplada els davanters i 405 mm els de darrere i d'alçada 720 mm totes les gomes.

Per últim, recordar que en les carreres en sec els equips estan obligats a montar dos compostos diferents durant la cursa (és a dir parar a boxes de forma obligatòria), en canvi, en les de pluja no, tot i que la pista s'asequi i s'acabi montant un pneumàtic *slick*.

### 3.4 EVOLUCIÓ HISTÒRICA DELS F1

L'evolució dels F1 ha estat molt exponencial, augmentant la potència d'aquests així com l'aerodinàmica d'aquests.

### 3.4.1 Els F1 de la dècada dels 50



**Imatge 1.** Juan Manuel Fangio a Nürburgring al 1954 conduint el Mercedes-Benz W196.  
Extreta de Mercedes AMG Petronas

Els primers Fórmula 1 eren vehicles amb una part davantera molt llarga en la qual es trobava el motor i el pilot a l'altura de les rodes posteriors, els pneumatics eren molt estrets i amb dibuix.

A més els cotxes no tenien cinturons i el volant era molt gran.

El disseny aerodinàmic es limitava a generar la menor resistència aerodinàmica possible per tenir un menor consum de combustible i una major velocitat en recta. Tot ho van fer seguint el principi de coanda que consisteix en que l'aire quan es troba una superfície corbada segueix la trajectòria d'aquesta ja que s'adhereix.

A més vehicles com els Ferrari de 1950 (125, 275, 375) van utilitzar l'aerodinàmica per portar l'aire a diferents conductes de refrigeració.

Al 1954 va destacar el disseny del Mercedes W196C amb el que Fangio va guanyar aquell mundial i el del 55 (juntament amb el W196 que no presentava aquestes innovacions) ja que la part davantera va trencar els esquemes habituals de l'època ya que no acaba en punta i era molt ampla. A més les rodes estaven tapades per la carrosseria generant menys turbulències i per tant menys resistència a l'avanç.

Al 1956 el Ferrari D50 va presentar grans innovacions. La més destacada és la de la presència de dos tancs de combustible en el la part lateral del cotxe entre les rodes i amb un disseny aerodinàmic que consistia en donar-li forma corbada per tenir una menor resistència a l'avanç. La idea tenia com a objectiu tenir un millor

repartiment de pes per a que el comportament del vehicle en corba fos el més estable possible.

Per concluir la primera dècada de la Fórmula 1 en la qual l'evolució va ser bastant línia cal recalcar que els cotxes estaven fets d'alumini en la zona de carrosseria, i d'acer en zones com el xassís o els tubs d'escapament (els quals estaven situats als laterals dels vehicles).

### 3.4.2 Els F1 de la dècada dels 60



**Imatge 2.** Lotus 49, el primer Fórmula 1 de la història amb alerons. Extreta de Car Pixel

Als 60 els monoplaques van deixar de ser tan voluminosos com en els inicis sobretot a la zona de les rodes posteriors. També van ser més “plans”, però mantenint una superfície corba per a que la carrosseria tingués una menor interacció amb l'aire i per tant una resistència a l'avanç menor.

Per primera vegada es van establir motors a la zona mitjana-posterior del vehicle just darrere del pilot qui ara anava en la zona central del vehicle.

Un exemple d'aquestes innovacions és el Cooper Climax t53 que incorporava una entrada d'aire a l'estil de les que trobem avui dia sobre el cap del pilot per alimentar el motor, amb la diferència que aquesta es trobava just darrere del cap del pilot. A més disposava d'una pantalla transparent just a l'entrada del *cockpit* per a que l'aire no interferís amb el pilot, concepte que seria tendència durant l'època.

A més aquest ja comptava amb cinturons de seguretat per al pilot.

Al 1961 Ferrari va fer el 156 també conegut col·loquialment com *sharknose* degut a que la seva part davantera estava formada per un nas acabat en punta que el dividia en dos entrades d'aire. Aquesta disseny el feia molt efficient ja que no generava gaire resistència a l'avanç.

Al 1968 es va produir una de les majors revolucions de la història no només de la Fórmula 1 sinó del món del motor. L'aerodinàmica va començar a ser un element clau en els monoplaques gràcies a la invenció del Lotus 49.

Aquest en la seva primera versió va començar tenir dues ales al nas del vehicle que tenien com a objectiu accelerar l'aire en la zona inferior per generar un flux de baixa pressió que fes que l'aire empentés aquesta part del cotxe a la pista per tenir una major estabilitat en corba i per tant poder traçar-les a major velocitat. Aquest principi és el contrari que el de l'ala d'un avió, és per això que el dissenyador d'aquest monoplaça, Colin Chapman, va idear aquest concepte de girar l'ala d'una aeronau, per provocar l'efecte contrari.

Posteriorment, arribaria la gran revolució amb el Lotus 49B que va incorporar un aleró posterior molt elevat seguint aquest principi, més tard l'aleró va acabar tenint una posició molt més propera al terra.

### 3.4.3 Els F1 de la dècada dels 70



Imatge 3. Lotus 79. Extreta de El Confidencial

Durant els anys 70 la tendència va ser pràcticament la mateixa en quant al disseny aerodinàmic que consistia en l'aplicació d'alerons davanters i posteriors al vehicle, però amb una diferència ara eren més curts, sense entrades d'aire a la part central final del nas degut a la presència d'alerons. Això va provocar l'existència del primer concepte de pontons com els coneixem avui dia amb la presència de conductes laterals que portaven l'aire a les noves entrades de refrigeració (el primer en fer-ho va ser el Lotus 72), a més ara per poder aprofitar al màxim el funcionament dels

alerons els vehicles van anar molt a prop del terra. També van aparèixer per primera vegada els pneumàtics llisos al 1971.

Un exemple d'aquest concepte seria el Ferrari 312 T que va guanyar el mundial de constructors del 1975 i amb Niki Lauda el de pilots.

Però, la gran revolució anaria un altre vegada de la mà de Colin Chapman i Lotus amb el Lotus 79. Aquesta consistia en l'existència d'un gran perfil alar, just darrere de les rodes i delimitat per les famoses faldilles, que no deixaven escapar l'aire.

Però al 1981 van acabar sent prohibides degut als grans accidents que provocaven aquestes quan passaven per sobre d'un sot en pista.

Aquesta invenció va fer que els cotxes fossin més pegats a la pista del que ja estaven degut a la gran càrrega aerodinàmica que generaven, de fet aquest concepte és en el que es basen els Fórmula 1 d'avui dia.

Gràcies a aquesta revolució Lotus va guanyar el mundial de constructors del 78 amb Mario Andretti al volant.

Com és evident tots els equips van voler copiar aquest concepte, però no tots el van poder fer funcionar bé, com per exemple Ferrari a causa del gran tamany que tenia el seu motor *boxer* de dotze cilindres.

L'únic cotxe que semblava ser la real competència per al Lotus va ser el Brabham BT46B dissenyat per Gordon Murray, que va implementar un ventilador al difusor que aspirava tot l'aire que circulava per sota del vehicle i l'expulsava a l'exterior fent que el monoplaça anés molt a prop de la pista i generés molta càrrega aerodinàmica.

Gràcies a aquesta innovació van guanyar el Gran Premi de Suècia amb més de mig minut de diferència sobre el segon estant Niki Lauda al volant. Però l'alegria va durar poc per l'equip que liderava Bernie Ecclestone ja que la FIA el va prohibir per ser massa perillós.

### 3.4.4 Els F1 de la dècada dels 80



**Imatge 4.** Ayrton Senna al volant del seu MP4/4. Extreta de Zonamovilidad.es

Al 1981 hi va haver una altra de les grans revolucions de l'esport i del món del motor. Durant aquell any McLaren va introduir per primera vegada el xassís monocasc en fibra de carboni. Aquest invent fins avui dia és present a tot el cotxe a excepció de les parts relacionades amb la part mecànica del vehicle, a més de ser molt present a tots els cotxes esportius de carrer.

Al 1984 McLaren va introduir el concepte aerodinàmic de disseny "d'ampolla de Coca-Cola". Aquest consisteix en construir el vehicle de manera que la part davantera sigui estreta per evitar que el flux d'aire tingui contacte amb les rodes, posteriorment s'ampliï a la zona del *cockpit* per abarcar la màxima quantitat d'aire possible per poder generar càrrega aerodinàmica, i a l'altura de les rodes posteriors el cos del cotxe es torni a aprimar per evitar que el corrent d'aire entri en contacte amb aquestes i passi a ser turbulent.

Es va anomenar així perquè si es veu des d'un punt de vista zenital descriu la mateixa forma que una ampolla de Coca-Cola. Aquest concepte acabaria sent copiat per tota la graella.

Durant aquesta dècada es va donar molta més importància als *endplates* (peces aerodinàmiques al final dels alerons per dirigir l'aire a una zona desitjada) els quals es van fer molt més grans i es van desenvolupar les seves puntes i la forma per produir vòrtex.

Al 1988 un jove Adrian Newey que treballava a Leyton House com a dissenyador va introduir el concepte de xassís en forma de V en el AN 881. Al donar-li aquesta forma ajudava a generar una major càrrega aerodinàmica i posteriorment seria copiat per tots els equips de la graella tot i que l'equip de Newey no era el més ràpid degut als problemes econòmics que travessava.

Un any després, al 89, Ferrari va introduir per primera vegada la caixa de canvis semiautomàtica de set velocitats que feia el canvi de velocitats molt més ràpid que les manuals de cinc velocitats que portaven fins al moment, a més aquesta feia que el pilot tingués en tot moment les mans al volant.

Per últim, al 1989 es va desenvolupar molt més l'entrada d'aire que és por sobre del cap del pilot que alimenta al motor.



### 3.4.5 Els F1 de la dècada dels 90



**Imatge 5.** El Williams FW14B amb suspensió activa. Extreta de El Sofà de la F1

La gran revolució dels anys 90 va ser la suspensió activa dissenyada per Prrick Head. Aquesta consistia en un sistema de suspensió que permetia mantenir la mateixa altura al vehicle en tot el circuit, de tal manera que els canvis d'altura i de posició del cotxe a les corbes no l'afectaven aerodinàmicament.

Va ser implementat amb èxit al 1992 amb el FW14B amb el que Williams va guanyar el mundial de constructors i el de pilots amb Nigel Mansell. Al 1993 repetirien tots dos títols amb la diferència de que el pilot campió seria Alain Prost. Finalment, el sistema va ser prohibit al 1994.

Durant el 1993 Williams va provar la transmissió CVT (transmissió variable contínua) que consistia en una corretja unida en dos eixos que es movien de forma independent canviant la relació de transmissió segons la potència distribuïda pel motor sense la necessitat de realitzar cap canvi de velocitat, de tal manera que els cotxes eren molt més ràpids, però va ser prohibida per la FIA.

A partir del 1990 els monoplaces van començar a tenir els primers *bean-wings*, que a diferència dels d'ara no estaven tan a prop del difusor, però tot i això jugaven un paper molt important en el funcionament d'aquest element.

Al 1994 Benetton va implantar per primera vegada els *bargeboards*. Uns aletins subjectats a l'inici del xassís col·locats darrere de les rodes que redirigeixen el flux que formen aquestes a zones desitjables.

A més d'aquesta novetat el nas del cotxe va estar elevat i ja no formava part de l'aleró davanter.

En addició, a finals de la dècada es van instal·lar petits aletins davant de les rodes posteriors.

Per últim, al 1998 es van implantar els pneumàtics de sec ratllats que feien que els cotxes anessin més lent ja que hi havia menys superfície d'adherència. A més

GoodYear va deixar de ser l'únic subministrador i es va sumar Bridgestone, marca que seria l'única subministradora de pneumàtics entre el 1999 i el 2000.

### 3.4.6 Els F1 de la dècada dels 2000



**Imatge 6.** Michael Schumacher al volant del Ferrari F2004. Extreta de Wikipedia

Al 2001 Michelin es va sumar com a proveïdor de pneumàtics juntament amb Bridgestone de manera que els equips escollien quin pneumàtic equipaven durant la temporada. Al 2007 Bridgestone va a tornar a ser l'únic proveïdor.

Finalment al 2009 van tornar els *slicks*.

Entre el 2000 i el 2003 van continuar la tendència dels monoplaques de finals del noranta.

En canvi entre el 2004 i el 2008 els vehicles disposaven d'uns alerons davanters amb un perfil alar inferior que ja no era pla, sinó que la part central (on el nas del cotxe ja no estava tan elevat respecte aquest element) estava més pròxima a la pista que els extrems on es situaven els *endplates*, ara més petits.

A més el disseny "ampolla de Coca-Cola" va ser molt més evident als pontons i es van desenvolupar molt els aletins que es van introduir a finals de la dècada dels 90.

Al 2009 hi va haver un canvi de reglamentació que va prohibir els aletins de la part posterior del vehicle. Seguidament, els alerons van tornar a ser plans però a diferència dels últims d'aquest estil, aquests tenien aletins. A més els *bargeboards* es van desenvolupar més i l'aleró del darrere va ser elevat.



### 3.4.7 Els F1 de la dècada dels 2010



**Imatge 7.** Lewis Hamilton al volant del Mercedes W10. Extreta de Soymotor

Entre 2010 i 2013 els vehicles van seguir la tendència del 2009 amb la diferència de que el nas del monoplaça es va tornar a elevar respecte l'aleró davanter.

Hi va haver un gran desenvolupament tant de *bargeboards* com dels aletins de l'ala davantera. A més es va treballar molt amb els *endplates* tant davanters com posteriors (en els que es van fer petites reixes per produir vòrtex) i també es va treballar molt en els aletins del sòl del monoplaça en la part de les rodes del darrere.

Durant el 2011 es van disminuir les aletes de tauró tan grans. Aquell any també es va introduir el DRS, el qual en classificació es podia utilitzar en qualsevol zona que el pilot desitges, però finalment es va prohibir i el seu ús es va limitar a les zones d'activació.

Al 2014 hi va haver un canvi de reglamentació en el que el més destacable és que tots els equips van continuar treballant els aspectes aerodinàmics que venien desenvolupant, però ara el nas del vehicle estava molt més pròxim a l'aleró davanter, fent que en aquella temporada hi hagués una gran varietat de nassos. A més es van prohibir els *beam wings*.

Cap al 2015 i 2016 els cotxes eren pràcticament iguals entre si, en l'àmbit aerodinàmic, amb la diferència de que ara el nas del cotxe era molt més prim que al 2014.

Al 2017 hi va haver un canvi de normativa important en els que els cotxes van passar a ser molt més amples i llargs. A més els pneumàtics (que van continuar tenint llantes de 13 polzades) van passar de ser de 245 mm d'amplada i 660 mm de diàmetre en les davanteres a 305 mm d'amplada i 670 mm de diàmetre, i les

posteriors de 325 mm d'amplada a 405 mm i el mateix canvi de diàmetre que les davanteres.

Durant la reglamentació del 2018 es va introduir un element clau per a la seguretat dels pilots, el *halo*, que consisteix en una protecció en la zona del *cockpit* per evitar que en cas d'accident peces molt grans (com les rodes) colpegin el cap del pilot, com en el cas de que un cotxe acabi sobre un altre o un vehicle bolqui. Aquest element ve donat per l'accident de Jules Bianchi durant el Gran Premi de Japó del 2014 en el que va passar sota la roda d'una grua d'assistència a gran velocitat i malauradament va morir.

Al 2019 es van prohibir els aletins a l'ala davantera, que va ser l'únic canvi respecte al 2018.

Per últim al 2011, Pirelli va passar a ser l'únic proveïdor de pneumàtics i es manté fins ara.

### 3.4.8 Els F1 de la dècada dels 2020



**Imatge 8.** Max Verstappen al volant del RB19. Extreta de Wikipedia

En l'àmbit aerodinàmic els cotxes de 2020 van ser molt similars al de 2019, tot i que van ser els cotxes més ràpids (en temps per volta) de la història degut a la gran càrrega aerodinàmica que generaven.

Al 2021 es van eliminar els generadors de vòrtex de la part superior sòl del cotxe, però la resta va ser molt semblant a 2020.

Al 2022 va arribar el gran canvi de normativa en el que el sòl va deixar de ser pla i es va basar en el principi del Lotus 79 on els aletins de sota del cotxe van guanyar molta importància així com els generadors de vòrtex, que estan darrere dels canals de Venturi (conductes darrere de les rodes davanteres pels quals l'aire és conduït a la part inferior del sòl del cotxe).

A més a les ales traseres van desaparèixer els *endplates* i els de les davanteres no podien tenir formes per dirigir l'aire.

Van tornar a aparèixer els *beam wings* i es van prohibir els *bargeboards*. El problema d'aquell any va ser el *proposing*.

Degut a la gran càrrega que generava el fons del vehicle aquest s'enganxava molt a la pista, tant que fins i tot la anomenada "panxa" del monoplaça tocava l'asfalt quan anava a grans velocitats (provocant un rebot anomenat *proposing*), per evitar això es van fer suspensions molt més dures.

Tot i això els cotxes van passar a ser uns cinc segons per volta més lents que els de l'última reglamentació. Cal recalcar que l'objectiu de la normativa és de fer vehicles generin les menors turbulències al cotxe de darrere per afavorir els avançaments, el que suposa una reducció de la càrrega aerodinàmica degut a la prohibició dels elements mencionats.

Al 2023 l'únic canvi va ser l'elevació del sòl a uns 10 mm en els extrems i 15 mm en la part central d'aquest, per evitar el *proposing*.

## 4. L'AERODINÀMICA

L'aerodinàmica és la rama de la física que estudia el comportament de l'aire quan un cos es mou sobre ell.

Des de finals dels 60 fins ara aquest concepte a jugat un paper molt important en el desenvolupament dels monoplaques així com en el comportament i rendiment d'aquests. Tot i que als inicis de l'esport l'única utilitat que tenia era la de generar la menor resistència al moviment possible, ara té com a objectiu generar la màxima càrrega aerodinàmica per anar ràpid en els revolts que és on s'aconsegueix el temps.

### 4.1 FLUX LAMINAR

El flux laminar és aquell en el que el corrent d'aire descriu una trajectòria ordenada. Aquest tipus de corrent és el que interessa tenir en un F1 ja que és el que menys resistència a l'avanç produeix. A més és el més fàcil de dirigir cap a zones d'interès i és el més manipulable, és a dir, és fàcil canviar el seu comportament a l'hora de generar un efecte determinat.

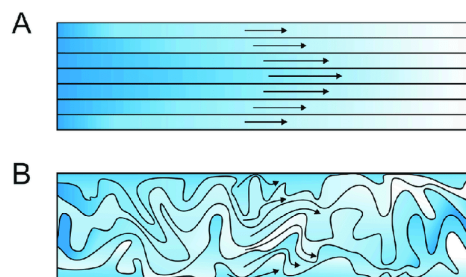
Així doncs, els equips sempre fan grans esforços per mantenir en la majoria de les ocasions el flux d'aire de manera laminar. Fins i tot quan aquest no ho és instal·len elements per desplaçar-ho fora de la superfície del vehicle o bé netejar-lo (passar-ho a laminar) com ara els bargeboards en reglamentacions anteriors.

## 4.2 FLUX TURBULENT

Els flux turbulents és tot el contrari al flux laminar, aquest és un corrent d'aire desordenat. Aquest no interessa gens que estigui en contacte amb els elements aerodinàmics del vehicle ja que genera efectes negatius en el seu comportament degut a que no es genera càrrega aerodinàmica.

Aquests comportaments normalment són:

- Subviratge: És la impossibilitat de girar com sollicita el pilot degut a una irregularitat en la part davantera del vehicle, en cas de que sigui causat per l'aerodinàmica, l'aleró davanter. Llavors el problema es solucionarà aplicant una configuració que augmenti la càrrega d'aquest. Cal recalcar que també pot ser causat per la degradació dels pneumàtics davanter o per elements mecànics, sobretot relacionats amb els elements de suspensió.
- Sobreviratge: És el lliscament de les rodes posteriors a l'hora de fer una corba. És provocat per una aerodinàmica posterior que no genera la càrrega aerodinàmica suficient, o bé pels pneumàtics, tracció descontrolada en l'eix posterior (a un F1 les rodes posteriors són les motrius) o problemes amb la mecànica del sistema de suspensió.



Imatge 9. Comparativa flux laminar (A) amb flux turbulent (B). Extreta de: Research Gate

## 4.3 VÒRTEX

Són un corrent d'aire en forma de remolí que tenen molta energia.

Tot i que no és un flux laminar els equips busquen generar aquest tipus de corrent en algunes zones del monoplaça per accelerar el flux i disminuir així la seva pressió i generar més càrrega aerodinàmica. A més són utilitzats per sellar algunes parts del monoplaça i evitar que el flux d'aire que passa per aquella zona no surti. Per últim, poden ser utilitzats per alentir el desprendiment de la capa límit.

Avui dia els vòrtex tenen una gran responsabilitat en el funcionament dels F1 sobretot per sellar el flux en el sòl d'aquests. És per això que els equips inverteixen molt temps del desenvolupament del cotxe en la creació i millora de generadors de vòrtex.



**imatge 10.** Creació de vòrtex tant a les puntes de l'ala davantera com posterior. Extreta de: F1 Tech Blog-WordPress.com

## 4.4 CAPA LÍMIT

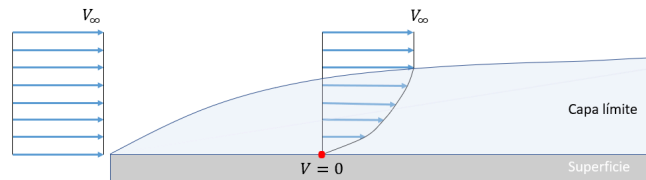
Quan l'aire entra en contacte amb un cos hi ha una àrea determinada del corrent que és modificat per la forma d'aquest, aquesta zona s'anomena capa límit.

En primer lloc, hem de tenir en compte que les partícules d'aire més pròximes al cos són les que més lent circulen de tot el corrent, de tal manera que aquelles que entren contacte amb la superfície del vehicle en aquest cas tenen velocitat=0 i les que estan més allunyades van molt més ràpid.

Això succeeix degut a que l'aire abans d'entrar en contacte amb el monoplaça totes les parts del flux van a la mateixa velocitat, però quan entren amb contacte amb aquest les partícules que interfereixen directament amb el cos tenen aquest comportament degut a que l'aire té una viscositat ( $0,0000174 \mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) que genera una força de fregament amb la superfície del cotxe que no les permet circular a la velocitat que ho fan aquelles més allunyades a la zona de contacte, que cada cop s'apropen més a la velocitat del flux lliure.

Així doncs, hi ha un moment en el que les partícules de major velocitat es separen de les més lentes, perquè aquestes es queden "refragades", i es desprèn la capa límit. Aquest efecte provoca que el flux passi de línia a turbulent és per això que els

equips intenten en tot moment alentir aquest fenomen. És necessari aclarir que en alguns casos pot haver un despreniment i que el flux d'aire es torni a adherir a la superfície del cos. Això es deu a que en alguns casos es formen unes anomenades "bombolles" en les que hi ha un despreniment de la capa límit però aquestes estan envoltades d'un flux laminar que fa que quan es generi aquest flux turbulent es netegi, ja que la seva superfície no és molt gran en comparació al laminar, i torni a estar en ordre una altra vegada i es torni a adherir.

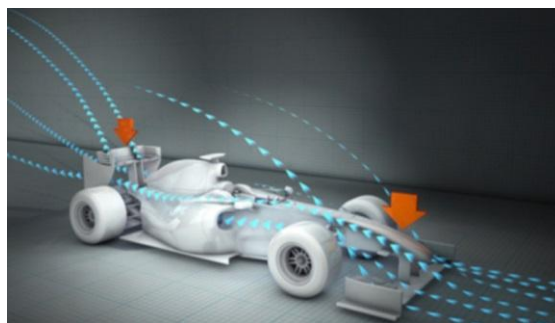


Imatge 11. Capa límit. Extreta de: Aerodinàmica F1

## 4.5 DOWNFORCE

En un ala d'un Fórmula 1 és genera una zona de baixa pressió a la zona inferior ja que la velocitat del flux és major. En canvi a la superior es genera una zona d'alta pressió i la velocitat de l'aire és menor. Aquesta acció genera una força que impulsa l'ala a la pista. Aquest efecte és el que anomenem *downforce*, força de sustentació negativa o *lift* negatiu. És a dir la força que fa l'aire contra la superfície del vehicle per a que aquest s'apropi a l'asfalt. Aquest fenomen és la base de l'aerodinàmica de qualsevol F1 ja que quan menor sigui la distància entre el monoplaça i la pista major adherència hi haurà als revolts, i per tant més ràpid els podrà traçar i millor serà el seu temps.

També cal recordar que a major velocitat més *downforce* serà generat, ja que la quantitat d'aire que entrarà en contacte amb els elements aerodinàmics del vehicle serà major. A més l'acceleració de l'aire en aquests serà major i per tant la velocitat final del flux serà major i la pressió disminuirà més.



Imatge 12. Representació del downforce. Extreta de: Motor y dominio



## 4.6 DRAG

El *drag* o resistència a l'avanç és la força que fa l'aire en sentit contrari al monoplaça fent que aquest perdi velocitat en recta. Tal i com succeeix en el downforce a major velocitat més *drag* serà generat degut a que més aire entrarà en contacte amb el monoplaça.

Cal explicar que hi ha diferents tipus de *drag*:

- *Drag* per la fricció del de l'aire: Com s'ha explicat anteriorment l'aire té una viscositat determinada que genera una força de fricció oposada al moviment, el que es tradueix en resistència a l'avanç. Però en aquest cas el *drag* generat no es pot evitar i no s'hi genera una gran quantitat degut a que l'aire té una viscositat més petita que altres fluids com per exemple l'aigua.

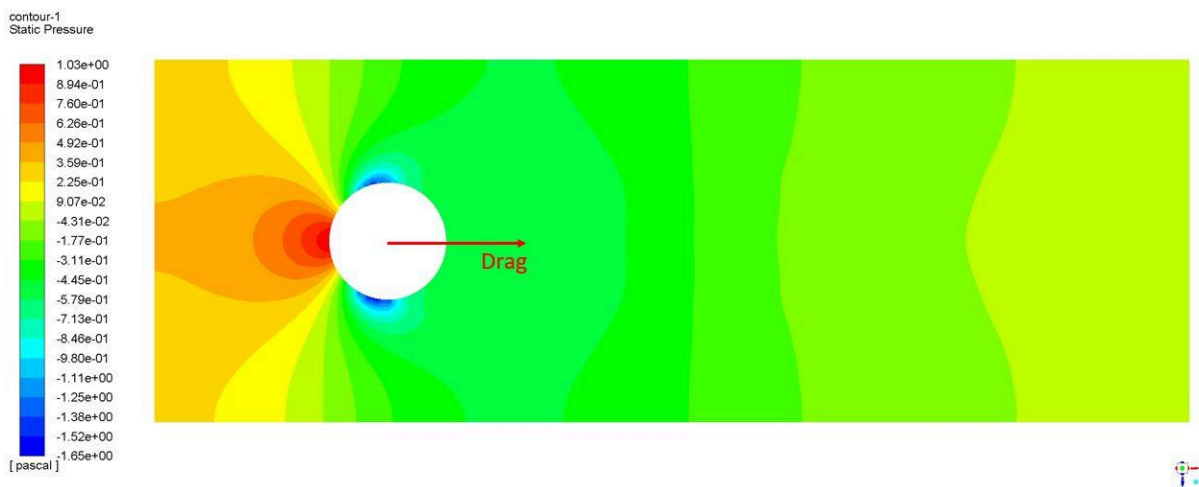
- *Drag* de forma: Aquest ve provocat per la forma dels cossos amb els quals interactua l'aire. Així doncs, es genera *drag* quan l'aire no s'hi pot adherir més a la superfície de l'objecte degut a la seva forma i hi ha un despreniment de la capa limit. És per aquest motiu que a l'hora de donar un canvi de forma a una peça ha de ser el més progressiu i llarg possible per generar la mínima quantitat de resistència a l'avanç. Aquest tipus de *drag* és un dels que els equips traten constantment de disminuir a l'hora de fabricar els monoplaços.

- *Drag* degut a la generació de càrrega aerodinàmica (induit): Aquest ve donat per la generació de downforce en peces com els alerons que al mateix temps que generen aquesta força de sustentació negativa s'hi generen vòrtex que generen una resistència a l'avanç. Aquest tipus de *drag* és el més difícil de solucionar pels enginyers, ja que contra menor sigui la resistència a l'avanç menor serà la càrrega generada (excepte en el sòl del vehicle on no apareix aquest fenomen), és a dir menys rendiment en corba. Així doncs, els equips han de trobar el balanç entre tots dos conceptes.

Cal aclarir que hi ha traçats en el que el problema del *drag* no és gaire important. Per exemple, al circuit urbà de Mònaco els equips fan uns cotxes molt carregats aerodinàmicament. Aquesta configuració fa que els monoplaços generin molta resistència a l'avanç, però no és un problema ja que no hi ha rectes de gran longitud sent una pista plena de revolts lents (motiu pel qual es carreguen tant). En canvi a l'*Autodromo Internazionale di Monza* passa el contrari, els cotxes es descarreguen degut a que hi ha rectes molt llargues i poques corbes.

Un altre factor molt important en la generació de *drag*, és la densitat de l'aire. Ja que contra més dens és aquest més grans són les seves partícules i per tant més *drag*

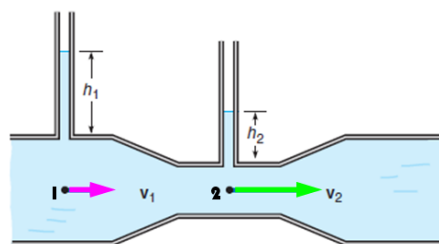
és generat. En canvi, quan aquest és poc dens les partícules són molt fines i és genera menys resistència a l'avanç i per consegüent menys *downforce* també. És per això que en circuits com l'*Hermanos Rodríguez* de Mèxic, que es troba a uns 2000 metres d'altitud i l'aire té una menor densitat, els monoplaques van amb la càrrega aerodinàmica de Mònaco, tot i que les característiques del circuit són tot el contrari. Degut a que com no es genera *drag* (de fet és un dels circuits on la velocitat a final de recta és de les més elevades del calendari), es necessiten aquests elements aerodinàmics tan grans per poder generar *downforce*.



**Imatge 13.** Representació del drag. Extreta de: aerodinàmica F1

## 4.7 PRINCIPI DE BERNOULLI

Aquest és el principi en el qual es basen tots els elements aerodinàmics encarregats de generar càrrega dels monoplaques. Aquest ens diu que contra major sigui la velocitat d'un fluid (en aquest cas l'aire) menor serà la seva pressió. En canvi contra menor sigui la velocitat major serà la pressió.

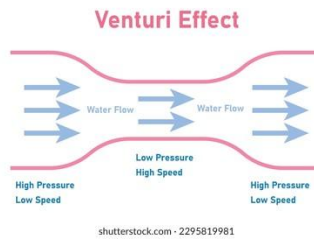


**Imatge 14.** Principi de Bernoulli. Extreta de: Significado.com



## 4.8 EFECTE DE VENTURI

Aquest ve donat quan el fluid (aire laminar en aquest cas) circula per un conducte i aquest s'aprima. Quan això succeeix el fluid augmenta la seva velocitat i disminueix la seva pressió. Aplicat a la F1, aquest és el principi sobre el qual es basa el sòl del vehicle.



Imatge 15. Explicació de l'efecte Venturi. Extreta de: Shutterstock

## 4.9 EFECTE *OUTWASH*

Aquest consisteix en dirigir el flux d'aire a l'exterior del vehicle. En F1 està aplicat en els alerons i els *bargeboards* quan aquests estaven autoritzats. A més de fer-ho amb la forma dels deflectors aerodinàmics es pot realitzar també mitjançant vòrtex.

## 4.10 EFECTE *INWASH*

Aquest consisteix en dirigir l'aire cap al vehicle i es pot dirigir tant amb deflectors aerodinàmics com amb vòrtex



Imatge 16. Efecte d'outwash (fotografia esquerra) i d'inwash (fotografia dreta) a un ala davantera. Extreta de: F1 Dictionary

## 5. L'AERODINÀMICA A LA F1

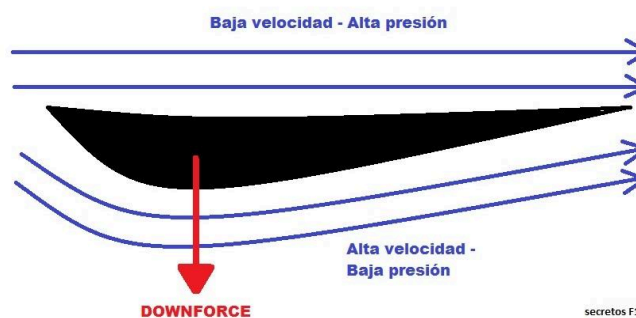
Per fer que el cotxe tingui un bon balanç aerodinàmic i per tant un comportament estable en pista que es tradueixi en un bon temps per volta s'utilitzen una sèrie de peces, que les seves respectives funcions estan relacionades entre si.

### 5.1 ALETINS

Són petites ales d'avió invertides que conformen moltes parts del monoplaça per generar càrrega aerodinàmica.

La càrrega es produeix quan circula l'aire i una part d'aquest va la part superior i altra a la inferior. Així doncs, l'aire de la superfície inferior va més ràpid que el de la superior i per tant es genera una zona de baixa pressió i per consegüent càrrega. A la part superior, en canvi, l'aire va més lent i la pressió és major. Aquesta diferència de velocitats es deu a que el corrent de la part inferior ha de recórrer més distància que el de la superior i a més a la part més elevada es generen uns petits vòrtex que acceleren el flux de sota.

Una característica que juga un paper molt important és l'angle d'atac. Aquest representa els graus en els quals s'instal·len les vores dels aletins per a que generin més o menys càrrega. A major angle més càrrega aerodinàmica és generada però el flux tendeix a separar-se abans i a crear més *drag*, en canvi amb un angle menor és genera menys suport aerodinàmic però menys *drag*



Imatge 17. Ala d'avió invertida. Extreta: Los Secretos de la Fórmula 1

### 5.2 ALERÓ DAVANTER

Com s'ha dit anteriorment és un element molt important ja que és l'element distribueix l'aire cap a la resta del vehicle determinant com el flux interactuara amb la resta del vehicle, de manera que un disseny defectuós en aquesta àrea del monoplaça significa un mal comportament del mateix.

En primer lloc, aquest està dividit en dues parts pel nas. En cada una hi ha tres aletins (sent primer el més gran i l'últim el més petit) units entre si mitjançant uns petits pilars que permeten que l'aire passi per sota de cada aletí. Sota aquests tres hi ha un pla general que no està dividit el qual és el més gran. A més tots els perfils estan delimitats per dos *endplates*, un a cada extrem de l'aleró

La funció principal de l'aleró és generar càrrega aerodinàmica, però hi ha una altra de vital importància que és la de generar vòrtex per evitar que el flux turbulent generat per les rodes interfereixi amb la resta del vehicle. Aquests vòrtex es creen mitjançant la forma dels aletins. Hi ha una infinitat de crear aquest fenomen, però totes coincideixen en que tots els aletins acabin en la part inferior de l'*endplate*. A més tots aquests descriuen una espècie de conducte obert que desplaça l'aire cap a l'exterior generant un efecte d'*outwash*.

Aquest efecte de desplaçar l'aire cap a l'exterior també es pot fer mitjançant l'unió del nas amb els aletins els quals descriuen una espècie de corba que va de menys altura a més (respecte el nas). Així doncs s'aconsegueix crear el vòrtex Y250, que desplaça el flux turbulent de la part posterior de la roda per a que no interfereixi amb el vehicle. Tot i que cal aclarir que amb la reglamentació actual ja no és generat, ja que els aletins no poden tenir una part inicial en forma de punta (com sí era possible a l'anterior), degut a que han d'estar units al nas.

Un altre element que té un paper important són els *endplates* que la part exterior disposen d'un petit perfil alar per generar més càrrega. Últimament, els equips estan variant la posició i la forma d'aquesta peça per desplaçar l'aire a l'exterior i crear vòrtex a les puntes.

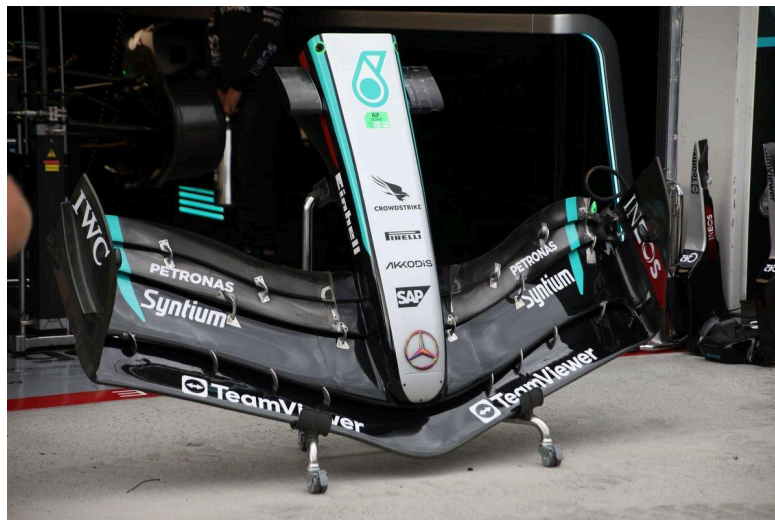
A més els alerons des d'un punt de vista zenital descriuen la forma d'una fletxa per afavorir aquest *outwash*.

Cal recalcar que els alerons es situen a una distància força elevada respecte l'asfalt (en comparació a altres reglamentacions), degut a que es deixar passar la màxima quantitat d'aire al sòl del vehicle.

## 5.3 NAS

Aquest té una funció més estructural que aerodinàmica ja que s'encarrega de sostenir l'ala davantera. Tot hi així els enginyers li donen un petit protagonisme en el desenvolupament aerodinàmic.

En primer lloc, la majoria d'equips el fan prim per afavorir a l'efecte "ampolla de Coca-Cola". Seguidament, aquest interfereix de manera diferent amb l'aire si s'instal·la al segon perfil alar de l'ala o al primer. En aquest cas els equips opten per la solució que millor s'adapta a les característiques del seu monoplaça. A més la superfície inferior te forma de V (o similar) per adaptar-se al xassís i la seva aerodinàmica.



Imatge 18. Aleró i nas del Mercedes W15. Extreta de: Motorsport.com

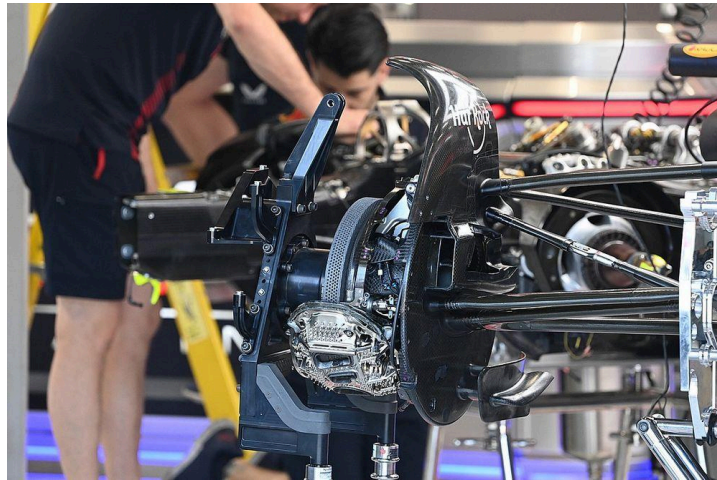
## 5.4 GEOMETRIA DE SUSPENSIÓ I SISTEMA DE REFRIGERACIÓ DELS FRENS

La geometria de suspensió tot i que la seva funció és principalment mecànica, els diferents elements que la conformen estan coberts per peces de fibra de carboni a les quals se'ls dona una forma determinada per conduir l'aire a una zona determinada i que aquest no surti de manera turbulenta ja que és també una zona propensa a generar un flux no laminar degut a tots els elements amb els que interactua.

A més la col·locació dels elements de suspensió en el xassís està dissenyada de manera que els elements tinguin millor efecte aerodinàmic possible.

D'altra banda les entrades de refrigeració davanteres dels frens que es troben en les pletines laterals interiors dels pneumàtics (que tenen com a funció netejar l'estela d'aire turbulent que desprenen les rodes) tenen distintes formes similars a les ales per guiar l'aire als frens i per crear zones de baixa pressió i per tant càrrega aerodinàmica. A les posteriors trobem a més una gran quantitat d'aletins per crear zones de baixa pressió, però aquestes més que per generar càrrega (tot hi que

també ho fan) són útils per accelerar el flux d'aire que passa pels *beam wings* i dirigir-lo a l'element per a que aquest generin més *downforce*.



**Imatge 19.** Suspensions i entrada de refrigeració de frens davanters. Extreta de: Motorsport.com

## 5.5 RETROVISORS I HALO

Tot i que tots dos elements tenen una funció de seguretat se'ls hi fa un disseny aerodinàmic.

En el cas dels retrovisors aquestes tenen a veure amb el seu suport al qual se li dona una forma similar a la de un perfil alar per generar un mica de càrrega (degut a que és molt petit) i dirigir l'aire per a que no sigui turbulent.

En el cas de l'halo s'hi posen petites ales a la part superior per generar càrrega aerodinàmica, tot i que no és una unanimitat en el campionat tal i com passa amb uns petits aletins que es ponen al final d'aquest.



**Imatge 20.** Halo i retrovisors. Extreta de: Motor.es



## 5.6 CANALS DE VENTURI

Aquests elements son dels més importants de tot el vehicle degut a que dirigeixen l'aire cap al sòl del vehicle.

Són dos conductes (un a cada extrem del vehicle) que presenten una gran abertura en l'entrada que es va tancant per accelerar el flux d'aire i per tant disminuir la seva pressió.

A més aquests disposen d'uns faldons que generen *outwash* per fer passar al flux d'aire accelerat (interessa que sigui en aquest estat degut a que té més energia) a uns generadors de vòrtex del sòl. Cal declarar que aquesta acció només té lloc en una part del flux (que sol ser la majoria), ja que l'altra prossegueix pel sòl del vehicle.

En addició, els equips han dissenyat unes platines per generar vòrtex i per fer que l'aire que no arriba a entrar sigui desplaçar cap el generador de vòrtex del sòl.



Imatge 21. Canals de Venturi. Extreta de: SoyMotor.es

## 5.7 PONTONS I COBERTA MOTOR

Aquests dos elements de la carrosseria han guanyat molta importància gràcies a la nova normativa.

Els pontons ara tenen una funció summament aerodinàmica que consisteix en accelerar el flux d'aire en aquesta zona i generar el menor drag possible.

En primer lloc, les entrades de refrigeració dels radiadors dels motors han disminuït molt per generar la mínima quantitat de *drag*, modificació la qual pot comportar problemes si no entra la quantitat necessària d'aire als radiadors ja que aquests a

diferència dels cotxes de carrer només funcionen si hi circula aire. A més la posició d'aquestes s'ha elevat al màxim per deixar lliure el camí del flux que circula per sobre del canal de Venturi. Aquesta pujada d'altura és deguda a que hi ha unes platines que porten l'aire als radiadors, però, a més acceleren el flux d'aire i el recirculen per tota la resta de superfície del pontó, que en la majoria del monoplaça la part inferior accelera el flux d'aire a l'estil d'un ala, mentre que la part lateral segueix el principi d'ampolla de Coca-Cola i a més compta amb alguns relleus voluminosos per accelerar el canal, i la part superior condueix l'aire cap a la zona dels *beanwings* (tal i com passa a la part inferior i a la lateral) mentre accelera el flux mitjançant una rampa amb un pendent molt negatiu.

A més entre la part inferior del pontó i la superior del sòl es crea un conducte obert en el qual l'aire és canalitzat i accelerat.

La coberta motor es troba sobre els pontons i els equips li estan donant una forma voluminosa que condueix l'aire cap a l'aleró posterior.

A més els equips aprofiten aquest element per col·locar les reixetes de ventilació per les quals surt l'aire calent del motor, és a dir aire brut o turbulent. Com que l'aire que surt per aquestes no és el desitjat es col·loquen en aquesta zona per a que sigui netejat i passi a ser laminar. Per afavorir aquest efecte els equips dissenyen tant pontons com coberta motor amb relleus que condueixin el flux cap a les zones d'interès.



Imatge 22. Pontons del RB19. Extreta de: DAZN

## 5.8 SÒL

Aquest és l'element que més càrrega aerodinàmica genera i a més sense produir una quantitat considerable de *drag*.

El funcionament d'aquest es basa en l'efecte i el tub de Venturi, ja que l'aire entra per uns conductes amples (canals de venturi) i aquests es van tancant progressivament fins que queda un conducte molt més estret (sòl) en el qual el flux

d'aire és accelerat i veu disminuïda la seva pressió (generant *downforce*), posteriorment el conducte es tornarà a obrir i l'aire serà expulsat a l'exterior amb la diferència, respecte al tub de Venturi, a gran velocitat gràcies al difusor.

Així doncs el sòl té una forma semblada a un perfil alar amb un perfil poc agressiu en el qual es genera una gran zona de baixa pressió.

A més aquest té canals interns que porten l'aire al difusor i que l'accelerem. Equips com Red Bull han variat la forma de la superfície d'aquest creant depressions en les que se li dona encara més velocitat a l'aire.



Imatge 23. Sòl del Mercedes W15. Extreta de: DAZN

## 5.9 GENERADORS DE VÒRTEX

Aquests es troben en la zona central dels extrems del sòl. Tenen diverses formes des de triangulars, corbes o fins i tot a l'estil d'un perfil alar.

La seva funció és clau per fer que el sòl del vehicle funcioni correctament. De tal manera que un mal disseny d'aquests provocaria un desordre en el flux del fons del vehicle, i per tant una gran pèrdua de càrrega aerodinàmica, que es transformaria en un rendiment no desitjat en pista.

El seu funcionament consisteix en crear vòrtex amb el flux d'aire procedent dels canals de Venturi el qual com s'ha explicat anteriorment va a gran velocitat per donar-li una gran energia al corrent, ja que contra més energia tinguin els vòrtex major serà el seu efecte. Llavors aquest aire passa pels generadors i passa de ser un flux laminar a ser una sèrie de vòrtex.

La creació d'aquest fenomen és necessària per dues raons. La principal és que "sella" el fons del monoplaça i no deixa que hi hagi fuites de l'aire de baixa pressió, i tampoc deixa entrar al de major pressió situat en la part superior del sòl, ja que



sempre que es troben fluxos d'alta pressió i de baixa els de major pressió tendeixen a desplaçar-se a la zona de menor pressió. Aquesta primera raó es basa en les faldilles que va introduir Colin Chapman al Lotus 79, amb la diferència de que el sòl no es sella amb una peça sinó que amb aire. La segona raó és perquè d'aquesta manera s'accelera també el flux de la part inferior del vehicle generant una pressió menor i per tant més càrrega.



Imatge 24. Generador de vòrtex del RB20. Extreta de: Motorsport.com

## 5.10 DIFUSOR

És un element també molt important degut a que genera una gran càrrega aerodinàmica i sense comportar *drag* com a conseqüència.

Aquest es situa just al final del fons del monoplaça que descriu la forma inferior d'un perfil alar en la seva superfície i vist des d'un punt de vista frontal descriu un rectangle ja que està delimitat per dos deflectors laterals que no permet que el flux que hi circula entri en contacte amb les rodes.

La seva funció és fer sortir l'aire del sòl de la manera més eficient possible i generant la màxima càrrega aerodinàmica. És per aquesta raó que la seva superfície descriu una forma molt agresiva, ja que accelera molt el flux que hi circula i per tant disminueix la seva pressió. A més en la seva part superior s'utilitzen a vegades uns petits *flaps* de Gurney (un petit deflector horitzontal a 90° per generar petits vòrtex que accelerin el flux). També se li dona una forma acabada en punta al seu contorn en alguns casos per generar vòrtex.

## 5.11 ALA POSTERIOR I *BEAM WINGS*

Tots dos elements es troben al final del vehicle a l'altura de l'eix de les rodes posteriors.

L'aleró està més elevat i està format per dos perfils alars, el sistema DRS, un pilar (o dos, depenent l'equip) que subjecta l'aleró amb la superfície del vehicle i dos deflectors laterals, amb els quals s'intenten crear vòrtex

La seva funció és generar càrrega aerodinàmica per donar estabilitat a la part posterior del vehicle. Aquest, igual que l'aleró davanter, pot tenir distintes configuracions de major o menor càrrega segons el circuit.

Els *beam wings* són dos aletins o quatre (dpenent l'equip) repartits equitativament en cada costat ja que estan separats pel tub d'escapament. Aquests estan situats just a dalt del difusor i estan delimitats pels deflectors de l'ala. El seu objectiu és generar càrrega i a més generar vòrtex de la mateixa manera que ho fa l'aleró davanter.

Tot i que tenen les seves respectives funcions tots dos elements són molt importants per al bon funcionament del difusor ja que s'encarreguen de generar baixes pressions i vòrtex per accelerar el flux d'aquest i generar més càrrega.



**Imatge 25.** Difusor, ala posterior i del SF-24. Extreta de: Motorsport.c

## 6. REVOLUCIONS AERODINÀMIQUES A LA F1

Durant tota la història els enginyers han inventat una infinitat de mètodes per millorar l'aerodinàmica dels vehicles i en alguns casos aquests han resultat autèntiques revolucions per l'esport.

## 6.1 PRIMERES ALES

Introduïdes per primera vegada, al 1968 pel Lotus 49B van suposar una gran revolució que avui dia continua vigent a l'esport sent l'element principal per generar càrrega aerodinàmica.



Imatge 26. Lotus 49B. Extreta de: Momento GP

## 6.2 DISSENYS AMB FORMA D'AMPOLLA DE COCA COLA

Al 1984 McLaren va introduir aquest concepte de dissenyar el cos del monoplaça com si fos una ampolla de Coca Cola vist des d'un punt de vista zenital. Degut que d'aquesta manera la part davantera evitava entrar en contacte amb el flux turbulent de les rodes, la part mitjana podia abarcar el màxim possible d'aire per poder generar la major quantitat de càrrega possible, i la part posterior tampoc entrava en contacte amb les torbulències de les rodes del darrere. Cal aclarir que tot i que la part central pot tenir un major tamany aquest queda limitat per les rodes davanteres ja que si és massa gran podria entrar en contacte amb l'estela d'aire turbulent que aquestes deixen anar.



Imatge 27. McLaren MP4/2 amb forma "d'ampolla de Coca-Cola" Extreta de: DAZN

## 6.3 XASSÍS EN FORMA DE “V”

Al 1988 Leyton House que tenia de dissenyador a Adrian Newey va incorporar el xassís en forma de “V” en el AN 881 . Aquest tipus de xassís millora la circulació de l’aire en els pontons així com del fons del cotxe ja que gràcies a aquesta variant hi pot entrar una quantitat major d’aire i per tant més càrrega es genera. Aquesta manera de dissenyar-lo va ser copiada per tots els equips de la graella i fins i tot avui dia equips com Red Bull el continuen utilitzant.



Imatge 28. Leyton House 881. Extreta de: F1 Authentics Acution

## 6.4 SUSPENSIO ACTIVA

Al 1983 Lotus en el Lotus 92 va tenir grans problemes amb els sots de pista ja que cada vegada que passaven per una part de la pista que no era plana el monoplaça tenia problemes del *porpoising*, efecte que provocava que el cotxe perdés el seu balanç aerodinàmic sent molt inestable.

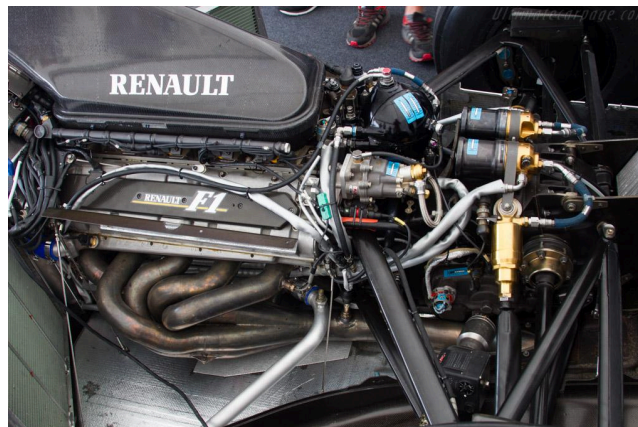
Així doncs, van idear un sistema de suspensió activa (que portaven desenvolupant des del 1982) que consistia en unes vàlvules de reacció immediata controlades elèctricament per així mantenir l’altura en marxa (distància entre el vehicle i l’asfalt) ideal per evitar el desbalanç aerodinàmic i mantenir el cotxe estable cada vegada que passava per una irregularitat de la pista. A més el sistema millorava tota l’aerodinàmica del vehicle ja que el cos del cotxe es mantenia sempre a la mateixa altura de manera que el balanç era sempre el mateix en tots els punts del circuit. A això cal afegir que el sistema podia regular la duresa de cada una de les suspensions automàticament depenent el punt del circuit i per tant regular la pressió que feia cada pneumàtic sobre la pista. Però tot i que aerodinàmicament semblava un sistema perfecte aquest feia que el cotxe fos 30 quilos més pesat de manera que Lotus el va deixar de costat perquè hi havien més pèrdues que ganàncies



Al 1986 Williams va implantar el sistema en el FW11 dissenyat Frank Dernie, però amb una finalitat diferent. L'equip anglès el va utilitzar primerament per baixar la part posterior a les corbes de gran velocitat per tenir més estabilitat i tracció. El van utilitzar també per pujar aquesta en les corbes molt lentes per tenir més adherència en la part davantera.

Posteriorment, el van intentar millorar per a que beneficiés el manteniment de l'altura en marxa en tot el circuit i per tant l'aerodinàmica. Aquest consistia en un sistema d'actuadors hidràulic que reaccionava molt bé a les irregularitats en pista. Però més que ser un sistema actiu era reactiu, a més pesava molt i consumia uns 5 CV del motor ja que la bomba hidràulica estava connectada directament al cigonyal del propulsor.

Finalment, al 1992 Williams va donar amb la clau amb el disseny del FW14B que incorporava una suspensió activa controlada elèctricament mitjançant una centralita en la qual el cotxe podia obtenir tota la informació del circuit i anticipar-se a totes les irregularitats del traçat. A més disposava d'un volant amb el qual els pilots baixaven al màxim possible l'altura del vehicle per obtenir una major velocitat punta.



**Imatge 29.** Suspensió del FW14B. Extreta de: Il Tamburello

## 6.5 MASS DAMPER

El reglament tècnic del 2006 obligava als equips tenir unes suspensions molt dures per poder fer que l'aleró davanter es mantingués el més proper a la pista possible. Però tenia una conseqüència negativa que era el gran rebot que tindria aquest element en cas de passar per un sot o un piano, que es tradueix en un desequilibri aerodinàmic en aquesta zona degut a la oscil·lació dels aletins.

Així doncs, Renault va idear un sistema que consistia en una massa determinada dins d'un cilindre situat en l'interior del nas amb una molla per contrarestar l'efecte

rebot i fer que l'aleró es mantingués estable en tot moment i que els seus aletins no es moguessin.

El sistema va funcionar molt bé i li va donar una gran avantatge al R26 de l'equip francès però a meitat de temporada la FIA va prohibir la seva idea.

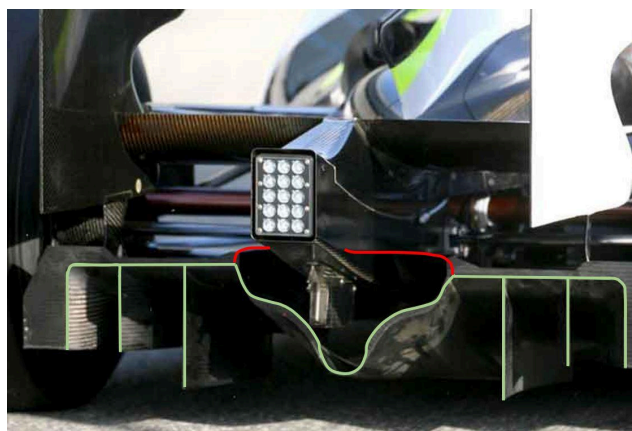


Imatge 30. Il·lustració del mass dumper. Extreta de: F1 Dictionary

## 6.6 DOBLE DIFUSOR

A l'any 2009 Brawn GP va aprofitar una anomenada buit legal en el reglament en el que no es prohibia la utilització de forats en la part central del difusor.

Llavors, l'equip anglès el va aprofitar per crear el doble difusor que consistia en un conducte en la part central del difusor a l'estil d'un aletí en el que l'aire era accelerat per la superfície original del difusor i la inferior d'aquest conducte creant una gran força de sustentació negativa. Aquest sistema va ser incorporat per cada un dels equips de la graella durant 2009 i 2010.



Imatge 31. Doble difusor. Extreta de: Aerodinàmica F1

## 6.7 SISTEMA D'ESCAPAMENT BUFAT

Al 2010 aprofitant els dobles difusors, Adrian Newey va pensar que aquests veien molt disminuït el seu efecte en el pas per corba degut a que a la velocitat disminueix i per tant la carga aerodinàmica generada també.

De manera que va determinar que si el sistema d'escapament es situava apuntant al difusor per a que l'aire tingués aquella localitat com a destí i aquest continuava bufant mentre no s'accelerava s'acabaria guanyant molta càrrega aerodinàmica.

Així doncs, va consultar amb el motorista de Red Bull (d'on era el dissenyador), Renault, si era possible. Ho va ser, ja que en 1983 l'equip francès ja ho havia probat.

Inicialment es va fer un sistema de bufament "fred" en el qual l'aire que arribava no estava barrejat amb gasolina.

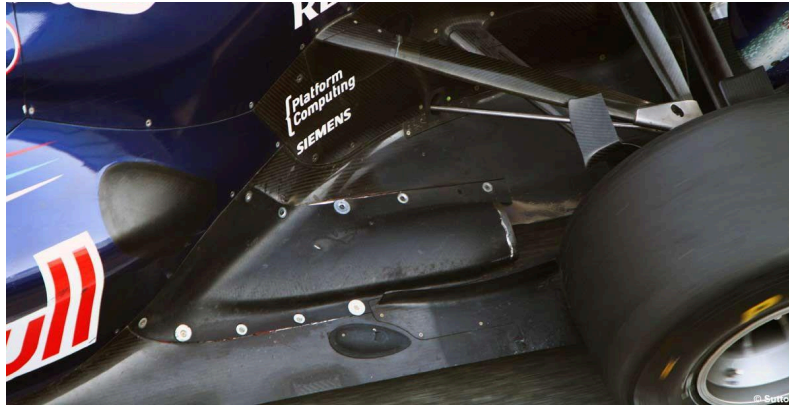
Posteriorment, es va fer el sistema "calent" en el qual es retrasava el punt d'ignició de la barreja (quan el pilot no trepitjava l'accelerador) i quan l'aire circulava pel tub d'escapament es produïa l'explosió, el que feia que l'aire tingués més velocitat i energia, generant així molta més càrrega aerodinàmica.

L'única imperfecció que mostrava aquest sistema era que el motor podia patir problemes de sobreescalfament i de consum de combustible. Motiu pel qual només s'utilitzava durant la volta de classificació i les tres primeres de carrera.

Al 2011 la FIA va prohibir els dobles difusors, i va prohibir també que els tubs d'escapament apuntessin cap al difusor.

Tot i això, Newey va trobar la solució per aquella reglamentació posant dos tubs d'escapament (un per a cada eix del monoplaça) apuntant a les rodes posteriors per desplaçar mitjançant l'aire expulsat pels tubs d'escapament el flux turbulent que generaven les rodes.

Després d'aquesta idea la FIA va establir que els tubs d'escapament no podien complir cap funció aerodinàmica per a la temporada 2012 i d'aquesta manera l'utilització de l'escapament bufat perdia tot el sentit i van deixar de ser utilitzats.



Imatge 32.. Tub d'escapament bufat. Extreta de: Car and Driver

## 6.8 ALETA DE TAURÓ I CONDUCTE "F"

Al 2008 per primera vegada es va introduir una planxa que anava des de l'*air box* (entrada d'aire situada a sobre del cap del pilot) fins a l'ala posterior, anomenada *sharkfin*.

Aquesta tenia com objectiu contrarestar la força centrífuga que empenta l'automòbil a l'exterior de la corba.

De tal manera que quan un cotxe prenia un revolt per exemple a dretes, l'aire impactava contra la part esquerra de la planxa i impulsava el cotxe a l'interior de la corba.

A més hi ha teories que indiquen que aquesta ajudava a dirigir el flux d'aire de manera laminar a l'aleró posterior, tot i que cal recalcar que aquest efecte no era unànime ja que hi van equips que la van mantenir cap al 2009 i altres que no, degut a les característiques del vehicle.

Al 2010 aquestes van passar a ser un element comú en tots els monoplaques degut al conducte "F" de McLaren que tota la graella va copiar.

Aquest consistia en una petita entrada d'aire en la part davantera del monocasc (més concretament a la lletra F de la publicitat del vehicle que li va donar nom al sistema) que era l'inici d'un conducte que arribava fins a l'ala posterior. Tot i que també derivava en el *cockpit* ja que no sempre s'utilitzava.

Llavors, quan el pilot estava en recta apretava un botó el qual tancava el conducte que hi havia en el *cockpit* per a que tot l'aire fos en direcció a l'ala posterior. Un cop en aquesta zona, aquest aire trancava la capa límit de l'element, ja que d'aquesta



manera es reduïa el *drag* induït degut a la pèrdua d'intensitat dels vòrtex dels *endplates*.

Finalment, la FIA el va prohibir, juntament amb l'aleta de tauró perquè en alguns casos els pilots tapaven el conducte del cockpit amb la mà soltant el volant i era massa perillós.



**Imatge 33.** Conducte F i aleta de tauró. Extreta de: Aerodinàmica F1

## 6.9 CONDUCTES VERTICALS EN ELS PONTONS

Aquest concepte ha estat introduït per Red Bull aquesta temporada en el RB20.

Aquest consisteix en dos conductes verticals estrets (un a cada costat del vehicle) sota les entrades d'aire dels pontons.

El sistema consisteix en que el flux d'aire passi pel conducte (que no es sap cap a on deriva ja que és informació tècnica privada de l'equip). De manera la part més lenta de la capa límit que és la més pròxima a la superfície del vehicle sigui absorbida per aquest per energitzar el flux dels pontons i per fer que sigui més ràpid ja que si s'elimina la part lenta quedant només la més ràpida i per tant amb menys pressió.



Imatge 34. Conducte vertical del pontó del RB20 Extreta de: card and drive

## 7. PROCÉS D'ELABORACIÓ D'UN DISSENY AERODINÀMIC

El disseny de les parts aerodinàmiques és molt important quan els equips fabriquen els vehicles de cara la següent temporada.

Aquest té lloc a les fàbriques i comença entre juliol (en cas de que el cotxe de la temporada actual vagi molt bé i no necessiti millores) i abans de l'inici de setembre.

A més un cop acabat el disseny, durant la temporada les escuderies continuen fabricant i dissenyant noves peces anomenades millores, per fer que el vehicle sigui més ràpid i augmenti el seu rendiment. Els enginyers han de ser molt precisos amb aquestes innovacions ja que després del disseny hi ha una sèrie de comprovacions que ha de passar la peça que serà produïda per determinar si serà útil o no, que tenen un cost i no es pot sobrepassar el sostre pressupostari.

### 7.1 DISSENY 3D DEL VEHICLE

El primer que es fa abans de fabricar qualsevol peça és dissenyar-la mitjançant un programa 3D anomenat AutoCAD.

Aquesta feina està realitzada per tot el departament de disseny de la fàbrica de l'equip juntament amb el d'aerodinàmica per fer que cada una de les peces compleixi la seva funció.

Tot i que el disseny final es realitza per moltes persones, la responsabilitat d'indicar la filosofia seguida i de donar les idees principals, les més importants i les més revolucionàries, recau en el director tècnic o el cap de disseny. Aquests controlen en tot moment el que està en procés de disseny i indiquen com s'ha de dissenyar tot amb la col·laboració del aerodinamicistes. Però aquestes dos figures no només es limiten a l'aerodinàmica, també són responsables del disseny dels elements mecànics que moltes vegades estan relacionats amb fer funcionar elements aerodinàmics o millorar l'aerodinàmica del vehicle.

A més, a l'hora de realitzar aquest procés els enginyers han de tenir en compte les habilitats i característiques de pilotatge de cada pilot, ja que seran aquests els encarregats de fer funcionar el monoplaça. Aquest concepte té molta importància degut a que per exemple hi ha pilots que és de la seva preferència un vehicle més inestable de la part posterior que de la davantera i que el cotxe actuï relliscant les rodes del darrere, com Max Verstappen. Però també hi ha altres que necessiten una part posterior molt estable com per exemple el tetracampió del món (2010, 2011, 2012, 2013) ja retirat, Sebastian Vettel que quan el cotxe no era així era propens a trompejar.

Un altre aspecte important és el de millorar aquelles zones en les que durant la temporada anterior el vehicle mostrava més problemes. Per fer-ho, els equips incorporen conceptes d'un altre equip que no tingui aquelles imperfeccions per aplicar-les en el seu monoplaça. Tot i que no es pot introduir de la mateixa manera que la competència ja que s'ha d'adaptar a les característiques del vehicle propi

Molts equips també el que fan és directament comprar peces a altres equips, tot i que en aquesta reglamentació no és tan habitual, ja que la FIA ho ha limitat per evitar que tots els cotxes siguin iguals.

## 7.2 PROVES EN CFD

Després de dissenyar una peça aquesta passa per un *software* de simulació anomenat "dinàmica de fluids computacional" (CFD).

La funció d'aquest és molt important i eficient per a tots els equips a l'hora de dissenyar els components aerodinàmics, ja que la CFD simula la trajectòria del flux d'aire a través del monoplaça, és a dir, indica zones de turbulència, la pressió i la velocitat de l'aire mitjançant colors. De manera que resulta molt útil pels equips, ja que estalvien temps i diners degut a que no fa falta construir la peça per provar-la, d'aquesta manera només passa a producció la que en teoria (ja que pot fallar) és la millor.

Aquesta eina pot també simular la interacció de l'aire amb el vehicle quan aquest està en un corba.

A més el *software* calcula conceptes com el *drag* del vehicle, el *lift* (força de sustentació), la pressió en cada una de les parts i la velocitat entre d'altres. Aplicant diverses fórmules:

- Nombre de Reynolds: Aquest és un nombre adimensional que determina si el flux és laminar o turbulent. Si el resultat és menor de 2300 serà un flux ordenat, si està entre 2300 i 4000 estarà en una zona de transició de laminar a turbulent i si és major de 4000 serà un flux desordenat. El nombre es calcula mitjançant la següent fórmula:

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu}$$

Cada lletra representa:

- D: Longitud característica que és la distància que recorre l'aire.
  - $v$ : Velocitat del fluid.
  - $\rho$ : Densitat del fluid ( $1,2 \text{ kg/m}^3$  en el cas de l'aire).
  - $\mu$ : Viscositat del fluid ( $0,0000174 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  en el cas de l'aire).
- 
- Nombre de Mach: Aquest mesura la velocitat relativa de l'aire i defineix el tipus de flux d'aire segons la seva velocitat (en F1 només seran fluxos subsonics, a menys de 900 km/h). Es mesura segons la següent fórmula:

$$Mn = \frac{V}{a}$$

Així doncs, cada lletra representa el següent:

- V= Velocitat de l'aire.
  - a: Velocitat del so en el fluid.
- 
- Equació de Bernoulli: Aquesta serveix per calcular la diferència de velocitat o pressió entre dos punts del flux. L'equació és:

$$\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \text{constant}$$

El significat de les incògnites és el següent:

- $p$ : Pressió del fluid.
  - $\rho$ : Densitat del fluid ( $1,2 \text{ kg/m}^3$  en el cas de l'aire).
  - $V$ : Velocitat del fluid.
- Principi de Venturi: Es la fórmula que demostra l'efecte de Venturi. La fórmula és la següent:

$$\frac{V_1}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2$$

Sent les lletres:

- $V$ : Velocitat del fluid.
  - $g$ : Acceleració gravitatòria.
  - $P$ : Pressió del fluid en un punt determinat.
  - $\gamma$ : Pes específic.
  - $z$ : Altura en vertical.
- Resistència aerodinàmica: Es el càlcul de la resistència aerodinàmica produïda. La fórmula és la següent:

$$Ra = \frac{1}{2} c_x A \rho V^2$$

On les incògnites representen:

- $c_x$ : Coeficient de *drag*.
  - $A$ : Superfície que recorre l'aire.
  - $\rho$ : Densitat de l'aire ( $1,2 \text{ kg/m}^3$  en el cas de l'aire).
  - $V$ : Velocitat de l'aire.
- Coeficient de drag: S'utilitza per saber la quantitat de *drag* que genera el vehicle. Aquest sol estar proper al valor de 1. Es calcula de la següent manera:

$$C_d = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

Sent les incògnites:

- D: *Drag*.
- $\rho$ : Densitat de l'aire ( $1,2 \text{ kg/m}^3$  en el cas de l'aire).
- A: Superfície recorreguda per l'aire.
- V: Velocitat de l'aire.

Coeficient de *lift*: S'utilitza per saber la quantitat de força de sustentació que genera el vehicle. En els F1 té un valor negatiu. La fórmula és la següent:

$$C_l = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A}$$

Sent les lletres:

- L: Força de sustentació (*lift*).
- $\rho$ : Densitat de l'aire ( $1,2 \text{ kg/m}^3$  en el cas de l'aire).
- A: Superfície recorreguda per l'aire.
- V: Velocitat de l'aire.

## 7.3 PROVES EN SIMULADOR

Els equips utilitzen aquesta eina per obtenir l'opinió dels pilots oficials i provadors respecte el comportament del vehicle. Aquest té també un paper molt important i cada vegada es continua desenvolupant més.

Aquest s'assembla a un videojoc en el que els equips introdueixen el cotxe amb les noves configuracions i el pilot dona voltes en el circuit. Així doncs, es projecta el videojoc a una pantalla gegant per a que resulti el més real possible pel pilot. Aquest fa funcionar el vehicle de la pantalla tal i com ho faria a la vida real ja que els equips disposen d'un monocasc mòbil (per transmetre el moviment del cotxe al pilot) amb volant (el qual és el mateix que el del monoplaça real) i pedals (també reals).

Aquest també és un mètode d'entrenament pels pilots per adaptar-se al circuits.

Amb aquesta eina també és prova la configuració que portarà el vehicle en cada Gran Premi.



## 7.4 PROVES EN TÚNEL DE VENT

Aquestes són les proves més importants abans de portar el producte final a pista, ja que és el més semblant a la realitat.

Aquesta es fa després d'haver provat en CFD, i consisteix en un gran ventilador dirigint aire cap a una maqueta a escala que no pot ser més gran del 60% del tamany del vehicle real, la qual està sobre una cinta que simula l'efecte de la pista (per fer que es moguin les rodes i tenir en compte les turbulències) i que està subjectada mitjançant una estructura que va des del *cockpit* fins al sostre. El vent que expulsa el ventilador no pot superar la velocitat dels 50 m/s.

Com també passa en la CFD es pot simular l'efecte de l'aire quan el cotxe està en curva mitjançant l'estructura que està sobre el cap del pilot que permet girar el vehicle.

Per comprovar que el corrent passa per on es desitja que ho faci i de manera correcta els equips col·loquen una sèrie d'elements per verificar-ho, els quals són:

- Utilització del *flow-viz*: Consisteix en una barreja d'oli de parafina i colorant per encastar la zona desitjada a provar per comprovar posteriorment la trajectòria de pintura al llarg de la superfície de la peça mitjançant una llanterna en la que es pot observar si hi ha hagut superació del flux (és a dir turbulències).

Aquest és una innovació del sistema antic mitjançant fils de llana que encara es continua utilitzant en les proves en pista. Aquesta consistia en enganxar els fils al vehicle i veure si eran capaços d'adherir-se a la superfície del monoplaça, si ho feien significava que tot estava en ordre.

- Graelles de tubs *Pitot*: Són unes graelles en les que es troben uns petits tubs metàl·lics que medeixen la pressió de l'aire, anomenats *Pitot*.
- Condensació de l'aire: Els equips fan això per poder observar directament per on circula l'aire, ja que aquest s'evaporitza.

Hi ha també diversos tipus de túnel de vent:

- Túnel obert: En aquest l'aire dirigit pel ventilador prové de l'atmosfera i és expulsat a aquesta, el que fa que l'aire sigui de menor qualitat pero al mateix temps és més barat i menys complex.

- Túnel de vent tancat: És l'utilitzat per tots els equips ja que l'aire té més qualitat i les dades son més fiables. Aquest consisteix en un circuit tancat en forma de rectangle en el que l'aire propulsat pel ventilador va circulant. L'inconvenient que té és que l'aire s'accelera a causa de les parets i s'aplica un petit marge d'error per a les dades, a més és més car perquè té més elements. Les seves parts són:
  - Ventilador: Fa circular l'aire.
  - Endreçadors d'aire: Hi ha quatre, un per a cada cantonada, i tenen com a funció conduir l'aire cap a la zona d'ensalls.
  - Càmera de laminització: Esta formada per peces aerodinàmiques que fan que l'aire que entra en la zona d'ensalls sigui laminar.
  - Contracció: És on l'aire s'accelera, degut a que a perdut part de velocitat, abans d'entrar a la zona d'ensalls
  - Zona d'ensalls: És on es situa la maqueta del vehicle.
  - Difusor: És la part en la que l'aire es frena abans de tornar a ser accelerat pel ventilador.

Per últim els equips tenen limitades les seves hores de túnel de vent segons la seva última posició en el mundial de constructors, sent l'últim classificat el que disposa de més temps i el primer el que menys per igualar el rendiment dels vehicles.

El temps que disposa cada equip és el següent:

<b>EQUIP</b>	<b>TEMPS (des del 31/12/2023 fins al 1/7/2024)</b>
Oracle Red Bull Racing	840 hores
Mercedes-AMG PETRONAS Formula One Team	900 hores
Scuderia Ferrari	960 hores
McLaren F1 Team	1.020 hores
Aston Martin Aramco F1 Team	1.080 hores
BWT Alpine F1 Team	1.140 hores
Williams Racing	1.200 hores
Visa Cash App RB Formula One Team (Alpha Tauri al 2023)	1.260 hores
Stake F1 Team Kick Sauber (Alfa Romeo al 2023)	1.320 hores
MoneyGram Haas F1 Team	1.380 hores.

**Taula 8.** Temps, Taula propia



**Imatge 35.** Túnel de vent de Ferrari. Extreta det: Motorsport.com

## 7.5 PROVES EN PISTA

Aquestes són les més importants ja que és una situació totalment real per comprovar si les peces funcionen o no, a més els pilots poden donar comentaris molt constructius sobre la direcció en la qual enfocar el desenvolupament del monoplaça.

Aquestes tenen lloc durant els entrenaments lliures al llarg de la temporada en els caps de setmana en els que s'introdueixen millores al vehicle i també durant les jornades de test de pretemporada en les que es prova el nou monoplaça amb el que es farà la la competició.

En aquestes també s'apliquen els mètodes de prova del túnel de vent com ara el flow-viz, les graelles de tubs *Pitot* i en alguns casos els fils de llana.



Imatge 36. Proves amb Flow Vizz de McLaren. Extreta de: Racing News 365

## 8. DISSENY AERODINÀMIC D'UN F1 PROPI

En aquesta part del projecte realitzaré un F1 3D amb l'objectiu de que aquest generi el màxim *downforce* possible generant la mínima resistència aerodinàmica possible, i així tenir un rendiment aerodinàmic millor que els dels Fórmula 1 actuals.

Cal recalcar que el disseny és merament aerodinàmic, és a dir només es faran tots aquells elements del monoplaça que interactuïn amb l'aire exterior, és per aquest motiu que parts com el motor, els sistemes de refrigeració (menys les entrades frens), els sistemes hidràulics, la transmissió i la caixa de canvis es queden fora d'aquest. A més la part estètica del vehicle no té cap importància, és a dir la finalitat no és fer un monoplaça que sigui atractiu sinó que competent en pista.

La pràctica es durà a terme mitjançant el programa *SolidWorks* que és un programa força utilitzat en el disseny de peces automobilístiques i el nom del monoplaça serà GDF1-33.

Amb aquesta activitat es respondrà la hipòtesi principal:

***És possible realitzar i imprimir un disseny 3D d'un automòbil de Fórmula 1, el qual segueix i respecta la normativa tècnica establerta per la FIA i que a més presenta unes característiques aerodinàmiques millors que la dels cotxes presents en la temporada 2024, sense haver tingut una experiència anterior en aquest àmbit de l'enginyeria ?***

### 8.1 DISSENY DEL MONOCASC I XASSÍS

Per fer el monoplaça seguiré l'ordre que segueixen els equips a l'hora desenvolupar el vehicle.

Així doncs, el primer element en ser dissenyat és el monocasc y el xassís, ja que a l'interior es troba el seient del pilot i es fa de manera que aquest sigui el més còmode per ell i pugui realitzar tot el seu pilotatge sense cap inconvenient. A més també es fa per una qüestió estructural ja que a partir d'aquest element és més fàcil muntar la resta de peces del vehicle. També és perquè el xassís és un element que ocupa un temps de fabricació molt gran, això fa que en cas de no superar les proves de seguretat realitzades per la FIA haurien de dissenyar-lo de nou i fabricar-lo un altre cop. Aquestes consisteixen en que aquest és impulsat en una plataforma cap a

un mur de manera frontal, lateral i la part posterior soportant càrregues de 500 KN en les proves frontals, 104,5 KN en les laterals i 93,2 KN en les posteriors. Al final d'aquestes el xassis haurà d'estar intacte per se homologat i segur pel pilot en cas d'accident.

Aquest ha d'estar entre el final del *roll-hub* que és l'entrada d'aire sobre el cap del pilot.

La forma donada serà similar a una "v" i una "u". Aquesta manera de dissenyar va ser ideada per Adrian Newey quan aquest era en Leyton House per tenir una menor resistència aerodinàmica degut a què l'aire no es troba una superfície vertical plana que el freni i que posteriorment ha passat a ser la tònica en l'esport. A més la part davantera serà el més estreta possible per afavorir a l'efecte "ampolla de Coca-Cola" i així evitar que el flux turbulent generat per les rodes afecti al comportament del flux d'aire laminar que es troba el vehicle quan interactua per primera vegada amb aquest i que ha de ser mantingut en dit estat. Amés tindrà unes certes còncaves en els laterals per intentar accelerar el flux en aquella zona que posteriorment endevinara en l'inici del pontó, de tal manera que si s'obté el resultat esperat podria tenir efectes molt positius en el comportament del flux al llarg de tot el vehicle.

Per últim, aquesta part del vehicle, també influeix l'*halo* sobre el qual l'única modificació que s'hi podrà afegir es la d'un petit aletí al final d'aquest.

## 8.2 NAS I ALERÓ DAVANTER

Aquests dos elements són fonamentals pel bon comportament del vehicle ja que d'aquests depèn el comportament del flux en la resta del monoplaça.

Amb la reglamentació actual hi ha hagut un efecte aerodinàmic que ha quedat molt difícil de provocar i aquest és el del vòrtex Y250 el qual el generaven les puntes de les ales que conformen l'aleró davanter i que posteriorment mitjançant la forma d'aquestes el seu flux arribava a la part posterior del pneumàtic davanter reduint l'efecte tan negatiu d'aquest sobre la resta del monoplaça. Això es deu a que ara les puntes de les ales han d'estar enganxades al nas de manera que és molt difícil que torni a ser generat.

Tot i així es faran unes ales en les que les puntes s'aproximin el màxim possible a l'inici del nas generant una corba en el seu contorn que guiï l'aire cap a l'exterior del cotxe generant un efecte d'*outwash*. Aquesta esdevindrà en una punta en la meitat és a dir a  $X=500$  mm (tenint en compte només les d'un costat del vehicle) en la que



s'espera generar un vòrtex amb comportament similar al del Y250. També es farà el mateix en la segona meitat de l'ala cercant, de nou, el mateix efecte i potenciar-ho.

En els últims 100 mm, l'objectiu és desplaçar l'aire fora del cotxe el màxim possible per evitar que aquest col·lidi amb les rodes i per tant generar més *drag* del que ja generen per si mateixes. Això es farà mitjançant uns petits deflectors que en un primer moment poden semblar il·legals però no ho són, ja que les dues últimes ales no és necessari que estiguin unides amb el *flap* del final de l'aleró, o al menys en cap moment es menciona en el reglament tècnic, de tal manera que s'hi pot aplicar una forma diferent. Aquesta zona grisa ja ha estat descoberta pels quatre grans equips de la graella: Red Bull, McLaren, Mercedes i Ferrari. Però l'aplicació és merament per generar un efecte d'*outwash*, en aquest disseny en canvi, hi ha dos objectius: tant el que han fet els competidors anteriors com també generar més càrrega aerodinàmica.

En el nas s'aplica la mateixa filosofia de disseny que en la part davantera del xassís ja que són parts col·lidants, però aquest sobretot s'estreta l'altura de les rodes que és on més necessari aplicar l'efecte "ampolla de Coca-Cola" ja que és on més potència té el flux turbulent procedent dels pneumàtics, a uns 125 mm de distància amb la punta del plànol principal de l'aleró davanter. També hi ha la presència de les càmeres que no poden tenir cap modificació.

Per últim amb els vuit soports que permet posar la FIA entre ales (sempre i quan la distància sigui entre 10 i 15 mil·límetres) s'orientaran de manera que dirigeixin l'aire cap a l'exterior del vehicle per tractar d'imitar l'efecte dels *flaps* que es trobaven en els monoplaques del 2018 que generaven un gran efecte d'*outwash*. Aquesta serà la mateixa intenció que es tindrà amb el sensor de temperatura dels pneumàtics que es troba en el final de l'ala davantera.

### 8.3 RECOBRIMENT D'ELEMENTS DE SUSPENSÍO I RODES

A més de les rodes hi ha altres elements com tots els elements de suspensió, direcció i estabilitat que afecten de manera important al comportament de l'aire al llarg de la superfície vehicle.

El principal problema amb aquests és que obligadament el flux després d'haver passat per aquestes peces entrarà en contacte amb la superfície del vehicle, a diferència de les rodes que fent més estrets el pontons es pot evitar que aquesta senda torbulenta entri en contacte amb el monoplaça.

Encara que sembla una pitjor situació en comparació amb la del pneumàtics, si es fa un bon disseny aquest aire no ha de ser necessàriament turbulent. Per fer-ho tant els elements inferiors com superiors estaran molt a prop degut a que d'aquesta manera els seus recobriments ocupen una superfície menor, de tal manera que la quantitat de *drag* generada serà menor. A més s'aplicarà una forma de perfil alar a les diferents peces que conformen la geometria de suspensió per intentar generar càrrega aerodinàmica. També s'aplicarà unes formes a l'estil dels flaps de l'aleró davanter per desplaçar l'aire a l'exterior (en aquest cas no hi haurà l'existència de formes acabades en punta per generar vòrtex). Per, últim el braç de suspensió escollit serà un *pull-rod* ja que ofereix un millor comportament aerodinàmic.

Cal recalcar que el disseny al ser aerodinàmic no té en compte les conseqüències mecàniques, és a dir, en una situació real aquest plantejament hauria de ser enviat al departament de suspensió per a que valorés si és possible fer d'aquesta manera la geometria de suspensió.

En el recobriment interior dels pneumàtics trobem les entrades de refrigeració del frens davanters, a les quals se'ls aplicarà una forma alar per genera baixes pressions i accelerar el flux en la part inferior d'aquestes.

A la zona inferior a més es posaran dos flaps units amb un faldó. Aquesta mesura no l'ha fet cap equip en la graella i en cas de que aquest cotxe fos un competidor protestarien en contra d'aquest element al·legant que s'estan afegint més elements dels que permet a la llanta el reglament. En canvi la defensa a aquest argument seria que aquestes peces formen part del segell aerodinàmic que el reglament estableix com a funció del recobriment en l'article 3.13.7. Tot i això, sí que és veritat que aquest ha d'estar dins de la caixa de volums en la que la FIA autoritza modificacions, evidentment en aquesta part sí que es pot (degut a l'existència de conductes de frens aerodinàmics) però s'haurà de fer una aproximació de la grandària d'aquesta ja que el document on es troben les caixes de volum de tots els elements del vehicle on s'indica quant i de quina manera han d'operar els fabricants no està disponible per a cap persona que no formi part del departament tècnic d'algun equip.

En la part posterior del vehicle també hi seran aquests elements, amb la diferència de que la toma de frens serà a la part inferior del recobriment del pneumàtic degut a que amb la forma de perfil alar que hi serà donada s'aprofitarà aquell corrent de baixa pressió per accelerar el flux del difusor. A més aquest serà ple d'aletins per generar *downforce*

## 8.4 ENTRADES LATERALS DE REFRIGERACIÓ AL MOTOR

La refrigeració del motor és essencial per a que aquest tingui un bon rendiment, però com passa sempre a la Fórmula 1 el fet de guanyar en un àrea pot fer perdre en altres, en aquest cas quan guanyes refrigeració perds en velocitat punta, degut a que les entrades generen força resistència a l'avanç.

És per aquest motiu que les boques de refrigeració situades a l'inici dels pontons seran el més estretes possible com fan equips com Red Bull, Mercedes i Ferrari. Un aspecte molt important en el disseny d'aquestes és la seva col·locació. Aquestes han d'estar (des d'un punt de vista frontal) entre el nas, aprofitant la part lateral per començar l'entrada, i el recobriment dels pneumàtics. Ha de ser així per dues raons: la primera és que en el cas d'estar darrere de les rodes tot el pontó es veuria afectat per la senda de turbulències d'aquestes. La segona és que en cas de no estar en aquesta localització el departament de motor acabaria desaprovant aquesta mesura ja que l'aire entraria turbulent i calent fent que la combustió sigui pitjor i per tant tenir un pitjor rendiment.

Per fer que entri el màxim aire possible amb les entrades estretes i no tenir problemes amb el departament de motor (si fos un cas real) es farà una de les anomenades safates amb forma alar i amb una gran curvatura per poder captar el màxim d'aire possible i a la vegada, en la part inferior d'aquesta, accelerar el flux que passarà per la resta del pontó generant més suport aerodinàmic.

## 8.5 CANALS DE VENTURI I GENERADOR DE VÒRTEX

Els canals de Venturi són la principal via d'entrada de l'aire al sòl del vehicle, que és la part del monoplaça que més càrrega aerodinàmica genera, de manera que aquests són elements clau per determinar el comportament del flux i posteriorment el del automòbil en el circuit.

Per normativa aquestes entrades han de tenir quatre deflectors cadascuna. En el disseny del GDF1-33 aquests dirigiran l'aire cap al generador de vòrtex. A més es colocaran de manera que es pugui accelerar el flux que passa entre aquests. Això es farà separant-los en l'inici del canal per posteriorment fer més petita la seva distància en la zona mitjana d'aquests, per de nou tornar a fer més gran l'espai. Serà d'aquesta manera ja que així es podrà generar entre els quatre deflectors l'efecte Venturi i així accelerar l'aire al màxim i generar zones de baixes pressions en aquesta zona tan important pel disseny aerodinàmic del vehicle.

La part superior d'aquesta entrada anirà disminuint la seva distància amb la pista descrivint una corba per així poder accelerar el flux de la part superior i que així tingui una pressió menor i per també cercar la creació de l'efecte Venturi en el seu final (que es troba en la part central del sòl) per millorar encara més el comportament de l'aire.

A diferència de la resta el deflector exterior serà el més llarg de tots degut a que és el que més a prop es troba de la roda. Per tant, és l'encarregat de desplaçar aquest flux turbulent a l'exterior i també de tancar el conducte. Aquest també tindrà una altura superior i formarà un canal amb el recobriment superior de la resta dels elements per dirigir l'aire al generador de vòrtex.

Aquest últim element aerodinàmic mencionat té també un paper molt important ja que és l'encarregat de segellar el sòl del vehicle i accelerar el corrent de l'interior amb els vòrtex generats. Per crear aquests es farà deflector acabat en punta en la part central-exterior de la part superior del també anomenat fons en la que es situaran quatre petits perfils alars amb corbes en el seus laterals i acabats també en punta.

## 8.6 PONTONS

Des de que es va instaurar la normativa tècnica actual al 2022 aquesta part del vehicle a jugat un paper fonamental en el desenvolupament dels monoplaques ja que és una de les zones en les que es sap que la FIA deixa fer més modificacions als equips degut a que la caixa de volum és de les més grans tot el reglament juntament amb el sòl del vehicle.

Actualment la tendència és la de que el pontó acabi en contacte amb la part superior del sòl en el seu final per afavorir l'efecte "ampolla de Coca-Cola". Però en el GDF1-33 es farà una alteració del concepte ja que aquest element no entrarà en contacte amb el sòl del tot, ja que s'aprofitarà l'inici de la rampa del difusor per apropar aquestes dos parts fent que quan l'aire passi per aquest embús s'accaleri. Cal afegir que en tot moment es dirigirà l'aire cap a la zona superior del difusor per cercar el mateix efecte que els altres cotxes. En cas de que la solució proposada funcioni aquest flux de baixa pressió i gran velocitat faria que aquest corrent sortís dels *beam wings* donant molt més potència a l'aire que surt del sòl pel difusor de manera que es generaria molta més càrrega aerodinàmica.

A més tot el pontó estarà ple de diferents volums que condueixin l'aire cap al difusor. És per aquest motiu que la trajectòria del pontó (des d'un punt de vista lateral) serà plana fins al final de l'halo per posteriorment dirigir el flux a una rampa empinada en la que l'aire serà accelerat per l'acció de la gravetat (passa el mateix quan l'aigua baixa per un pendent, que tots dos són fluids). D'aquesta manera, l'objectiu és que l'aire arribi amb la major velocitat possible als *beam wings*.

Els volums formaran canals que, evidentment, cercaran crear l'efecte "ampolla de Coca-Cola, aquests també seguiran la tendència establerta en tots els canals del vehicle que consisteix en obrir l'entrada, fer més estreta la part central y tornar a obrir la sortida per accelerar l'aire aplicant l'efecte Venturi.

Altres canals que també tindran una responsabilitat important a l'hora de treballar amb l'aire són els posteriors del *roll hub* que acceleraran l'aire de la mateixa manera que la part superior del pontó, però amb la diferència de que aquest serà conduït a l'aleta de tauró per tenir una millor rotació en les corbes.

Per últim en la part final del pontó trobem l'estructura de la sortida del tub d'escapament més coneguda pel seu nom en anglès *Coke panel* a la qual se li aplicaran diferents volums per portar l'aire al difusor i en la part inferior tindrà una corba per accelerar l'aire en una zona tan important per generar el màxim *downforce* possible

## 8.7 ALERÓ POSTERIOR

L'aleró posterior a més de generar una quantitat important de càrrega aerodinàmica és molt important per fer funcionar de manera eficient el difusor. De manera que el seu disseny serà fonamental per al bon comportament del vehicle en la pista.

Els flaps laterals s'han dissenyat de manera que que es pugui mantenir la major quantitat d'aire dins de l'àrea de l'ala.

Amb la reglamentació tècnica actual han deixat d'existir els *flaps* laterals que mantenien tot el flux de la part superior dins de l'àrea que conformen els dos perfils alars que formen l'aleró, generant així més càrrega aerodinàmica. Això es deu a que els *flaps* no poden superar al perfil alar inferior. Per poder reduir les conseqüències de la mesura el que es farà serà donar-li més volum al punt d'unió del *flap* amb el perfil inferior de manera que s'hi imitarà l'efecte de la reglamentació anterior, però l'efecte no serà tan notori.

Aquesta solució es basa en el que Aston Martin va instaurar en el seu AMR22 a la meitat de la temporada 2022 en la que van estirar el *flap* fins a l'inici del segon perfil alar i aquest acabava amb una forma arrodonida per a que fos legal. A més resultava ser legal i els altres equips van començar a fer proves amb aquest sistema. Això ens indica que funcionava ja que estaven aplicant una mesura que havia proposat un equip de la zona baixa de la graella. Tot i que era legal la FIA ho va acabant prohibint ja que anava en contra de l'esperit de la normativa ja que imitava molt bé als flaps de l'anterior regulació (la del 2021).

Cal recalcar que la FIA va prohibir aquesta prolongació vertical del *flap* i no pas com ha de ser el punt d'unió entre el plànol inferior de l'ala i el *flap* que és el que es modificaria en el disseny del GDF1-33. Així doncs, seria una alternativa actualment legal al que va intentar aplicar l'equip anglès durant el 2022.

En quant al perfil superior, s'aplicarà la solució que va implantar Alpha Tauri al 2023 i que posteriorment va aplicar la resta de la graella, que consisteix en que aquest no estarà unit al flap, sinó que a l'inferior per generar un vòrtex que acceleri el flux de l'ala.

L'ala posterior haurà de treballar en conjunt amb els *beam wings* per aconseguir els seus dos objectius. Tots dos elements inferiors a l'aleró conduiran l'aire cap al *flap* amb l'objectiu de generar un vòrtex que acceleri el flux que surt del difusor.

## 8.8 SÒL DEL VEHICLE

És la part que més càrrega aerodinàmica genera del monoplaça un 40% del total i el millor de tot és que només genera un 8% del *drag* total. A més amb el canvi de normativa va passar a ser un element molt més important del que ja era anteriorment, ja que abans era un fons pla. Ara en canvi es poden fer diversos canals interiors per millorar el seu rendiment.

Cal tenir en compte que aquest treballa en conjunt amb els ja explicats conductes de Venturi i els generadors de vòrtex.

En el cas del GDF1-33, la primera part que serà dissenyada serà la reglamentaria taula de resina de 10 mil·límetres situada al llarg de la zona central del sòl que la FIA utilitza per saber si els cotxes van massa a prop de la pista ja que en cas de que aquesta pateixi un desgast d'un mil·límetre el monoplaça queda desqualificat de la prova. Però la importància d'aquest element no està tan relacionada amb aquest aspect, sinó en els canals aerodinàmics que es crearan al seu voltant amb la



intenció d'accelerar al màxim el flux que circula en aquesta part del vehicle (mitjançant l'efecte Venturi) i de guiar-ho al difusor. A més la superfície del sòl tindrà diverses ondulacions a l'estil del RB19, que ha estat un dels cotxes més dominants de la història de l'esport.

Per últim el corrent a l'hora de passar pel difusor trobarà a l'entrada set superfícies triangulars (quatre a la davant i tres darrere) objectiu de les quals es generarà vòrtex amb gran potència per així accelerar el flux en aquella zona. Aquesta mesura no ha estat mai aplicada per cap equip fins al moment amb les proves que es tenen, cal recordar que al ser una part tan important que no es pot veure fàcilment els equips s'esforcen al màxim per mantenir aquesta privacitat per evitar que altres equips segueixin el seu mateix camí i deixin de tenir un cert avantatge sobre ells, de manera que les úniques proves disponibles són aquelles fotografies que fa la premsa quan un vehicle té un accident i una grua els rescata i mostra la part inferior del vehicle, de manera que no es sap de manera completament segura si algun equip ha implantat aquesta idea en el seu monoplaça. A més en cap moment en el reglament tècnic consta que aquesta acció pugui ser il·legal.

Per últim, en el difusor es posarà un volum que tindrà com a objectiu accelerar encara més el flux i generar molt més *downforce*.

## 8.9 RETROVISORS

Aquests elements obligatoris per motius de seguretat suposen un problema pels equips ja que generen *drag* sense generar càrrega aerodinàmica. Per fer que aquests aportin ganàncies aerodinàmiques es dissenyaran l'estil dels que té el Porsche 911 GT3 RSR, que encara que no és un F1 aporta una solució molt assenyada ja que els enginyers de la marca alemanya van aplicar la forma d'un perfil alar. En el GDF1-33 també es dissenyaran així amb l'addició d'un *flap* superior i un altre inferior.



Imatge 37. Retrovisor Porsche GT3 RSR 991. Imatge pròpia

## 9. PROCÉS DE DISSENY D'UN FÓRMULA 1 PROPI

### 9.1 EL PROGRAMA *SOLIDWORKS*

Com ja s'ha mencionat anteriorment el disseny es durà a terme mitjançant el *software* de disseny 3D *Solidworks*.

Aquest és un dels programes més utilitzats en l'àmbit del disseny en qualsevol àrea de l'enginyeria ja que permet dissenyar tot tipus de peces. És un instrument amb un funcionament complex per una persona que mai l'ha utilitzat anteriorment degut a que disposa de múltiples funcions. És per aquest motiu que totes les empreses que es dediquen a l'elaboració de peces demanen una experiència o una sèrie de coneixements previs en aquest tipus d'eines.

En el cas d'aquest projecte l'experiència inicial era pràcticament nul·la, ja que l'única noció amb aquest *software* va ser intentar copiar el procés d'elaboració de l'aleró davant de Williams mitjançant un videotutorial amb la versió *beta* del programa molt anteriorment d'haver iniciat aquest projecte. Per tant, abans d'iniciar el disseny hi va haver una breu instrucció inicial mitjançant la lectura de la guia que proporciona el propi programa així com la visualització de tutorials, per tenir una major familiarització amb l'eina utilitzada.

### 9.2 DISSENY DEL MONOCASC I XASSÍS

Per fer el disseny d'aquest element tan important en el funcionament del monoplaça es va mirar primerament la regulació tècnica de la Federació Internacional d'Automobilisme, ja que és una zona que està estrictament regulada degut a que es la superfície del vehicle protegeix al pilot de qualsevol tipus de col·lisió.

Així doncs, la normativa estableix que des d'un punt de vista frontal ha de tenir una dimensió de 300 mm X 300 mm on les vores han de tenir un radi de 50 mm per protegir les cames del pilot.

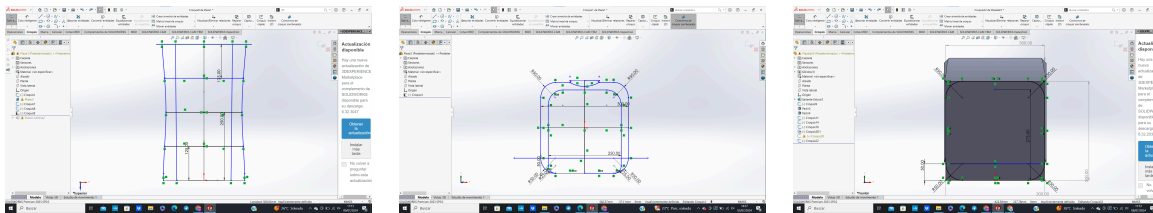
Durant el primer disseny d'aquest element es va fer el croquis de les superfícies interiors, però posteriorment van ser eliminades ja que nivell aerodinàmic no tenen cap interacció amb el comportament del flux.

A més en lloc de fer el primer bloc amb un punt de vista frontal es va amb un de planta ja que la intenció era la de després retallar el bloc des d'un de perfil per fer

que la figura descrivís una corba en la que l'aire s'acceleraria, tot això conservant el fet de que complís la normativa. Es va realitzar de tal manera degut a que de la inicial hauria estat necessària la creació de més peces, en lloc de tenir un únic bloc.

Un error que es va cometre a l'inici del disseny, que va fer que el procés d'elaboració fos menys òptim, va ser que es va fer en tots dos eixos del vehicle (esquerra i dreta). Degut a la inexperiència en el programa, no es va aplicar la funció "crear simetria d'identitats" que permet fer tan sols la peça en un únic extrem del monoplaça per després poder fer una còpia exacta de l'element i amb la orientació correcta. És per aquest motiu que el monocasc i el nas del vehicle són les úniques parts de tot el GDF1-33 que es van fer a tots dos extrems.

Es va fer una primera versió, però, no va resultar vàlida ja que era molt curta, fet que provocaria una creació de *downforce* menor. Per tant revisant el reglament es va poder fer l'element amb una llargada major, tot i que, cal aclarir que es va fer a partir de la primera versió ja que des d'un inici tenia la filosofia de disseny que es va plantejar al principi del disseny.



Imatge 37,38,39. Disseny del monocasc i el xassís. Imatge pròpia

### 9.3 NAS I ALERÓ DAVANTER

Seguint amb la filosofia de disseny plantejada al punt número vuit, es va dissenyar el nas del vehicle. El disseny d'aquest element es va fer en conjunt amb l'ala davantera ja que són dos elements que treballen en conjunt.

En el cas del nas el disseny es va fer de manera ràpida degut a que no és un element complex a l'hora de crear. A més, amb el que es va aprendre anteriorment amb el disseny del monocasc ja es va començar l'elaboració del bloc amb la vista de planta per posteriorment ser tallada des del punt de vista de perfil per aplicar la corba proposada a les bases del disseny.

Tot i això, també va passar el mateix que a l'element anterior i és que aquest no era tot el llarg que la FIA permet. Així doncs, es va aplicar la mateixa solució que a l'apartat anterior, la qual va funcionar.

També es va realitzar la instal·lació de les càmeres *onboard* obligatòries per reglament. Tot i que cal aclarir que aquestes les dona la competició a cada escuderia, és a dir són dissenyades per la Fórmula 1, però en el disseny del GDF1-33 s'ha imitat ja que és un element que s'acaba tenint en compte en la creació del vehicle. Cal aclarir que es van afegir en l'última fase del disseny de tot el monoplaça.

L'aleró davanter, en canvi, va ser tot el contrari. El procés d'elaboració es va allargar en excés, ja que l'objectiu era que aquest es produís en tan sols una setmana per accelerar el procés de producció, tal i com fan als equips del mundial. Però, degut a la complexitat del disseny de l'ala, ja que és plena de corbes a la seva superfície per generar la màxima càrrega aerodinàmica, es va acabar a les tres setmanes de ser començat.

La causa va estar, a més de la inexperiència, en què es necessitava que tots els plans de l'aleró menys el principal tinguessin un cert grau d'inclinació per generar càrrega aerodinàmica. Per fer-ho, es va continuar amb el mateix procés que les peces anteriors, però va resultar inútil ja que no hi havia separació entre els elements de l'ala.

Així doncs, la solució proposada va ser la de començar el croquis amb un punt de vista frontal. En un principi semblava una bona proposta, però el problema va estar a l'hora d'inclinar els *flaps*, ja que quan estaven la posició desitjada (aquesta és estàndard ja que segons el circuit varia) no descrivien una forma de perfil alar i per tant no generaven càrrega aerodinàmica.

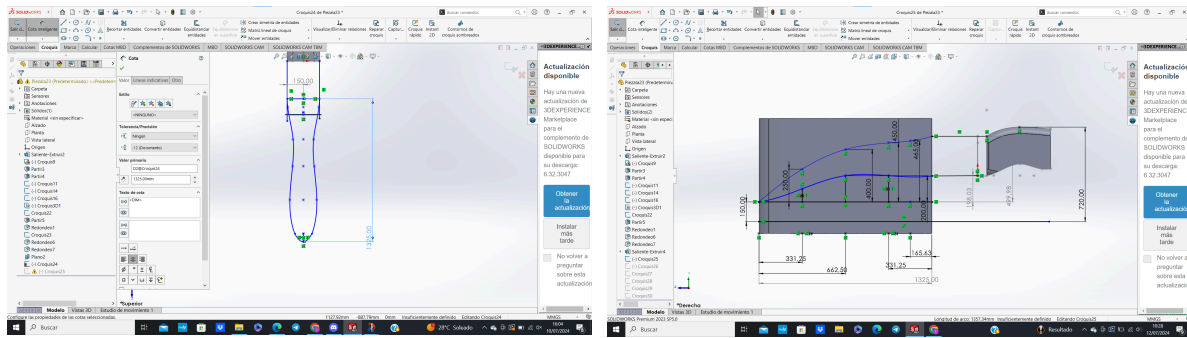
Per últim, la solució va ser dissenyar cada element que conforma l'ala per separat amb la vista de planta, per després des d'un punt de vista lateral aplicar la forma de perfil alar i posteriorment aplicar la funció "arrodoniment" a les vores tant davanteres (en les que es seleccionaven tant la part superior com inferior del *flap*) com posteriors (en les que només es seleccionava la part inferior del pla alar ja que aquesta part havia d'acabar en punta) per perfeccionar la forma de perfil alar i generar càrrega aerodinàmica.

Després de dissenyar la part que més complexitat tenia, es van dissenyar els extrems de l'aleró en els que l'única complicació va ser haver de quadrar cada peça del final de l'ala amb la principal i amb la resta d'elements per evitar que es solapessin entre ells i que passessin a ser la mateixa peça a causa d'un grau d'inclinació incorrecte.

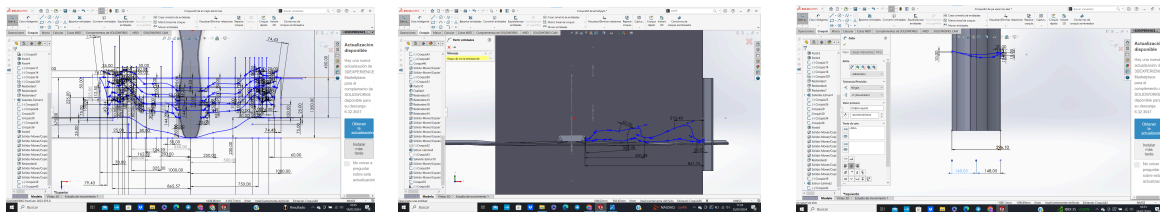
Per finalitzar tota la peça sencera es van dissenyar els vuit suports obligatoris per normativa amb la seva col·locació específica i estratègica explicada al punt anterior.

Cal afegir que en aquesta peça, menys en la primera versió, ja es va començar a aplicar el comandament “crear simetria d’identitats” per estalviar temps que posteriorment, un cop demostrat que funcionava, es va aplicar per a la resta del vehicle durant l’última fase del disseny del GDF1-33 .

Per finalitzar, també van haver una sèrie de problemes, exents a la creació del vehicle, que van fer més difícil el disseny del monoplaça, ja que aquests provocaven l’eliminació de peces i per tant suposaven una repetició total de l’elaboració de la peça en qüestió o bé començar des del punt de partida en el que s’havia deixat el document en l’última sessió de treball. Per poder solucionar aquests episodis es van guardar tots el canvis realitzats un cop acabats durant la resta del disseny.



**Imatge 40,41.** Disseny de la primera versió del nas on es pot apreciar que tant el nas com el monocasc eren de petita llargària a l’inici. Imatge pròpia



**Imatge 42,43,44.** Les tres versions de l’ala davantera. Imatge pròpia.

## 9.4 DISSENY DEL ROLL-HUB I PONTONS

Aquestes àrees que treballen pràcticament en conjunt van ser dissenyades també d’aquesta manera i no van presentar moltes complicacions.

En el cas del *roll-hub* va haver una diferència en quant al procés de creació respecte a la resta de peces. Com que aquest no presenta cap corba des d'un punt de vista de perfil, es va el·laborar des d'un punt de vista frontal.

Posteriorment, es van afegir una peça en la seva superfície al final del disseny del GDF1-33 a la que es va aplicar una corba des d'un punt de vista de planta per generar menys *drag*.

En el cas del pontó es va fer per diverses peces. Primer es va crear una general, seguint un procés diferent a la resta del vehicle ja que es va començar amb un punt de vista de perfil i va ser retallada des d'un punt de vista de planta. Aquesta primera va ser reforçada amb una altra, dissenyada de la mateixa manera, de majors dimensions per fer el disseny tal i com s'havia plantejat.

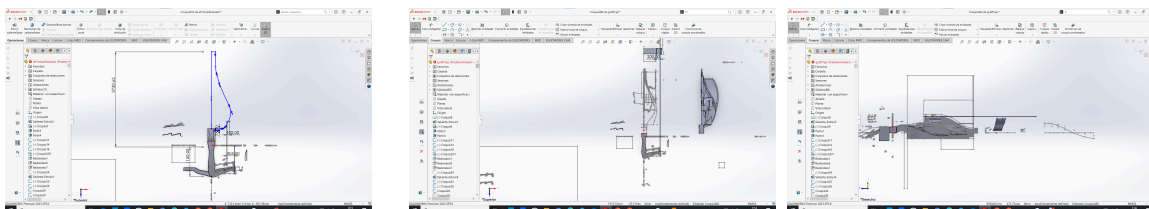
Sobre aquestes dues últimes es van afegir tres més per canalitzar l'aire cap a les zones dessitjades. Totes aquestes es van fer des d'un punt de vista de planta i posteriorment es va aplicar la forma desitjada des d'un punt de vista de perfil.

El principal problema amb aquestes va ser que a l'hora de ser creades es solapaven amb les peces principals i no es podia canviar la seva posició, suposant una repetició del disseny de la peça.

També es van fer tres canalitzacions per a la part superior del pontó i la posterior del *roll-hub*. Aquest cop es van realitzar de la mateixa manera que les dues primeres peces del pontó i van suposar els mateixos problemes que les canalitzacions anteriors.

També es va realitzar l'anomenada *shark finn* que es va realitzar fàcilment sense cap tipus de problema mitjançant un punt de vista de perfil.

Altres problemes que van sorgir va ser l'eliminació de peces que va afectar a altres parts del monoplaça com l'aleró davanter com ja s'ha explicat en el subpunt anterior.



Imatge 45,46,47. Disseny del pontó. Imatge pròpia.





## 9.6 DISSENY DE LA GEOMETRIA DE SUSPENSÍO, RECOBRIMENT DE LES RODES I CONDUCTES DE REFRIGERACIÓ DELS FRENS

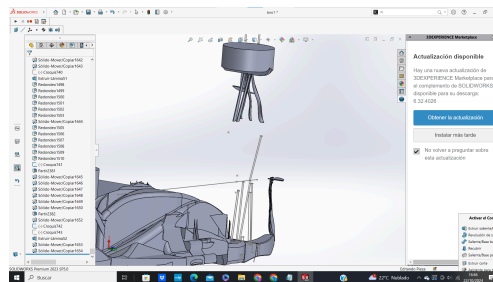
El disseny de la geometria de suspensió, el recobriment de les rodes i els conductes de refrigeració es van fer en conjunt, ja que per qüestions estructurals i optimització d'espai era el més idoni, per evitar que es solapessin entre ells.

En primer lloc, dins del disseny conjunt, es van fer les suspensions que es van realitzar de la mateixa manera que l'ala davantera degut a que com s'ha explicat en el punt anterior es buscava un aprofitament aerodinàmic d'aquesta àrea. Tot això tant a la part anterior com posterior del vehicle.

El recobriment de les rodes es va fer mitjançant la vista frontal, i posteriorment la lateral. A més es va aplicar la funció "arrodoniment" per tal de que fos el més aerodinàmic possible. La part interior d'aquest, en canvi es va dissenyar de la mateixa manera el flap i els perfils alars que en l'aleró davanter.

Per últim, els conductes de refrigeració dels frens tant davanters com posteriors es van fer mitjançant dues peces, una principal que es va fer fent el croquis des d'un punt de vista de perfil y després una secundària que es va fer amb la vista de planta i que tenia com a funció tapar l'entrada de refrigeració. Paral·lelament a aquests es van fer els aletins del recobriment de les rodes (només en les posteriors) que es van fer igual que els perfils alars de l'aleró posterior però amb una mida molt menor.

Per finalitzar amb el disseny d'aquesta part del vehicle es van col·locar les suspensions de la manera desitjada. Tot i que, cal aclarir que en una situació real es tindrien contactes amb el departament de suspensió per saber si seria factible aquesta disposició, que probablement ho seria ja que no és molt diferent a la disposició habitual però sempre hi ha d'haver la confirmació per part de l'equip tècnic especialista en l'àrea determinada.



**Imatge 49.** Disseny de la geometria de suspensió, recobriment de les rodes i conducte de refrigeració dels frens. Imatge pròpia

## 9.7 DISSENY DEL SÒL, CONDUCTES DE VENTURI, GENERADOR DE VÒRTEX I DIFUSOR

De tots els elements, el primer que es va dissenyar van ser els conductes de Venturi ja que son la part inicial del sòl i a més coincideix amb la part inferior del pontó. Així doncs consta de dos peces més quatre *flaps*.

Primerament es va fer una peça superior amb la vista lateral, que posteriorment es va complementar amb una altra que es va fer des del punt de vista de planta i va ser retallada des del frontal i el de perfil per tenir la figura plantejada des del principi . Els flaps es van fer igual que el de l'extrem de l'ala davantera y es van col·locar en la seva respectiva posició estratègica.

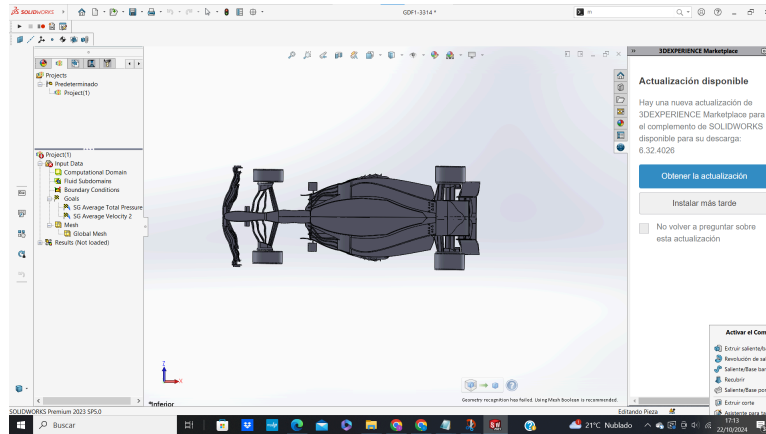
Després es van realitzar els generadors de vòrtex que es van fer primerament amb el croquis de perfil i posteriorment es va retallar des de la vista de planta. El mateix procés es va seguir amb els aletins.

El sòl es va crear mitjançant una peça central per fer la taula reglamentària, aquesta a més va servir com a paret de interior del pontó ja que descrivia una forma "d'ampolla de Coca-Cola" que era aprofitable pel disseny. Amés s'hi va afegir un canal per accelerar l'aire que es va fer amb la vista de planta i posteriorment amb la de perfil per aplicar les corbes dessitjades.

Per acabar amb tot el disseny del sol es va fer el difusor de manera molt ràpida sense cap tipus de problema, s'hi va aplicar la vista lateral per crear la zona d'extracció del flux i posteriorment també s'hi va aplicar la mateixa per fer les parets.

Per últim, es va crear el volum del difusor amb la vista frontal y posteriorment s'hi va aplicar la vista de perfil per poder donar la forma plantejada a l'inici de la creació del GDF1-33.

Degut a tota l'experiència i coneixements adquirits durant la producció del monoplaça va ser una part relativament fàcil de realitzar que a més no tenia una gran complexitat en quant requerir grans habilitats en *Solidworks*.



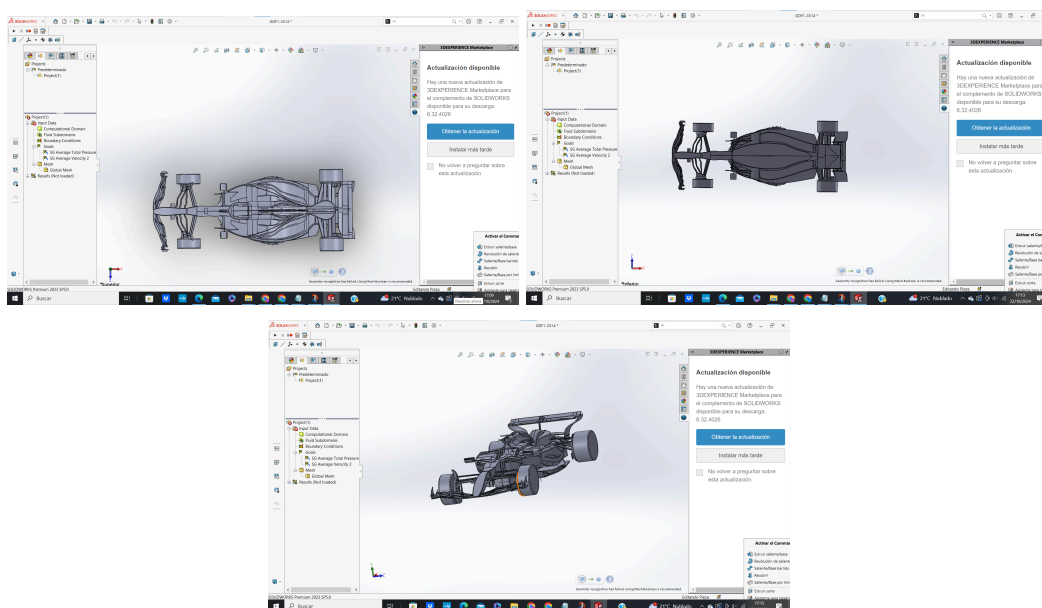
Imatge 50. Sòl del GDF1-33. Imatge pròpia

## 9.8 DISSENY DE RETROVISORS I HALO

Per finalitzar el monoplaça es van dissenyar els dos últims elements obligatoris per reglamentació.

Per crear els retrovisors es va fer primerament el suport d'aquests amb l'ús de la vista frontal y posteriorment de perfil per a que la seva forma fos la correcta. També es va aplicar el mateix procés per al mirall seguint les mesures que determina la FIA de 200 mm x 50mm. Posteriorment per als aletins es va aplicar el mateix procés que s'hi va aplicar en la resta d'aquests elements del vehicle

Per últim per l'*halo* es va fer mitjà de la vista lateral i es va retallar amb la vista de planta.



Imatge 51,52,53. El GDF1-33 des de diferents punts de vista, Imatge pròpia

## 10. PROVES EN CFD

Un cop el disseny del GDF1-33 va ser realitzat es van fer les proves en CFD, en les que es podria observar el recorregut del flux i el comportament d'aquest al llarg de la superfície del vehicle.

Degut a raons de pressupost el programa utilitzat no va ser el mateix que utilitzen les escuderies. A més, el que utilitzen els equips està sincronitzat amb la FIA per evitar que els equips sobrepassin les hores permeses assignades i així establir un control sobre aquestes. De tal manera que va ser necessària la recerca d'un *software* de simulació de fluids computacional gratuït, ja que d'aquesta manera no seria de la gran potència dels que s'utilitzen en la indústria enginyeril i els resultats podrien ser carregats per l'ordenador en el que es realitzaria la prova.

Aquesta va suposar una inversió de temps major a la prevista ja que per utilitzar determinats programes era necessari formar part d'empreses relacionades amb el sector de l'enginyeria. Tot i aquest inconvenient es va trobar una opció gratuïta amb la que era possible tenir una idea general (no exacta) sobre el comportament del flux, la qual era *SimScale*.

El programa escollit no requería de cap tipus de descàrrega ja que era *online*.

Cal recalcar que la utilització d'aquest tipus de programes pot suposar l'aparició d'errors en la simulació respecte a la superfície del cos probat, és a dir quan aquest està dissenyat de manera pròpia i s'importa al *software* és possible que aquest alteri la superfície de l'objecte. Aquest problema s'origina per la qualitat tant del programa utilitzat com la de l'ordinador que no és capaç de carregar correctament. En canvi aquest fenomen no té lloc quan s'opta per provar algun dels dissenys que proporciona el propi *SimScale*.

Així doncs, per realitzar la simulació es va importar l'arxiu *SolidWorks* (SLDPRT) del GDF1-33. Es va escollir aquest format degut a que el *software* ho recomana.

Un cop realitzada, es va crear una malla a la superfície del cos. Aquest pas és necessari en totes les simulacions per CFD ja que s'encarrega de que la prova es realitzi a tota la superfície de l'objecte.

Per executar aquesta operació primer es va haver d'utilitzar la funció "*wrap*" en la que tot el vehicle era considerat com una única peça, ja que si no es realitzava de dita manera el programa el detectava com a massa complex i no podia realitzar la malla.

Posteriorment es va crear una “*flow region*” en la que s’indicava al *software* la regió rectangular en la qual circularia l’aire. Degut a les característiques del programa aquesta es va haver de fer en una meitat del vehicle ja que si es feia de manera completa era massa complex i no era possible realitzar l’operació, però no representava un gran problema degut a que el monoplaça és simètric, de manera que es comporta de la mateixa manera tots dos eixos.

Finalment, un cop acabada la “*flow region*” es va indicar al *software* que l’aire circulava en aquesta entrant per la cara frontal a una velocitat de 94 m/s en l’eix x, sent les cares laterals considerades com a murs juntament amb la superior i la inferior, però aquesta última com a mur mòbil (per representar l’efecte de la pista) i la cara frontal posterior com a sensor de pressió de sortida.

Una vegada establerts tots els paràmetres es va realitzar la simulació.

Aquesta va ser útil sobre el comportament del flux en el vehicle, però va donar pitjors resultats als previstos degut a que la superfície del monoplaça va ser alterada creant volums que provocaven la separació del flux, que no formaven part del disseny original. Aquests són apreciables en tota la superfície del prototip. A més en zones com l’alerò posterior es va crear una paret que ocupava l’espai buit entre el pla inferior de l’ala i els *beam wings*, que és tradueix en la formació de *drag* i de flux turbulent. També trobem aquest fenomen en els retrovisors, a l’*halo*, a les suspensions i l’ala davantera.

Encara que les alteracions de la superfície del GDF1-33 van suposar un problema, es va poder apreciar com la pressió, tot i que estava alterada de manera negativa per aquestes no va pujar massa i es va mantenir relativament baixa. Aquesta informació ve donada pel color de les línies que simulen el flux que és mantenien en una tonalitat entre blau i verd suau, menys a les rodes on sempre hi ha altes pressions (sent el color blau el representant de la baixa pressió i el vermell de l’alta).

També es podien observar altres aspectes positius com que el flux turbulent generat pels volums creats pel programa, posteriorment es tornava a adherir a la superfície del vehicle, el que indica que sense aquest problema extern al disseny el resultat seria una adherència completa al llarg de tot el monoplaça.

A més es va poder comprovar que els retrovisors generaven càrrega aerodinàmica amb la forma aplicada i baixaven la pressió del flux.

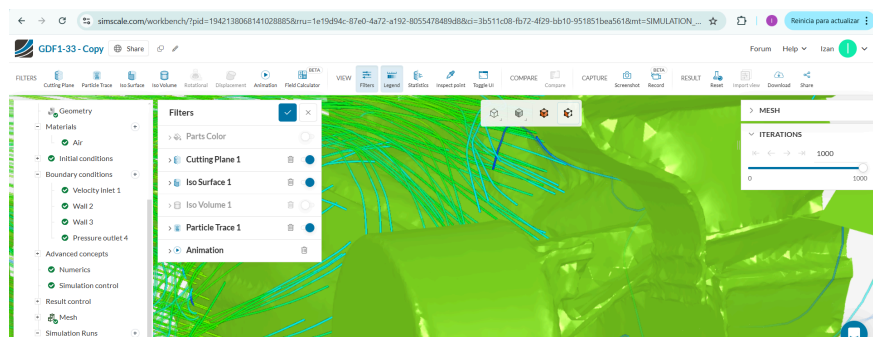
Altres aspectes positius van ser el fet de que malgrat tots els problemes els pontons i la superfície al voltant del *roll-hub* acceleraven el flux a la part posterior del monoplaça i a més es formaven vòrtex a la part entre el difusor i la roda que afavorien el bon comportament del difusor.



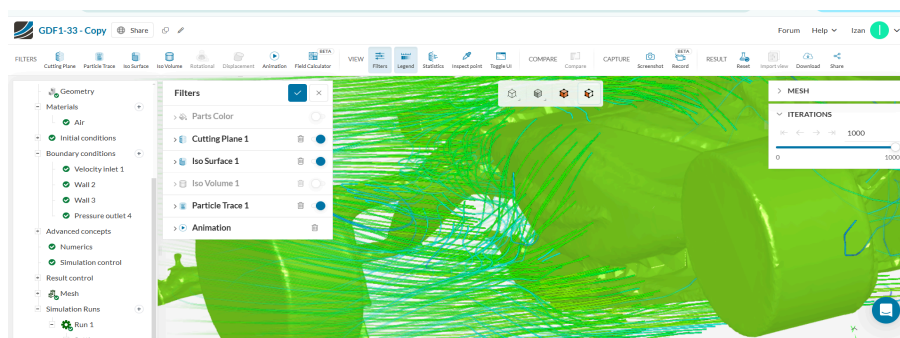
D'altra banda hi van haver aspectes negatius com la poca informació que es va poder extreure del sòl del vehicle degut a les separacions de flux produïdes per les irregularitats en la superfície externes al disseny. A més, tot i que els resultats del sòl van ser molt positius, va ser impossible determinar la funció del segments triangulars situats a l'inci del difusor ja que van quedar coberts pels volums que es van crear durant la simulació també externs al disseny. El mateix fenomen es va produir amb el generador de vòrtex.

Per últim, es va determinar que a l'ala davantera se li havia d'aplicar un major grau d'atac per generar els vòrtex proposats a l'inici del disseny, tot i que genera molta càrrega aerodinàmica i a la zona de l'*endplate* es consegueix generar un efecte d'*outwash* el que resulta molt positiu.

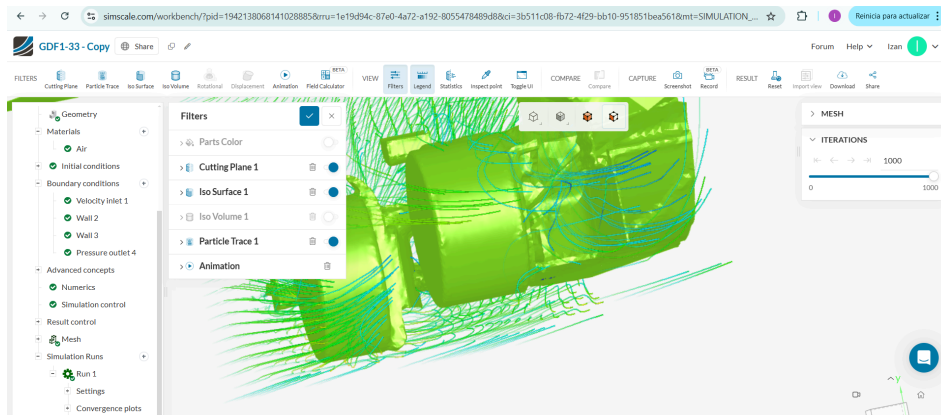
Per acabar, es va fer una comparativa amb un model que ofereix el propi *SimScale*, que era una còpia del AMR 24, l'actual vehicle d'Aston Martin i encara que aquest tenia un flux de menor pressió s'acabava separant de la superfície del vehicle en la part dels pontons i l'aire acaba col·lionant amb les rodes (sense tenir la superfície alterada com sí passava en el GDF1-33) i per tant generant *drag*, de manera que el vehicle dissenyat seria més eficient.



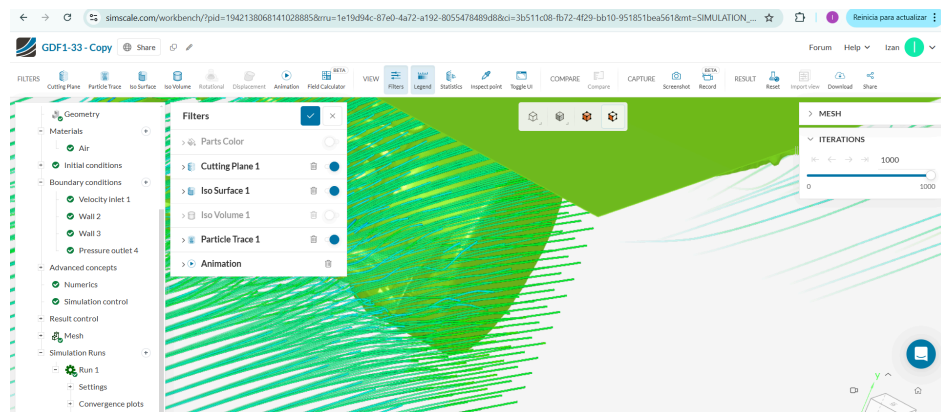
Imatge 54. El flux al final del pontó del GDF1-33, Imatge pròpia



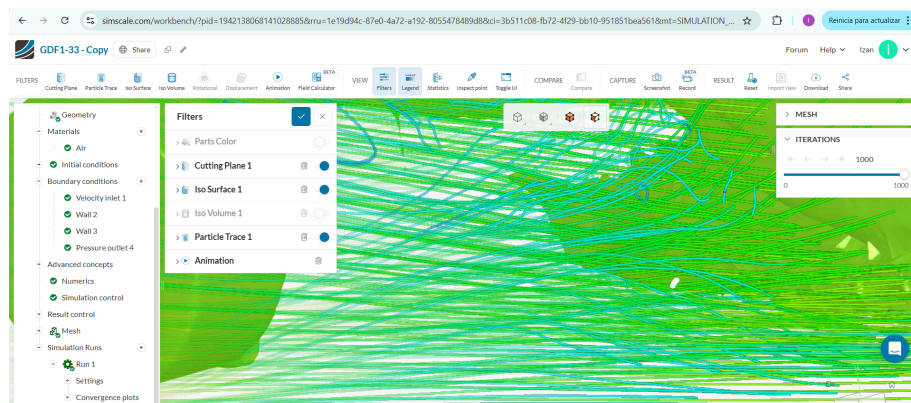
Imatge 55. El flux a la part central del pontó del GDF1-33, Imatge pròpia



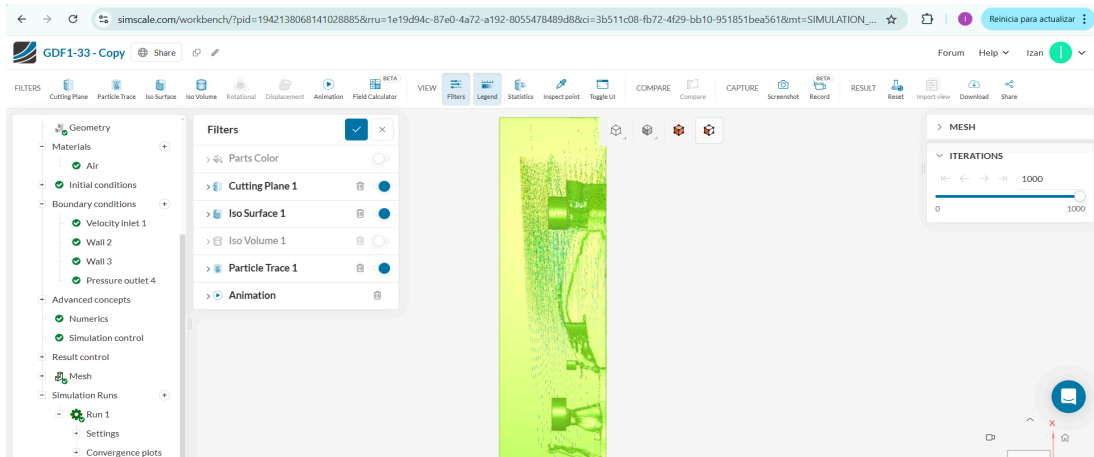
**Imatge 56.** El flux a la part del difusor del GDF1-33, Imatge pròpia



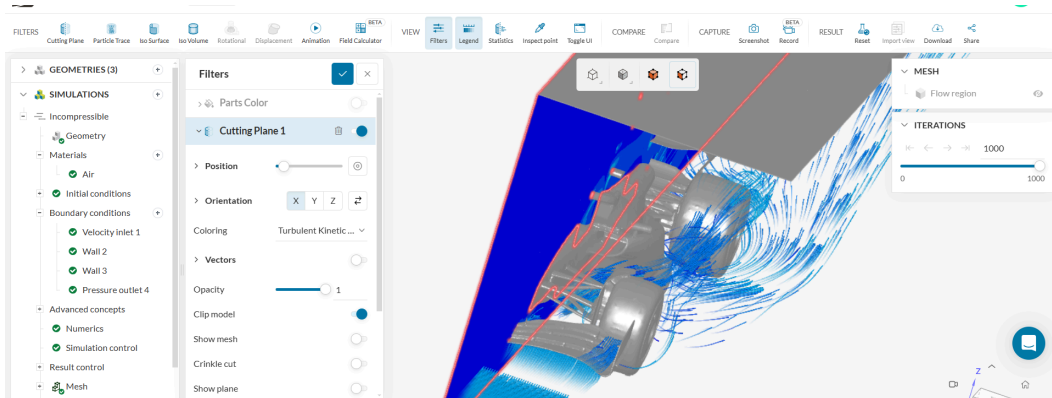
**Imatge 57.** El flux a l'ala davantera del GDF1-33, Imatge pròpia



**Imatge 58.** El flux a l'entrada dels conductes de Venturi del GDF1-33, Imatge pròpia



**Imatge 59.** El flux al sòl del GDF1-33, Imatge pròpia



**Imatge 60.** Flux del AMR 24, Imatge pròpia

## 11. IMPRESSIÓ DEL MODEL 3D

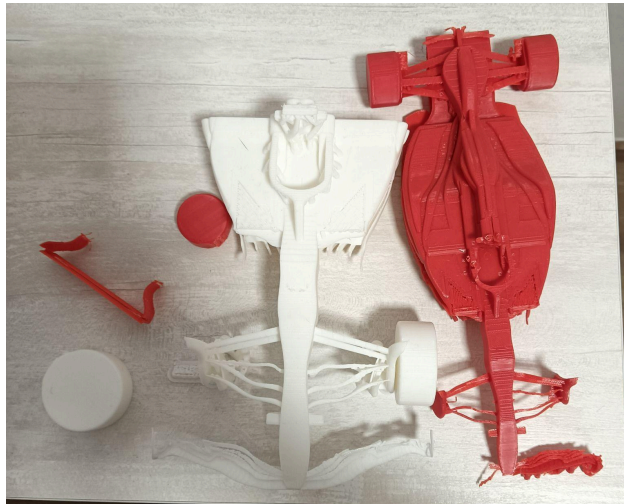
Un cop finalitzat el disseny en *Solidworks* i les proves en CFD, es va passar l'arxiu a format “(.STL)” per poder imprimir-lo a la impressora 3D.

En un primer moment no es tenia la certesa de que s'imprimís de manera correcta es va fer una primera versió de petites dimensions per a que es pogués imprimir de manera completa. Per tal de que tots els elements del vehicle fossin ben impresos es van crear imprimir amb el monoplça una sèrie de branques que donaven suport a aquests y que després havien de ser eliminades.

Aquesta primera impressió va complir amb els objectius proposats de manera que es va imprimir una segona versió més gran que supondria la impressió de dos parts del vehicle per separat per després ser unides. Cal aclarir, que en el procés d'eliminació de les branques en la primera versió va comportar la no impressió

d'elements com ara els generadors de vòrtex i les parets del difusor i també la rotura de peces com l'ala posterior, la davantera, i parts de l'*halo*.

De la segona versió només es va imprimir la part davantera que es va imprimir de millor manera i va ser molt més fàcil eliminar tots els elements de suport, tot i que s'hi van haver d'enganxar parts de l'aleró davanter i de la suspensió degut a que eren peces molt primes, posteriorment. Al resultar exitós es va finalitzar el procés puliment sense haver-ho acabat ja que es va decidir fer una tercera i última versió més gran.



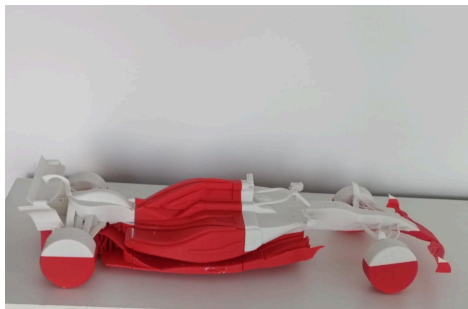
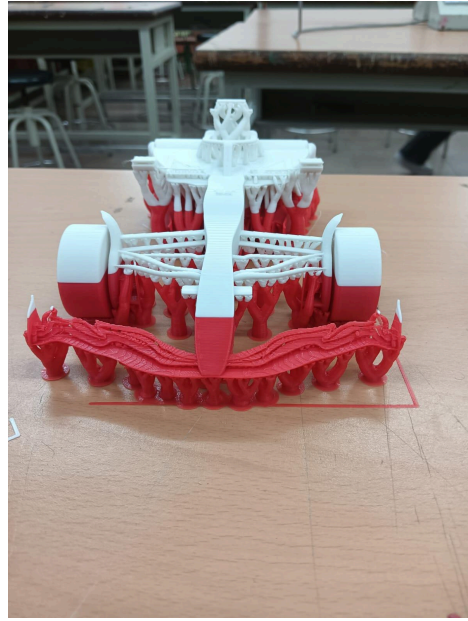
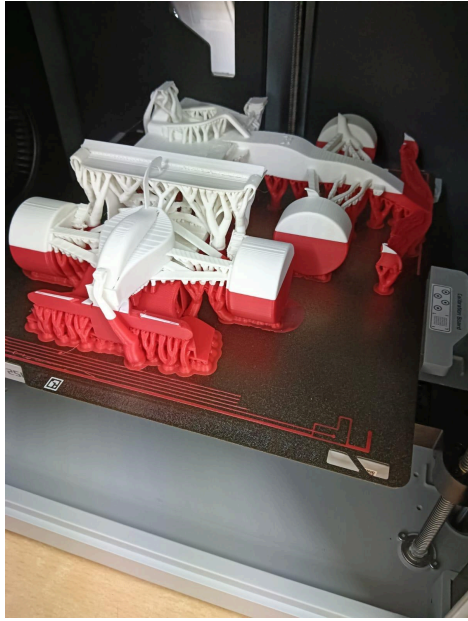
**Imatge 61.** Primera i segona versió. Imatge pròpia

Aquesta constaria en imprimir el GDF1-33 en tres parts (davantera, mitjana i posterior) per fer el vehicle el més gran possible.

Finalment es va imprimir de manera correcta y presentava tots els elements dissenyats anteriorment, tot i que cal admitir que el generador de vòrtex no es va imprimir de la mateixa manera de la que havia estat dissenyat degut a la seva forma. Aquest cop, amb elements com el de les suspensions molt més grans va ser molt més fàcil pulir el vehicle. Finalment, un cop eliminades totes aquelles parts que no formaven part del disseny s'hi van enganxar les tres parts i el GDF1-33 ja estava finalitzat.

Cal recalcar, que en tots el casos s'hi van haver d'eliminar els retrovisors i les rodes davanteres per posteriorment ser enganxats.





Imatge 62,63,64,65. Versió final del GDF1-33. Imatge pròpia

## 12. PROVES AERODINÀMIQUES AMB FILS

Per poder tenir una simulació el més semblant possible a la que trobaríem en circuit es va fer una prova aerodinàmica pel mètode dels “fils de llana”.

En el cas del GDF1-33 s'hi van utilitzar fils de cosir ja que són més prims que els de llana i es pot visualitzar millor el recorregut de l'aire.

Tal i com es fa a l'alta competició, encara que sembli sorprenent, s'hi van enganxar els fils amb cinta a la superfície del vehicle. Per tal d'evitar que els fils tinguessin contacte entre ells i quedessin enredats abans de començar la prova es van enganxar de manera diferent en cada costat, ja que al ser simètric l'efecte és el mateix en totes dues zones, de tal manera que en una part es cobria una zona determinada i en l'altre la superfície que es va deixar de tapar en l'altre extrem de manera que quedava tot cobert sense que els fils es juntessin abans de començar la prova.

Posteriorment amb un secador de cabell es va llençar aire contra el vehicle.

Es va provar tant en línia respecte al vehicle com en la part lateral del frontal per simular els revolts.

En totes dues proves els fils continuaven la forma del vehicle, això indica que l'aire s'adheria a la superfície del monoplaça de tal manera que no hi havia pràcticament separació de flux i que per tant es generava càrrega aerodinàmica. Però, el que també es va descobrir és que hi havia una petita separació de flux en la part inicial de pontó als revolts de gran velocitat, en canvi, això no passava en les de mitjana i petita velocitat. Aquest anàlisi és gràcies a que s'hi van posar diferents intensitats de potència al secador.

També es va descobrir que en els extrems de l'ala davantera i la posterior i darrere dels generadors de vòrtex els fils es movien descrivint corbes, la qual cosa indica que s'hi podrien estar generant vòrtex en aquestes àrees i per tant complint l'objectiu establert a l'inici.

Videos propis de les proves:

[https://drive.google.com/file/d/1r\\_FiZMOHASFKKdkN\\_pr76dyRv9Hr1IN/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1r_FiZMOHASFKKdkN_pr76dyRv9Hr1IN/view?usp=drive_link)

[https://drive.google.com/file/d/1IKKGRP8Cbt9a\\_hfO268Y8oewsTfXRcAO/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1IKKGRP8Cbt9a_hfO268Y8oewsTfXRcAO/view?usp=drive_link)

[https://drive.google.com/file/d/1MUiRrPmg-EOUPkyTFvdpUEI58nBe\\_Yqc/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1MUiRrPmg-EOUPkyTFvdpUEI58nBe_Yqc/view?usp=drive_link)

[https://drive.google.com/file/d/1HavUt6m6gwmHDGS4GeL-RuYDf1crgSbD/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1HavUt6m6gwmHDGS4GeL-RuYDf1crgSbD/view?usp=drive_link)

[https://drive.google.com/file/d/1MxlcTtKE5j4CzNV4a26kbWvcy4BtTfq/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1MxlcTtKE5j4CzNV4a26kbWvcy4BtTfq/view?usp=drive_link)



## 13. CONCLUSIONS

Després d'haver realitzat tota la investigació es pot arribar a diverses conclusions, per respondre les preguntes plantejades a l'inici d'aquesta.

En primer lloc, realitzar el disseny aerodinàmic d'un Fòrmula 1 actual seguint la reglamentació tècnica vigent és una activitat que requereix la presència d'un coneixement tècnic, normatiu i informàtic previ.

En cas de no tenir-ho aquest pot passar a ser un projecte molt més costós de realitzar i que requereixi gran quantitat de temps de treball en el qual s'inverteix més part d'aquest en aprendre que en realitzar el disseny en sí. En el meu cas aquest aspecte s'ha vist reflectit en tot el temps invertit en entendre i adquirir habilitats en en el *software SolidWorks*. En canvi, en un equip de Fòrmula 1 el treball es centra merament en fabricar el monoplaça de manera que disposen de més temps per realitzar diferents proves i per continuar millorant el vehicle.

A més, tot i que les proves indiquen que el GDF1-33 seria un vehicle competitiu, degut a que el moviment del flux resulta ser millor que el del AMR 24 , no es tenen els mitjans per tenir la possibilitat de realitzar el disseny, les proves en CFD, túnel de vent i simulador amb les millors tecnologies del món, que donen resultats molt propers a la realitat abans de provar el monoplaça en pista com sí succeeix a les fàbriques dels constructors del mundial.

Cal recalcar que la resposta a la pregunta:

***És possible realitzar i imprimir un disseny 3D d'un automòbil de Fòrmula 1, el qual segueix i respecta la normativa tècnica establerta per la FIA i que a més presenta unes característiques aerodinàmiques millors que la dels cotxes presents en la temporada 2024, sense haver tingut una experiència anterior en aquest àmbit de l'enginyeria ?***

No podrà mai ser donada amb total certesa, ja que per demostrar-ho s'haurien de fer proves en circuit amb el model dissenyat degut a què tal i com succeeix a la gran competició on tots els mitjans de producció i prova són els de la major qualitat a nivell mundial els resultats que aquests ofereixen en moltes ocasions es tradueixen en un rendiment diferent en pista. És per aquest motiu que en ocasions quan els equips introdueixen millores aquestes resulten ser tot el contrari, encara que les simulacions realitzades a la fàbrica indiquin una evolució positiva en el rendiment d'aquest.

Cal recalcar, que tot i això, sí es poden realitzar prediccions sobre el rendiment del monoplaça i en el cas del GDF1-33 han resultat positives tant en les proves en CFD com en les realitzades amb els fils de llana. A més també es pot determinar que el vehicle tindria un millor rendiment aerodinàmic en cas de tenir una ala davantera amb un major angle d'inclinació per generar més vòrtex i en addició s'hauria d'afegir un pontó més estret per evitar la separació del flux en els revolts de gran velocitat.

També es pot donar resposta la pregunta:

- Com afecta el disseny aerodinàmic al comportament del vehicle?

Mediant tota la investigació es pot concloure que el disseny aerodinàmic és un element clau per determinar si el funcionament del monoplaça es competitiu o no, ja que d'aquest depén que sigui ràpid als revolts que és on s'aconsegueix marcar la diferència respecte a la resta de competidors. Motiu pel qual tots els constructos inverteixen una gran quantitat del seu pressupost en desenvolupar el seu vehicle aerodinàmicament. És evident, que la unitat de potència també disposa d'un paper molt important, però revisant la història de l'esport es pot observar com l'àrea estudiada en aquest treball ha anat adquirint cada cop més importància, sent els anys seixanta un punt d'inflexió amb la incorporació dels primers alerons.

Per últim, per donar resposta a les preguntes:

- Com es poden generar vòrtex aerodinàmics?
- Com interpretar una pràctica de CFD?

Es pot determinar que per generar vòrtex és necessària la presència d'elements en punta per energetitzar el flux i fer que aquest deixi de ser laminar però sense ser turbulent. Tot i que en el cas del GDF1-33 resulta complicat determinar si aquests han estat generats o no degut a que, tot i que, els moviments del fils en la seva respectiva prova a les ales del vehicle indicaven que hi podrien ser presents, no es va poder consolidar dita informació amb la simulació en CFD degut a les irregularitats creades en la superfície del vehicle, externes al seu disseny, provocades pel *software* utilitzat.

Aquesta última simulació va ser interpretada mitjançant la visualització de les línies que descriuen la trajectòria de l'aire al topar-se amb el monoplaça amb les que era possible determinar si el flux actuava de la manera proposada a l'inici del disseny, és a dir, si existia la creació de vòrtex en zones d'interès o la presència de flux laminar en tota la resta del vehicle per generar d'aquesta manera la major quantitat de càrrega aerodinàmica possible, o sigui *downforce*, per fer que el GDF1-33 fos ràpid als revolts. A més aquestes línies també indiquen mitjançant el seu color si l'aire és

d'alta (color vermell) o baixa pressió (color blau) en totes les zones del vehicle. En el cas del dissenyat, malgrat tots el errors externs, la pressió es mantenia baixa en la gran part d'aquest menys a les rodes (com passa en tots els fòrmules amb rodes descobertes), sent aquest un resultat molt positiu que indica la creació d'un monoplaça competitiu.

## 14. AGRAÏMENTS

Vull agrair, la col·laboració dels meus dos tutors Yolanda Gea i Jaime Morcillo pels seus consells i orientacions durant l'elaboració del treball. A Yolanda per la seva ajuda durant la primera part del projecte, i a Jaime per ajudar-me a descarregar el programa *SolidWorks*, també per imprimir la maqueta totes les vegades que ha estat necessari, així com per totes les seves indicacions i consells a l'hora de realitzar aquesta.

També vull agrair l'ajuda incondicional de la meua família en especial a la meua mare Deborah Pascual, a la meua àvia Josefa Àlvarez i al meu avi Ricardo Pascual. Que en tot moment m'han motivat a continuar quan en moltes ocasions el disseny del monoplaça es complicava. A més, són els meus exemples a seguir degut a la fortalesa que mostren en situacions molt més difícils de les que he pogut viure en aquest projecte.

Per últim, però el més important de tots i responsable de tot això, vull agrair al meu Pare i Salvador Jesucrist per brindar-me aquesta oportunitat de realitzar l'activitat que en un futur vull que sigui la meua feina. A més ell ha fet que ho pugui realitzar en una bona atmosfera de treball on tant la part estudiantil i familiar han fet que sigui més fàcil. També ha fet que no perdés la fe en tots aquells moments on semblava impossible realitzar el disseny. És per aquest motiu que el nom de GDF1-33 prové de l'expressió anglesa "*God Did*" (Déu ho va fer), representant el 33 l'edat de Crist, ja que sense la seva ajuda no hagués estat possible.

## 15. WEBGRAFIA I BIBLIOGRAFIA

**Wikipedia.** *Temporada 2024 de Fórmula 1* [en línia]. [Consultat: 2 de maig de 2024]. Disponible a:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Temporada\\_2024\\_de\\_F%C3%B3rmula\\_1](https://es.wikipedia.org/wiki/Temporada_2024_de_F%C3%B3rmula_1).

**Carlos de Celis, José.** *Sistema de puntos y posiciones en el reparto de Fórmula 1* [en línia]. Motorsport.com [Consultat: 5 de maig de 2024]. Disponible a:  
<https://es.motorsport.com/f1/news/sistema-puntos-posiciones-reparto-formula1/6505476/>.

**Wikipedia.** *Campeonato Mundial de Pilotos de Fórmula 1* [en línia]. [Consultat: 5 de maig de 2024]. Disponible a:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Campeonato\\_Mundial\\_de\\_Pilotos\\_de\\_F%C3%B3rmula\\_1](https://es.wikipedia.org/wiki/Campeonato_Mundial_de_Pilotos_de_F%C3%B3rmula_1)

Netflix (2020): *El Hombre que Domaba las Máquinas*  
<https://www.netflix.com/es/title/80227556>

Informació sobre el conflicte FISA-FOCA:

*La Guerra FISA-FOCA | CLÁSICOS SOYMOTOR.COM.* Youtube, Carregat per SOYMOTOR, 8 de setembre de 2017,  
<https://youtu.be/Y4emNp8F5Yg?si=zkm4rpu6mvVCMScd>

Netflix (2010): *Senna. Sin miedo. Sin límites.*  
<https://www.netflix.com/es/title/70170051>

Netflix Fangio (2021): *Schumacher*  
<https://www.netflix.com/es/title/81399204>

*FERNANDO ALONSO "Un Asturiano asombra al mundo" - Documental Carreras F1 (Español).* Youtube, Carregat per Automovil RD , 8 de juliol de 2020,  
[https://youtu.be/zscZdvxOQ4A?si=E2\\_vX6q-Ar9X5uGL](https://youtu.be/zscZdvxOQ4A?si=E2_vX6q-Ar9X5uGL)

*[2021] Vuelve Alonso, Vuelve el Jefe (Documental Movistar F1).* Youtube, Carregat per Hemeroteca Farisea, 14 d'abril de 2021,  
[https://youtu.be/mi\\_FVEwtPhE?si=v7Yf-1OfogDE8XN1](https://youtu.be/mi_FVEwtPhE?si=v7Yf-1OfogDE8XN1)

*DOCUMENTAL FERNANDO ALONSO 2023 (ESCUDERIA FERNANDO ALONSO).*

Youtube, Carregat per F1 Abordo, 8 de març de 2023,

[https://youtu.be/677L0DH2P4g?si=X\\_an8E7DhvYopD2C](https://youtu.be/677L0DH2P4g?si=X_an8E7DhvYopD2C)

*Autodestrucción de McLaren | Alonso, R.Dennis| (Hungria 2007).* Youtube, Carregat per Markel Viota, 11 de novembre de 2012,

[https://youtu.be/MoRDzWWfh9c?si=jlch\\_3D\\_yqFrTKP8](https://youtu.be/MoRDzWWfh9c?si=jlch_3D_yqFrTKP8)

*Fernando Alonso y McLaren, la época oscura (Documental).* Youtube, Carregat per F1 All Seasons, 17 de setembre de 2020,

[https://youtu.be/WoJa\\_WCX5\\_8?si=iYZkupek2MLVV7JY](https://youtu.be/WoJa_WCX5_8?si=iYZkupek2MLVV7JY)

*ESTO NUNCA se SABRÁ del AÑO 2007....* Youtube, Carregat per Hablemos de F1, 8 de setembre de 2022,

[https://youtu.be/Ebr\\_mSxnh-Y?si=m\\_PD3WMg0mXyfp2W](https://youtu.be/Ebr_mSxnh-Y?si=m_PD3WMg0mXyfp2W)

*Polémica Pole Alonso 04/08/2007.* Youtube, Carregat per Gotrunks4, 4 d'agost de 2007,

<https://youtu.be/4O3yWe2L5q0?si=HhbrxuQiQbgjS6xd>

*Espionaje en la Formula 1 (Parte 1).* Youtube, Carregat per Terriman07, 16 de setembre de 2007,

[https://youtu.be/JOVCj\\_iOtpk?si=WJKwoJqNx\\_cGngN7](https://youtu.be/JOVCj_iOtpk?si=WJKwoJqNx_cGngN7)

Amazon Prime Video (2020): *Fernando*

[https://www.primevideo.com/dp/amzn1.dv.gti.089bd16a-c666-4611-8497-3baf49b1b6eb?autoplay=0&ref =atv\\_cf\\_strg\\_wb](https://www.primevideo.com/dp/amzn1.dv.gti.089bd16a-c666-4611-8497-3baf49b1b6eb?autoplay=0&ref =atv_cf_strg_wb)

**Plaza, David.** *El diccionario de la Fórmula 1: Las partes de un F1 y los neumáticos* [en línia]. Motor.es, 19 de Març del 2015 [Consultat: 13 de maig de 2024]. Disponible a:

<https://www.motor.es/formula-1/el-diccionario-de-la-formula-1-las-partes-de-un-f1-y-l-os-neumaticos-201520437.html>

Secció “fabregalecciones” dels programes previs a les carreres de DAZN F1/Movistar F1

Secció “El laboratorio de Toni” del programa Vamos Sobre Ruedas de Movistar.

**Newey, Adrian (2017).** *How to Build a Car.* Londres: Bantam Press.

Perfils d'instagram de:

<https://www.instagram.com/fudo2/>

<https://www.instagram.com/santicarm3/>

<https://www.instagram.com/scarbstech/>

[https://www.instagram.com/rosario\\_giuliana\\_design/](https://www.instagram.com/rosario_giuliana_design/)

<https://www.instagram.com/dr.obbs/>

<https://www.instagram.com/brrrake/>

<https://www.instagram.com/fdataanalysis/>



<https://www.instagram.com/aerodynamics.motorsport1/>

**Garcia Vita, Rodrigo.** *La evolución de los coches de F1: de 1950 hasta hoy* [en línia]. Topgear.com, 17 de juny de 2023 [Consultat: 16 de maig de 2024]

<https://www.topgear.es/noticias/motorsport/evolucion-coches-f1-1950-hoy-89062>

**Wikipedia.** *Campeonato Mundial de Constructores de Fórmula 1* [en línia].

[Consultat: 16 de maig de 2024]. Disponible a:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Campeonato\\_Mundial\\_de\\_Constructores\\_de\\_F%C3%B3rmula\\_1](https://es.wikipedia.org/wiki/Campeonato_Mundial_de_Constructores_de_F%C3%B3rmula_1)

**Katz, Joseph (1995).** *Race Car Aerodynamics: Designing for Speed*. Editorial Bentley (Robert) Inc.,US.

**Rosés, Francesc (2015).** *Així és la Fórmula 1*. Barcelona: Cossetània.

**Vinuesa, Juan Manuel.** *La evolución de los motores de la Fórmula 1*. Motor.es, 7 de febrer del 2024 [en línia]. [Consultat: 16 de maig de 2024]. Disponible a:

<https://www.motor.es/formula-1/evolucion-motores-f1-2024100166.html>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Campeonato\\_Mundial\\_de\\_Constructores\\_de\\_F%C3%B3rmula\\_1](https://es.wikipedia.org/wiki/Campeonato_Mundial_de_Constructores_de_F%C3%B3rmula_1)

*Cuando los F1 usaban combustible para cohetes!. Youtube*, Carregat per Driver 61 en Español, 14 de juny de 2022,

<https://youtu.be/Jz5qlAwkSlo?si=kPpm4Dfv4NJyyWHh>

Secció “fabregalecciones” dels programes previs a les carreres de DAZN F1/Movistar F1.

Secció “El laboratorio de Toni” del programa Vamos Sobre Ruedas de Movistar.

<https://www.aerodinamicaf1.com/teoria/>

Camúñez Ramos, Rubén. *Elementos y dispositivos aerodinámicos en la Fórmula 1: parte central del vehículo*. UPC, juny 2014 [en línia]. [Consultat: 16 de maig de 2024]. Disponible a:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24755/TFG%20memoria.pdf>

Secció d'anàlisis aerodinàmic del canal:

[https://youtube.com/@soymotor?si=FB1\\_vwLfaDsLm4NW](https://youtube.com/@soymotor?si=FB1_vwLfaDsLm4NW)

Anàlisis aerodinàmics d'Albert Fàbrega a

<https://youtube.com/@albertfabrega?si=wMRJe2AbA-PEM44Y>

Perfils d'instagram de:

<https://www.instagram.com/fudo2/>

<https://www.instagram.com/santicarm3/>

<https://www.instagram.com/scarbstech/>

[https://www.instagram.com/rosario\\_giuliana\\_design/](https://www.instagram.com/rosario_giuliana_design/)

<https://www.instagram.com/dr.obbs/>

<https://www.instagram.com/brrrake/>

<https://www.instagram.com/fdataanalysis/>

<https://www.instagram.com/aerodynamics.motorsport1/>

*La increíble suspensión de F1 tan buena que la prohibieron. Youtube*, Carregat per Driver 61 en Español, 20 de juliol de 2022,

[https://youtu.be/nQHGVF6EhZ0?si=lqNIM68\\_ZXH8zW\\_r](https://youtu.be/nQHGVF6EhZ0?si=lqNIM68_ZXH8zW_r)

**Osma Fernández, Mario.** *El mass damper de Renault en la Fórmula 1* [en línia]. Aerodinámica F1, 3 de gener de 2021 [Consultat: 17 de maig de 2024]. Disponible a: <https://www.aerodinamicaf1.com/2021/01/el-mass-damper-de-renault-en-la-formula-1/>

Disney+ (2023): *Brawn GP Una Escuderia Imposible*

<https://www.disneyplus.com/es-es/series/brawn-gp-una-escuderia-imposible/7G5zxlCkLOJ8>

*Silverstone 2011 y el difusor soplado: cuando Ferrari decidió perder* | Archivo Rosaleny - SoyMotor. Youtube, Carregat per SOYMOTOR, 19 de juny de 2020, [https://youtu.be/uV\\_piTFZ\\_K0?si=D-RFmslbFlhlnH\\_O](https://youtu.be/uV_piTFZ_K0?si=D-RFmslbFlhlnH_O)

**Osma Fernández, Mario.** *La aleta de tiburón en la Fórmula 1* [en línia]. Aerodinámica F1, 9 de maig de 2020 [Consultat: 20 de maig de 2024]. Disponible a: <https://www.aerodinamicaf1.com/2020/05/la-aleta-de-tiburon-en-la-formula-1/>

*F1 vs SolidWorks (Time Laspe)*. Youtube, Carregat per Elite Engineers, 21 de gener de 2023, <https://youtu.be/FC3c-QIDvcU?si=dLmRCitTpifzDkHh>

*Formula 1 front wing (Williams FW-31) - SolidWorks tutorial*. Youtube, Carregat per Phone industry, 24 de febrer de 2016,

[https://youtu.be/R7B8dX5StZs?si=\\_GiBC\\_bOj7Xdj0Q](https://youtu.be/R7B8dX5StZs?si=_GiBC_bOj7Xdj0Q)

Software online utilitzat:

<https://www.simscale.com/>

FIA. 2024 FORMULA 1 TECHNICAL REGULATIONS. 2024

<https://drive.google.com/file/d/15s4rGRCmL8g6U5IEHFkkm7pGzsvURjBy/view?usp=sharing>

## ANNEX

### I. HISTÒRIA DE LA F1

#### I.I Sistema de puntuació de la dècada del 1950.

Al 1950 només puntuaven els cinc primers (8 punts, 6 punts, 4 punts, 3 punts, 2 punts, respectivament) tot i que existia el punt de la volta ràpida en cas de finalitzar en la zona de puntuació. A més en aquella temporada no existia el mundial de constructors que fins 1958 no s'hi va implementar.

El sistema de punts inicial de 1950 va ser canviat en 1954, ja que fins 1953 es tenien en compte els cinc millors resultats de cada pilot. Així doncs es va canviar i només es van començar a tenir en compte els quatre millors resultats. Tot i que aquest últim sistema tornaria a ser canviat a l'any següent per l'anterior que va durar tres anys més. Al 1958 es van tenir en compte només els sis millors resultats i en 1959 va tornar a ser igual que en 1950.

#### I.II Sistema de puntuació de la dècada del 1960.

Al 1960 el sistema de puntuació va tornar a canviar i es va ampliar la zona de puntuació fins a la sisena posició anotant 8 punts el guanyador, 6 punts el segon, 4 punts el tercer, 3 punts el quart, 2 punts el cinquè i un punt el sisè en els que es tenien en compte els sis millors resultats i es va deixar de donar punt per la volta ràpida. Al 1961 s'hi va donar un punt més al guanyador respecte a la temporada anterior i es van tenir en compte els cinc millors resultats de cada pilot fins al 1962 perquè al 1963 i 1964 es van tornar a tenir en compte els sis millors resultats. Al 1965 es va mantenir el sistema del 1964 amb una petita variació que consistia en que per al mundial de constructors només puntuava el cotxe millor classificat en cada carrera. Al 1966 es van tenir en compte els cinc millors resultats de cada pilot de nou i a més els pilots havien de recórrer la distància mínima de carrera per poder classificar-se i per tant puntuar. Al 1967, es van tenir en compte nou resultats però d'aquests es tenien en compte cinc dels sis millors resultats i quatre dels cinc pitjors resultats deixant els abandonaments de banda. En 1968 es van tenir en compte 10 resultats dels quals comptaven cinc dels sis millors resultats i cinc dels sis pitjors de cada pilot. Finalment, en 1969 es va adoptar el mateix sistema de punts, però amb la variació de que tots els resultats comptaven per al mundial, aquest es va mantenir fins al 1990.



### I.III Sistema de puntuació del 1991

Al 1991 va tornar a canviar el sistema de puntuació on el primer passaria a sumar 10 punts.

### I.IV Sistema de puntuació del 2003

Al 2003 el sistema de puntuació va a tornar canviar on la zona de punts es va ampliar fins la vuitena posició sent la puntuació de 10 punts per al primer, 8 per al segon, 6 per al tercer, 5 per al quart, 4 per al cinquè, 3 per al sisè, 2 per al setè i un per al vuitè.

### I.V Sistema de puntuació del 2010

Al 2010 es va establir el sistema de puntuació que tenim ara però sense el punt de la volta ràpida.

### I.VI Sistema de puntuació del 2019

Al 2019 es va establir el sistema de puntuació actual.

## I. VII Conflicte FISA-FOCA

A finals dels 70 i inicis dels 80 la F1 va viure l'època més tensa de la història en la que l'esport tal i com el coneixem ara va estar a prop de desaparèixer.

En primer lloc trobem dos bàndols el de la FISA (*Fédération Internationale du Sport Automobile*) que formava part de la FIA, que comptava amb el suport de Ferrari, Renault i Alfa Romeo, i que estava liderada per Jean-Marie Balestre. D'altra banda, estava la FOCA (*Formula One Constructors Association*) que representava a la resta dels equips de la graella, que lluitava per un igualtat de recursos entre els equips més rics (els de la FISA) i la resta dels integrants del campionat. Estava liderada per Bernie Ecclestone i la seva mà dreta Max Mosley.

La primera disputa es va produir al 1972. Fins aquell moment els equips negociaven carrera a carrera el cost de participació en cada circuit, aspecte el qual perjudicava als equips FOCA (F1CA en aquell temps) ja que els organitzadors dels grans premis demanaven cada cop una quantitat més alta. Així doncs Bernie Ecclestone va negociar amb els diferents promotors de cada GP i conjuntament van arribar a un



acord per tres temporades en el que la clàusula d'inscripció era de 103.000 llibres en totes les proves del campionat.

Això va deixar en una posició d'inferioritat a la *Grand Prix International* que era l'organisme que representava als circuits i per tant qui fins aquest acord qui establí la quantitat a pagar en cada cap de setmana, a més estava en associació amb el CSI (actual FIA).

Després del fracàs de Pierre Ugeux com a president del CSI degut als grans avenços que estava fent la F1CA va ser destituït per Balestre al 1978 qui va canviar el nom de l'organisme a FISA i va iniciar una guerra amb la F1CA que aquell any va a passar a ser nombrada FOCA.

El nou president va començar a desfavorir als equips FOCA de diverses maneres. Primer amb sancions per accidents produïts en pista entre cotxes dels dos bàndols afavorint sempre al seu sense ni tan sols escoltar la versió del pilot FOCA, després va començar a multar a tots aquells pilots que no assistissin a les reunions anteriors a la carrera (acció que no estava regulada en el reglament) i també amb la prohibició d'innovacions portades per equips FOCA com els faldons del Lotus 79 que no van poder adaptar els equips FISA en els seus monoplaços.

Tot va esclatar al Gran Premi d'Espanya de 1980 en el que Balestre va amenaçar amb prohibir la participació de tots els pilots que no van pagar les multes, mencionades anteriorment, per no assistir als *briefings* de carrera (del Gran Premi de Bèlgica sent aquesta de 2.000 dòlars i el de Mònaco de 5.000 dòlars). Així doncs, durant els primers entrenaments lliures només van participar set pilots, acte que va fer pensar la suspensió del Gran Premi. Vista la situació, el RACE (Reial Automòbil Club d'Espanya) va desestimar a la Reial Federació d'Automobilisme Espanyola com a organitzadora de l'event i la va reemplaçar en dita responsabilitat.

Ecclestone va aprofitar això i va negociar amb el nou organitzador per a que deixessin córrer als pilots FOCA que no havien pagat les sancions. Aquest va cedir i no es va prohibir la participació a cap pilot. Tot i haver-hi aquesta mesura els equips FISA no hi van participar per evitar represàlies per part de Balestre.

Després de l'escàndol vivit en l'últim Gran Premi, el qual es va declarar no puntuable, es va arribar als acords de Paul Ricard que establí que la prohibició de les faldilles s'aplaçaria cinc anys i la utilització de pneumàtics menys eficients per contrarestar l'efecte d'aquestes.

Així doncs, la FISA va intentar convèncer a Michelin i GoodYear a fer gomes amb un menor rendiment. Això va provocar que la FOCA trenqués el pacte realitzat al circuit francès ja que al·legaven que la FISA havia utilitzat els pneumàtics com a recurs de

negociació. Aquesta reacció va provocar que Balestre prohibís les faldilles per al reglament tècnic del 81 i que negociés amb tots els circuits per fer un mundial empaquetat anomenat FIA Formula One World Championship.

Tot i que la FOCA tenia tots els contractes amb els circuits en el seu poder aquests van preferir quedar-se en el bàndol de la FIA que oferia unes condicions més interessants per ells i també per les amenaces per part de Balestre de no poder celebrar cap event FIA en cas de negociar amb la FOCA, tot i que aquests van amenaçar amb emprendre accions legals contra els traçats.

Llavors, la FOCA va intentar crear el seu campionat a part anomenat World Federation of Motorsport que no va durar més d'un mes degut a la negativa dels circuits per negociar amb ells.

Finalment, durant el gener del 1981 es va realitzar una reunió a la base de Ferrari (a Maranello, Itàlia) convocada per *Il Commendatore*, Enzo Ferrari, que no va deixar que aquesta finalitzés sense abans arribar a un acord sobre la guerra interna en la que es trobava la Fórmula 1.

A partir d'aquella trobada totes les parts van començar a col·laborar, però va haver un fet que va terminar de decantar el final del conflicte, el Gran Premi de Sud Àfrica del 1981 (no puntuable i en el que els equips FISA no participaven), en el que la FOCA va demostrar que era capaç de fer un event d'aquestes dimensions.

Tot va desencadenar en la signatura del pacte de la concòrdia el 5 de març de 1981 a París en el que els dos bàndols van sortir beneficiats ja que la FIA va ser declarada com a l'organisme que elaborava els reglaments, es va reconèixer el calendari empaquetat que van proposar i el reglament del 1981. D'altra banda la FOCA va ser considerada com l'únic organisme negociador amb els circuits, va rebre part dels drets televisius i va aconseguir que cada vegada que es prenia una decisió havia de ser unànime per ser aprovada. Posteriorment Balestre acabaria sent president la FIA i Bernie Ecclestone de la Fórmula 1 fins al 2017. Tot i que el conflicte ja hi havia acabat hi van haver uns pocs altercats com el boicot per part d'alguns equips durant el Gran Premi de San Marino per la prohibició de la refrigeració de frens per aigua dels equips FOCA i la vaga de pilots per alguns terminis de la superlicència que quasi fa suspendre el Gran Premi de Sud Àfrica del 82.

## I.VIII Rivalitat Senna-Prost

Tot va començar al Gran Premi de Mònaco del 1984 en el que la pluja va ser la principal protagonista. Durant la carrera el brasiler Senna, qui estava al seu any de



debut, va demostrar les seves habilitats com a pilot al volant d'un Toleman, que era un dels pitjors cotxes de la graella.

Amb aquest va avançar a pilots com Niki Lauda, Nelson Piquet o Keke Rosberg (campionat al 1982) sortint desde la tretzena posició.

Van arribar les últimes voltes de carrera i Senna marxava en la segona posició amb un ritme quatre segons per volta més ràpid que el primer, Alain Prost, que va treure la mà a la penúltima volta per a que es tragués la bandera vermella i per tant la carrera finalitzés.

Direcció de carrera va cedir i la van treure a la volta següent en la que Prost es va parar just en front de la meta però sense creuar-la, acció que el brasiler sí va fer pensant que havia guanyat la carrera. Però, es van tenir en compte els resultats de la volta anterior quedant el francès com a vencedor. La decisió de treure la bandera va fer que la premsa brasilera al·legués que era una estratègia de Prost per evitar que Senna li avancés i que la FIA ho va fer perquè Prost i Balestre eren amics.

Aquella carrera i els dos podiums que va obtenir a Gran Bretanya i a Portugal van fer que l'equip Lotus l'incorporés en les seves files per al 1985, any en el conseguiria la seva primera victòria a Estoril en mullat amb una superioritat tan evident que va acabar amb una distància d'un minut amb el segon. Durant la seva època a Lotus va obtenir un total de sis victòries, que li van ajudar per fitxar amb McLaren per a la temporada de 1988.

Al 1988 Gordon Murray, dissenyador de l'equip anglès, va fer un dels cotxes més dominants de la història, el MP4/4, que va obtenir 15 victòries en les 16 carreres del calendari, sent 10 d'aquestes amb doblat (és a dir que els cotxes acabin primer i segon). A més, l'equip dirigit per Ron Dennis tenia una de les millors duples de la història, comptaven amb el fins el moment campió del món dels anys 1985 i 1986, Alain Prost també conegut com *El professor* i la jove promesa Ayrton Senna.

Durant aquell any no hi van haver gaire tensions dins de l'escuderia. Senna va guanyar el mundial amb una carrera d'avantatge, amb un total de vuit victòries i tretze *poles* entre la que es troba l'obtinguda a Mònaco que es considera una de les millors voltes de la història de l'esport ja que va establir una diferència de 1,4 segons amb Prost que era segon (una diferència molt gran en classificació). Tot i que durant la carrera va cometre un error que el va deixar fora a deu voltes del final.

En el Gran Premi de Japó, en el que es va proclamar campió, va haver de guanyar la carrera a l'èpica, ja que durant la sortida el cotxe es va calar i va passar de la *pole* a la catorzena posició. Des d'allà va fer una remontada que el va portar a liderar la carrera en la volta 28 quan va avançar al seu company d'equip.

A l'any vinent la situació va canviar dràsticament en l'àmbit esportiu. Tècnicament McLaren continuava sent superior a la resta i a més equipava un motor Honda més potent.

Els problemes van començar a la segona sortida (degut a una bandera vermella a la primera volta es va a tornar a començar en l'ordre original de la carrera) del Gran Premi de San Marino on el campió del món no va fer cas al pacte intern de McLaren que establí que si els cotxes sortien primer i segon no es podrien avançar passada la corba 1. Degut a que ell ja havia passat a Prost durant la primera considerava que el francès li havia de deixar passar i aquest no ho va fer.

Prost es va guardar aquell acte del brasiler per al Gran Premi de Japó en el que Senna estava obligat a guanyar si volia mantenir la lluita per al mundial viva fins a l'última carrera, el Gran Premi d'Austràlia. El francès va avançar a Senna que sortia en la *pole position*, la qual va aconseguir amb 1,7 segons d'avantatge sobre aquest, fent que el brasiler l'intentés passar en varies ocasions.

Finalment, tot va esclatar a la volta 46 en la *chicane* Casio de Suzuka en la que Senna va intentar adelantar al francès i aquest últim va tancar la porta col·lisionant amb el campió del món del 88. Prost va abandonar, però Senna va ser ajudat pels comissaris de pista i es va reincorporar. Va passar per boxes per canviar l'aleró davanter i va sortir darrere d'Alessandro Nannini a qui va avançar aconseguint la victòria. Tot i haver obtingut el triomf, Senna va ser desqualificat per supostament incorporar-se a la pista de manera perillosa, sent aquesta la primera sanció per incorporar-se de la manera que ho va fer el brasiler, a més aquest ho va fer quan no passava cap vehicle per aquella zona del circuit.

Aquesta sanció va provocar una sèrie de reaccions per part e l'entorn de Senna i McLaren que al·legaven que Jean-Marie Balestre va prendre aquella decisió perquè era amic de Prost i per fer que aquest fos el campió com va acabar sent.

Finalment, la FIA a més de desqualificar a Senna li va imposar una multa de 100.000 dòlars i una sanció de sis mesos sense competir. Per altre banda Alain Prost es va marxar de McLaren a Ferrari de cara a la temporada de 1990.

Però amb la rivalitat va continuar. Aquesta tindria el seu últim gran esdeveniment durant el Gran Premi de Japó del 1990. La situació durant aquest era la mateixa que l'any anterior però a la inversa, ara era Prost qui estava entre les cordes.

Durant aquell cap de setmana Senna va intentar canviar la posició de de la caixa de la primera posició ja que la zona impar estava a la dreta, això significava que estava en la part bruta de la pista, és a dir, aquella que no forma part de la línia de

conducció habitual dels pilots, que per tant està menys engomada (que es tradueix en una menor adherència) i a més allà es troben les restes de pneumàtics dels vehicles. Aquest aspecte es transformava posteriorment en perdre la posició ja que el cotxe en segona posició tot i estar darrere sortia amb major tracció tal i com va passar al 89. La FIA no va cedir i Senna ho va tenir en compte a l'hora de sortida, al igual que l'acció que Prost va realitzar l'any anterior.

Així doncs amb el brasiler en la *pole* i el francès segon va iniciar la carrera. El campió del 89 es va col·locar en la primera posició, però Senna va entrar a la primera corba intentant avançar a Prost en un lloc on no hi havia espai, acció que va provocar l'abandonament dels dos i el campionat de Senna. Això sí, després de la carrera el francès va al·legar que Senna va col·lisionar amb ell a propòsit.

## I.IX Rivalitat Alonso-Hamilton

Durant aquell any l'entorn de l'Asturià va sentir com Hamilton (qui estava vinculat a l'equip de Ron Dennis des dels 13 anys) estava tenint un tracte preferent en l'equip, degut a que ell per exemple podia accedir a tota la informació de Fernando Alonso i en canvi l'espanyol no a la de l'anglès. A més l'equip tractava d'ocultar a l'espanyol el que feien amb els dos monoplaques i cel·lebrava de manera molt més efusiva els triomfs de l'anglès.

Però, tot va esclatar al Gran Premi d'Hongria en el que Hamilton va trencar el pacte de deixar l'última volta de la classificació a Alonso (aquest consistia en una carrera cadascun). Degut a que en aquell temps es feien repostatges en les parades i la quantitat de combustible amb la que es feia la classificació era amb la que es sortia. Llavors, a més quantitat de combustible menys ràpid anaven els vehicles ja que el cotxe pesava més, això servia per jugar amb l'estrategia.

Així doncs, McLaren sempre portava un cotxe més carregat que l'altre perquè a llarg termini durant la carrera el que més carregat anava tenia avantatge i el més carregat faria una volta extra per compensar l'excés de pes en comparació amb l'altre vehicle.

En aquell Gran Premi li tocava a Alonso fer aquella volta i Hamilton no va acatar les ordres de l'equip. Així doncs l'asturià va entrar a canviar pneumàtics i li van posar un joc de durs utilitzats (que és una opció poc eficient en una classificació), però, es va quedar parat a la caixa de boxes retenent a Hamilton que estava darrere. Va estar parat durant deu segons ja que l'equip no li donava l'ordre de sortir per ràdio.

Finalment, va sortir i va poder fer la seva volta mig segon abans de que s'acabés la classificació i va fer la *pole*, en canvi Hamilton no va tenir temps per fer aquella última volta i l'equip McLaren que tenia els seus dos cotxes primer i segon va

reaccionar com si fossin els dos últims (Alonso va al·legar que això va passar perquè havia estat ell qui va fer el millor temps i no Hamilton).

Per últim, la FIA va investigar l'acció i va sancionar a McLaren amb no anotar punts aquell cap de setmana i van sancionar a l'espanyol amb cinc posicions per supostament bloquejar a Hamilton i sortiria sisè a la carrera en un circuit on és molt difícil avançar.

Fins a dia d'avui la FIA encara no ha aclarit quin article del reglament esportiu va incomplir Alonso.

A tota la tensió que hi havia en l'equip britànic s'ha de sumar la sanció de 100 milions d'euros que va rebre per part de la FIA per l'escàndol del *Spygate* a Ferrari, la qual és la més greu de la història de l'esport.

Durant la temporada 2006 el cap de mecànics de Ferrari, Nigel Stepney, esperava ser ascendit a enginyer responsable de pista, però l'escuderia no va cedir.

Com a venjança va decidir filtrar tota la informació del cotxe de Ferrari per a la temporada 2007 i les estratègies de l'equip italià a un enginyer de McLaren, anomenat Mike Coughlan.

L'equip anglès va aprofitar aquesta informació a l'hora de planificar els Grans Premis i de fer el monoplaça de la temporada 2007.

Però, finalment, van ser descoberts i l'equip va quedar desqualificat del mundial de constructors d'aquell any.

Finalment, el pilot de Ferrari Kimi Raikkonen va guanyar per un punt d'avantatge per sobre de Hamilton i Alonso que van quedar empatats.

## II. ELS F1 AL LLARG DE LA HISTÒRIA

### II.1 Motors a la dècada dels 50

Els motors eren de lliure elecció podíem trobar desde un 8 cilindres en línia de 420 CV com el que equipava l'Alfa Romeo 158 Alfetta i la seva evolució el 159 (cotxe que va ser molt superior tant en F1 com en altres competicions de monoplaça ), fins a un V12 de 4,5 de litres a 60° de 350 CV amb el que Ferrari va poder derrotar a Alfa Romeo.

Al 1954 la FIA va establir una normativa de motors en la qual els propulsors havien de ser de 2.5 litres en cas de atmosfèrics i de 750 cm<sup>3</sup> en cas de ser sobrealimentats (motors turbo o amb sobrealimentador) però amb llibertat de nombre de cilindres.

Una altra revolució al 1954, del W196 (la primera versió) és el sistema d'injecció que van posar al motor deixant de costat els carburadors.

## II.II Motors a la dècada dels 60

Al 1961 la FIA va aprovar una normativa, en la que Ferrari va estar treballant durant tot el 1960, que consistia en motors d'entre 1,3 i 1,5 litres amb la prohibició total de la sobrealimentació. Així doncs, l'equip italià va ser el més beneficiat de la regla.

El Ferrari 156 dissenyat per Carlo Chiti i Vittorio Jano va montar primerament un V6 a 65° de 180 cv de 1,4 litres, posteriorment es va fer una evolució cap a un V12 a 120° de 188 cv de 1,4 litres. Aquestes innovacions van portar a Ferrari a guanyar el seu primer mundial de constructors i el mundial de pilots amb Phil Hill.

Al 1966 es va introduir una normativa respecte als motors que duraria 20 anys més que consistia en motors de 3,0 litres si eren atmosfèrics i de 1,5 si eren sobrealimentats.

## II.III Motors a la dècada dels 70

El Ferrari 312 T va incorporar un motor dotze cilindres *boxer* (està format per dos blocs de sis cilindres en els que els pistons estan en posició horitzontal connectats al cigonyal) de 3.0 litres de 500 CV.

Els motors 1.5 litres turbo van guanyar molta popularitat. Al 1977 Renault els va introduir per primera vegada amb un V6 que generava uns 510 cv, això sí van presentar grans problemes de fiabilitat, fins que al 1979 van obtenir la seva primera victòria al Gran Premi de França amb Jean-Pierre Jabouille al volant.

## II.IV Motors a la dècada dels 80

Seguint amb els motors turbo, a Ferrari li va semblar atractiva la idea d'incorporar aquest tipus de propulsor i van crear el 126C que era un V6 de 560 CV que va ser el gran responsable dels mundials de constructors obtinguts en el 1982 i 1983.

Durant aquesta època el gran problema va ser el consum de combustible, ja que els motors turbo utilitzaven per carrera uns 300 litres que és unes tres vegades més del que es permet avui dia (110 litres).

A més durant els repostatges hi havia grans incendis que van obligar a la FIA a prohibir-los i establir un límit de 220 litres per al tanc de gasolina.

Allò va portar als motoristes com BMW, que subministrava la potència al Brabham BT52B, a utilitzar combustibles més eficients. En el cas de la marca alemanya van optar pel toluè un combustible de cohets, el qual refredaven a temperatures de  $-30^{\circ}$  per poder fer servir la màxima quantitat possible per no exhaurir-lo durant la carrera. A més el van barrejar amb diesel (menys del 20% de la barreja) per fer que el combustible és comprimit el màxim possible a la cambra de combustió per obtenir més potència.

També van aconseguir que el turbo treballés a una pressió d'uns 5,5 bars (ara ho fan a uns 2,5) i això permetia una major compressió de l'aire i per tant més potència.

Gràcies a tot això i a l'octanatge (una mesura que indica quant es pot comprimir el combustible abans de l'explosió) de 121 octans durant la classificació del Gran Premi d'Itàlia el motor de quatre cilindres en línia d'1,5 litres va treballar a més de 1400 CV de potència, sent la xifra més alta mai registrada fins al moment.

Finalment, al 1985 la mort d'Elio de Angelis durant un test mentre provava un nou aleró posterior que es va desprendre mentre anava a gran velocitat, fent que el cotxe perdés el control a una velocitat molt elevada degut al seu motor tan potent, va fer que la FIA prohibís aquest tipus de combustibles que també eren tòxics i cancerígens.

Al 1986 es van prohibir els atmosfèrics però al 87 tornarien sent de 3,5 litres i els turbo no podrien treballar a una pressió major de 4 bars. Finalment, al 1989 es prohibirien els motors turbo i només es podrien equipar atmosfèrics entre 8 i 12 cilindres de 3,5 litres.

## II.V Motors a la dècada dels 90

Al 1996 tots els motors van passar a ser V10 atmosfèrics de 3.0 litres, que arribaven a les 21.000 rpm.



## II.VI Motors a la dècada dels 2000

Al 2006 la FIA va obligar a tots els equips montar un motor V8 atmosfèric de 2,4 litres a 90° limitats a 18.000 rpm.


Posteriorment al 2009 va aparèixer el *KERS*, un sistema que convertia l'energia cinètica de la frenada en energia elèctrica, la qual quedava emmagatzemada, i el pilot podia utilitzar-la durant uns vuit segons per volta.


## II.VII Motors a la dècada dels 2010


En l'àmbit dels motors al 2014 es van introduir les unitats de potència V6 híbrides turbo a 90° de 1,6 litres que arriben a les 15.000 rpm. A més aquest canvi de motor va provocar la desaparició del *KERS*.



## PLÀNOLS

 [izan1.pdf](#)

 [izan2.pdf](#)

 [izan3.pdf](#)

