

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Disseny i fabricació d'un colin per una motocicleta de competició

MEMÒRIA

Autor: Joan Olivella Serra
Director: Lluç Canals Casals
Convocatòria: Juliol 2022



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

El present treball de fi de grau té com a finalitat desenvolupar el disseny i fabricació d'un colin autoportant per a una motocicleta de competició. Aquest treball forma part del projecte de l'ETSEIB de dissenyar i construir una motocicleta des de zero per a presentar, amb el nom d'equip ETSEIB Racing, a la sisena edició de la competició internacional de Motostudent, més concretament a la categoria "petrol".

El colin és l'element de la motocicleta que té la funció, no només d'aportar comoditat al pilot, sinó també de suportar les seves accions i el seu pes i transmetre-les al xassís. És de vital importància que el seu disseny vagi en consonància amb les necessitats del pilot perquè pugui pilotar el prototip de la forma més còmode possible a l'hora que sigui funcional, tant en el sentit estructural com aerodinàmic.

El treball exposa tots els passos realitzats per arribar a la peça final, des del disseny mitjançant un programari de disseny CAD, fins a la seva fabricació íntegra amb fibra de carboni, passant per la validació estructural i aerodinàmica amb elements finits.

El colin resultant de la fabricació al taller de la universitat es munta al prototip ER20 i aquest es testeja a diferents circuits i a la pròpia competició de Motostudent que té lloc a Motorland Aragó.

Finalment, i després d'haver testejat el prototip s'arriben a unes conclusions del colin que es presenten al final d'aquest document.

Sumari

SUMARI	5
ÍNDIX D'IL·LUSTRACIONS	8
ÍNDIX DE TAULES	11
1. PREFACI	12
1.1. Origen del projecte	12
1.1.1. La competició	13
1.1.2. L'equip	14
1.2. Motivació	15
2. INTRODUCCIÓ	17
2.1. Objectius del projecte	17
2.2. Abast del projecte	17
3. ESTAT DE L'ART	18
3.1. ER10:	18
3.2. ER12:	18
3.3. ER14:	19
3.4. ER16	20
3.5. ER18	20
3.6. Estructura del treball	21
4. ESTUDIS PREVIS	23
4.1. Parts d'una motocicleta	23
4.2. Tipus de colin	24
4.2.1. Colin amb sub-xassís	25
4.2.2. Colin autoportant	27
4.3. Normativa aplicable	29
4.4. ER20 fins al moment	31
5. REQUERIMENTS DEL COLIN	36
5.1. Requeriments del pilot	36
5.2. Requeriments de l'equip	37
6. TIPOLOGIA DEL COLIN ESCOLLIDA	39
7. DISSENY DEL MODEL	42
7.1. Disseny CAD	42

7.2. Resultats del disseny CAD	44
8. DISSENY I VALIDACIÓ MITJANÇANT ELEMENTS FINITS	47
8.1. Simulacions que es realitzaran	47
8.2. Creació del mallat	48
8.2.1. Mallat de les simulacions estructurals	48
8.2.2. Mallat de les simulacions aerodinàmiques	49
8.3. Condicions de contorn	50
8.3.1. Condicions de contorn de les simulacions estructurals	50
8.3.2. Condicions de contorn de la simulació aerodinàmica	51
8.4. Resultats	52
8.4.1. Simulació esforç màxim vertical	52
8.4.2. Simulació força horitzontal	55
8.4.3. Simulació aerodinàmica	55
9. FABRICACIÓ	58
9.1. Fabricació del motlle	58
9.2. Fabricació del colin	60
9.2.1. Passos previs	60
9.2.2. Procés de laminació	62
9.2.3. Fabricació del primer colin	63
9.3. Prova de resistència	69
9.4. Comprovació de normativa	70
10. PLANIFICACIÓ	72
11. PRESSUPOST	73
11.1. Cost de desenvolupament	73
11.2. Cost de fabricació	74
12. IMPACTE AMBIENTAL	76
CONCLUSIONS	78
AGRAÏMENTS	80
BIBLIOGRAFIA	82

Índex d'il·lustracions

Il·lustració 1: Logotips de les dues categories. Font: Motostudent.	12
Il·lustració 2: Membres de l'equip ETSEIB Racing. Font: ETSEIB Racing.	15
Il·lustració 3: Prototip ER10. Font: ETSEIB Racing.	18
Il·lustració 4: Prototip ER12. Font: ETSEIB Racing.	19
Il·lustració 5: Prototip ER14. Font: ETSEIB Racing.	19
Il·lustració 6: Prototip ER16. Font: ETSEIB Racing.	20
Il·lustració 7: Prototip ER18. Font: ETSEIB Racing.	21
Il·lustració 8: KTM RC8 amb les diferents parts. Font: KTM.	23
Il·lustració 9: Honda RC142 del 1959. Font: We heart Honda [2].	25
Il·lustració 10: Aprilia RS-GP 2021. Font: Motorbike Magazine [3].	25
Il·lustració 11: Sub-xassís motocicleta. Font: Motopro [5].	26
Il·lustració 12: Colin NSF250. Font: AEC competició [6].	26
Il·lustració 13: Honda NSF 250 R. Font: FIM CEV Repsol.	27
Il·lustració 14: Sub-xassís Honda NSF 250 R. Font: Briefing motos.	27
Il·lustració 15: Motocicleta amb colin autoportant. Font: GBR Cycles.	28
Il·lustració 16: e-ONE. Font: E-Ride ETSEIB.	29
Il·lustració 17: Límit posterior del prototip. Font: Motostudent.	29
Il·lustració 18: Amplada màxima seient. Font: Motostudent.	30
Il·lustració 19: Distància màxima del colin al seient. Font: Motostudent.	30
Il·lustració 20: Descripció càrrega a aplicar al prototip. Font: Motostudent.	31
Il·lustració 21: Xassís ER20. Font: Pròpia.	32
Il·lustració 22: Basculant ER20. Font: Pròpia.	32

Il·lustració 23: Sistema de suspensió davantera.	33
Il·lustració 24: Sistema de suspensió pro-link. Font: Vittore Cossalter [8].	33
Il·lustració 25: Motor KTM de la ER20. Font: pròpia.	34
Il·lustració 26: Carenats ER20. Font: pròpia.	34
Il·lustració 27: Assemblatge ER20 en CAD. Font: pròpia.	35
Il·lustració 28: Posició de màxima velocitat. Font: FlexBox Hp 40.	37
Il·lustració 29: Dummy amb característiques físiques del pilot. Font: pròpia.	37
Il·lustració 30: Disseny per seccions del colin. Font: pròpia.	43
Il·lustració 31: Detall barres d'unió colin-xassís. Font: pròpia.	43
Il·lustració 32: Disseny del perfil 2D del colin. Font: pròpia.	44
Il·lustració 33: Primer disseny del cobreix-dipòsit. Font: pròpia.	44
Il·lustració 34: Primer disseny del colin. Font: pròpia.	45
Il·lustració 35: Versió definitiva del colin amb el dipòsit integrat. Font: pròpia.	45
Il·lustració 36: Disseny colin i cobreix-dipòsit amb ancoratges pel xassís. Font: pròpia.	46
Il·lustració 37: Diferents elements del mallat del colin. Font: pròpia.	48
Il·lustració 38: Model de simulació. Font: pròpia.	49
Il·lustració 39: Mallat del volum de control. Font: pròpia.	50
Il·lustració 40: Detall de la restricció aplicada a les unions. Font: pròpia.	51
Il·lustració 41: Model de simulació del colin. Font: pròpia.	51
Il·lustració 42: Simulació desplaçaments. Font: pròpia.	54
Il·lustració 43: Simulació índex de ruptura. Font: pròpia.	54
Il·lustració 44: Índex de ruptura aplicant força de 50 kg. Font: pròpia.	55
Il·lustració 45: Mapa de pressions. Font: pròpia.	55

Il·lustració 46: Mapa de velocitats. Font: pròpia	56
Il·lustració 47: Mapa de turbulències. Font: pròpia	56
Il·lustració 48: Mecanitzats del colin i del cobreix-dipòsit. Font: pròpia	58
Il·lustració 49: Procés de fabricació del motlle del cobreix-dipòsit. Font: pròpia	59
Il·lustració 50: Procés de fabricació del motlle del colin. Font: pròpia	60
Il·lustració 51: Material preparat per a començar el laminat. Font: pròpia	61
Il·lustració 52: Dipòsit de combustible. Font: pròpia	63
Il·lustració 53: Primer cobreix-dipòsit fabricat. Font: pròpia	63
Il·lustració 54: Procés de fabricació del colin. Font: pròpia	64
Il·lustració 55: Buit del colin. Font: pròpia	65
Il·lustració 56: Colin un cop retirat del motlle. Font: pròpia	65
Il·lustració 57: Motlle un cop aplicat la massilla. Font: pròpia	66
Il·lustració 58: Primer colin muntat al prototip. Font: pròpia	66
Il·lustració 59: Segon colin muntat a la ER20. Font: pròpia	67
Il·lustració 60: Dipòsit laminat a la tapa de fibra. Font: pròpia	67
Il·lustració 61: Assemblatge colin amb dipòsit de combustible. Font: pròpia	68
Il·lustració 62: Forat al colin per a omplir el dipòsit. Font: pròpia	68
Il·lustració 63: Preparació de la prova. Font: pròpia	69
Il·lustració 64: Compressió vertical a càrrega màxima. Font: pròpia	69
Il·lustració 65: ER20. Font: pròpia	70
Il·lustració 66: Llum vermella de la ER20. Font: pròpia	71
Il·lustració 67: Prototip ER20 final. Font: pròpia	78

Índex de taules

Taula 1: Puntuació de la fase MS1.....	13
Taula 2: Puntuacions de la fase MS2.....	14
Taula 3: Parametrització dels criteris.....	40
Taula 4: Comparativa possibles solucions de la tipologia del colin.....	40
Taula 5: Resum de les capes a utilitzar pel colin.....	53
Taula 6: Comparativa dels diferents paràmetres aerodinàmics.....	57
Taula 7: Planificació del projecte.....	72
Taula 8: Costos de desenvolupament.....	73
Taula 9: Despeses de les eines.....	74
Taula 10: Cost de fabricació.....	75
Taula 11: Emissions de CO ₂ del prototip.....	76
Taula 12: Emissions CO ₂ transport.....	77
Taula 13: Comparativa pes colin.....	79

1. Prefaci

Des de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB) es fomenten, al llarg dels cursos acadèmics diferents activitats i projectes paral·lels als estudis de grau i màster per a qualsevol estudiant.

Els projectes fomenten l'aplicació d'aquells conceptes vistos tant al grau com al màster i prepara per al món professional als estudiants participants, ja no només en l'àmbit de l'enginyeria sinó també en altres camps com l'economia i empresa, la tresoreria o el màrqueting.

Un d'aquests projectes és l'anomenat Motostudent, a continuació s'explicarà d'on neix i en què consisteix aquest projecte.

1.1. Origen del projecte

Aquest treball s'emmarca dintre l'equip ETSEIB Racing participant de la competició Motostudent. Aquesta és una competició a nivell internacional que organitza "Technopark Motorland" juntament amb "Moto Engineering Foundation". L'objectiu principal dels equips participants és el de dissenyar i fabricar un prototip de motocicleta de competició tot seguint una normativa i unes directrius proporcionades per l'organització. Cada equip només pot estar format per alumnes de la universitat participant i presentar un prototip que serà testejat i avaluat al circuit de Motorland Aragó, no només en les seves prestacions sinó també en el disseny i la gestió de l'equip.

La competició està formada per dues categories (Il·lustració 1):

- MotoStudent "Petrol": La motocicleta és propulsada per un motor de combustió de 4 temps proporcionat per l'organització.
- MotoStudent "Electric": La motocicleta a dissenyar ha de ser 100% propulsada amb energia elèctrica.



Il·lustració 1: Logotips de les dues categories. Font: Motostudent.

1.1.1. La competició

Aquest projecte, tot i que podria tenir sentit en ambdues categories, s'engloba dintre la categoria "petrol", ja que és la categoria on històricament l'ETSEIB Racing ha participat. La competició es basa en dues fases ben diferenciades (MS1 i MS2), on cada una atorga als diferents equips una certa puntuació depenent dels resultats obtinguts. Finalment, amb la suma de les puntuacions de cada fase s'elabora la classificació final de la competició.

Les diferents fases de la competició són les següents:

- Primera fase anomenada MS1: En aquesta part de la competició, cada equip ha de presentar un projecte industrial teòric de com gestionar l'equip si hagués de formar part d'una competició participant en diferents països. Per altra banda, també s'ha de realitzar una memòria on s'explica quins components conformen el prototip i les seves simulacions pertinents. El jurat avalua cada projecte i atorga a cada equip una puntuació màxima de 500 punts, seguint la Taula 1:

	Puntuació
Disseny conceptual	50
Disseny del producte	75
Prototipatge i proves	75
Innovació	100
Pla de negoci	100
Presentació final	100

Taula 1: Puntuació de la fase MS1.

- Segona fase anomenada MS2: Aquesta és on es demostra en pista quina motocicleta és la millor en diferents proves dinàmiques que es realitzen la setmana de la competició. La fase MS2 conclou amb una carrera a 7 voltes pel traçat de Motorland Aragó. Les puntuacions es reparteixen seguint l'ordre decreixent segons els resultats obtinguts a cada prova, a continuació (Taula 2) es presenten les puntuacions màximes que es poden obtenir a cada prova:

	Puntuació
Prova de frenada	60
Gimcana	100
Prova d'acceleració	60
Velocitat màxima	30
Regularitat	30
Tanda de classificació	40
Volta ràpida en carrera	30
Resultat de la carrera	150

Taula 2: Puntuacions de la fase MS2.

Finalment, amb la suma de les puntuacions s'elabora una classificació general i es premien tant els guanyadors de les dues fases com els guanyadors de la competició.

1.1.2. L'equip

L'ETSEIB Racing és l'equip de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB) que, com s'ha comentat, participa en la categoria "petrol" de la competició MotoStudent. L'equip està format per 15 estudiants (Il·lustració 2) tant de grau com de màster i encapçalats per dos tutors de la universitat.

Els diferents estudiants es divideixen en set departaments, que s'expliquen a continuació, i s'encapçalen per dues persones: el cap d'equip i el director tècnic. Les funcions que realitzen són les de gestionar internament l'equip i de controlar tot el que es fa als diferents departaments, respectivament.

- **Media i màrqueting:** S'encarreguen de parlar amb diferents empreses en cerca de patrocinadors i de gestionar les diferents xarxes socials de l'equip.
- **Projecte:** S'encarreguen de l'elaboració íntegra del projecte industrial com de les diferents parts de la memòria final del projecte.
- **Dinàmica:** S'encarreguen del disseny de les suspensions, els sistemes de frenada i d'escollir les llantes que portarà la motocicleta.
- **"Powertrain":** S'encarreguen del sistema d'escapament, el disseny del radiador, el disseny del dipòsit i de tot el sistema electrònic del prototip.

- Aerodinàmica: S'encarreguen del muntatge dels carenats, del disseny del colin, del disseny de les entrades d'aire pel motor i de confirmar, mitjançant les simulacions aerodinàmiques pertinents, que cap element del prototip provoqui un mal comportament aerodinàmic.
- Gestió: S'encarreguen de gestionar en l'àmbit econòmic totes les despeses, portar la comptabilitat i elaborar el pressupost a presentar a l'escola a l'inici del projecte.
- Bastidor: S'encarreguen del disseny i validació del xassís i del basculant.



Il·lustració 2: Membres de l'equip ETSEIB Racing. Font: ETSEIB Racing.

1.2. Motivació

Per a la sisena edició de Motostudent, gràcies al fet que la universitat va realitzar un gran esforç econòmic a nivell de pressupost general del projecte, l'equip es va plantejar l'objectiu de fer tot el possible perquè la motocicleta es fabriqués al propi taller que té l'equip a la universitat.

Amb aquest objectiu en ment, l'oportunitat de fabricar un colin íntegrament des del disseny en CAD, fins a la fabricació a partir de les diferents matèries primeres, tot passant per les simulacions estructurals i aerodinàmiques són d'aquelles oportunitats que no es poden desaproveitar.

Per una banda, l'augment del pressupost en comparació a les edicions passades sumat a les ganades que tenia l'equip de realitzar íntegrament una peça tan important en una motocicleta com és el colin, l'objectiu marcat es podia assolir perfectament.

En definitiva, la motivació per a la realització d'aquest projecte rau en l'ambició dels estudiants que formen l'equip ETSEIB Racing d'aprofitar una oportunitat única de dissenyar i fabricar íntegrament un colin per a una motocicleta de competició que serà provada i qualificada per a un pilot en un circuit professional.

2. Introducció

Aquest treball presenta el procés de disseny, les simulacions i la fabricació del colin per al prototip, que d'ara en endavant està exposat com ER20, de l'equip ETSEIB Racing participant de la sisena edició de MotoStudent.

2.1. Objectius del projecte

L'objectiu últim del projecte és que la ER20 sigui competitiva en totes les proves a l'esdeveniment final al circuit de Motorland Aragó, és per això que és primordial que la peça final no només compleixi amb la normativa imposada per l'organització i garanteixi la seguretat del pilot, sinó que, a més, tingui el menor pes possible per aprofitar tota la potència del motor.

Com a objectius secundaris pel desenvolupament del colin es troben els següents:

- Minimitzar els costos perquè l'equip es va comprometre amb la universitat a reduir el màxim possible els costos finals del prototip.
- Que el disseny final del colin sigui, no només funcional, sinó també sigui estètic perquè visualment els patrocinadors estiguin orgullosos del prototip.
- Finalment, el colin ha de complir amb la normativa i ha de suportar, com a mínim, les càrregues indicades per l'organització, que verificarà que es compleixen, i que es requereixen per poder participar en les diferents proves de la competició.

2.2. Abast del projecte

L'abast del projecte compren des del disseny en 3D, a partir del programari Solid Works, fins a la fabricació del colin de la ER20 realitzada pels membres de l'equip a la pròpia universitat. En aquest treball es justificarà tots els passos tant a la part de disseny i validació mitjançant simulacions com a la part de fabricació del propi colin.

3. Estat de l'art

Aquest projecte, com s'ha comentat, s'inclou dintre el projecte de MotoStudent de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Prèviament a la ER20, l'equip havia participat en les anteriors edicions presentant els seus respectius prototips. És per això, que, abans de centrar-se en el disseny del colin, s'expliquen els prototips i els resultats respectius de les anteriors edicions.

3.1. ER10:

La ER10 (II·lustració 3), és el primer prototip presentat per l'ETSEIB (en aquell moment sota el nom de ETSEIB MotorSport) a la primera edició de MotoStudent al 2010. Tot i ser el primer any l'equip va obtenir molts bons resultats, aconseguint una setena posició en cursa de vint-i-tres equips participants.

En ser el primer prototip, no es disposaven ni dels recursos ni de la informació que es disposen actualment i l'equip va intentar fer una motocicleta el més estàndard possible per abaratir costos.



II·lustració 3: Prototip ER10. Font: ETSEIB Racing.

3.2. ER12:

La ER12 (II·lustració 4), va ser el segon prototip de l'equip, ja sota el nom de ETSEIB Racing. Com ja es partia de la base de la ER10, l'equip va poder desenvolupar un prototip més competitiu, tant a nivell de disseny com a nivell de prestacions.

Aquell any, d'entre els 18 equips participants, l'ETSEIB Racing es va fer amb una segona posició a l'apartat d'innovació del MS1 i amb la primera posició tant a la cursa com a la general de la MS2.



Il·lustració 4: Prototip ER12. Font: ETSEIB Racing.

3.3. ER14:

Amb la tercera edició de MotoStudent, la competició va créixer al augmentar el número d'equips, fins a 33 equips van participar-hi. També va ser la primera edició on va participar un equip estranger, més concretament "2WheelsPoliTO" de la Universitat Politècnica de Torí (Itàlia).

L'ETSEIB Racing va firmar un molt bon paper, emportant-se una segona posició a la general de la fase MS1, firmant el millor disseny i el segon millor projecte industrial. A la Il·lustració 5 es pot veure el prototip presentat per l'equip a l'edició de Motostudent de l'any 2014. Il·lustració 1



Il·lustració 5: Prototip ER14. Font: ETSEIB Racing.

3.4. ER16

L'any 2016 la competició presenta un nou format creant una nova categoria que porta a MotoStudent al capdavant de la resta de competicions internacionals. En la quarta edició, els equips podien decidir si participar a la categoria de "petrol" o a la categoria "electric", van participar 35 i 17 equips respectivament.

Quant a reconeixements, va ser la millor edició per la universitat. Aconseguint una primera posició al MS1, amb el millor projecte industrial, segona millor innovació i segon millor disseny. Per altra banda, es va aconseguir una segona millor posició tant en cursa com a la general de la fase MS2. Amb aquests resultats l'ETSEIB Racing es va proclamar campió de la quarta edició de MotoStudent.

El plantejament de l'equip, en aquella edició, va ser la de portar el prototip (Il·lustració 6) quan abans possible a pista per poder realitzar testos i millorar tot allò que fos necessari.



Il·lustració 6: Prototip ER16. Font: ETSEIB Racing.

3.5. ER18

L'any 2018 la competició torna a créixer i el nombre d'equips participants en ambdues categories augmenta considerablement. 47 equips van participar a la categoria "petrol" mentre que 27 van participar a "electric". Aquest fet va augmentar la competitivitat entre els equips a uns nivells no vistos fins el moment.

Pel que fa a l'MS1 l'equip va obtenir el segon millor pla de negoci i una cinquena posició a la general. Per altra banda, a l'MS2 l'equip va aconseguir una tercera posició en cursa i una quarta posició a la general. Finalment, amb l'acumulació de les dues fases l'equip va aconseguir una cinquena posició a la general de la competició. La Il·lustració 7 mostra el

prototip presentat per l'equip en aquella edició.



Il·lustració 7: Prototip ER18. Font: ETSEIB Racing.

3.6. Estructura del treball

En primer lloc, es realitza un estudi previ de les parts més importants que componen una motocicleta de competició. S'estudien les diferents solucions de colins implementades en l'actualitat per equips de les màximes categories de motociclisme i s'analitzen els tipus de colins usats en les edicions anteriors de l'ETSEIB Racing.

Vistes les possibles alternatives s'analitza de la normativa de la pròpia competició quines normes fan referència al colin per a tenir-ho en compte en el seu disseny. A continuació es presenten les diferents restriccions que haurà de presentar la peça final, tant restriccions imposades pel pilot com restriccions imposades per altres departaments del propi equip. S'escollirà de les diferents tipologies de colin que existeixen actualment, quina s'adequa millor a les necessitats de l'equip mitjançant una matriu de decisions.

El procés de disseny 3D es realitzarà mitjançant el programa SolidWorks i es respectaran les restriccions imposades per l'equip i el pilot. Quan es tingui el disseny en 3D completat, passarà a ser validat mitjançant elements finits a partir dels programaris Hypermesh d'Altair ONE i el Fluent d'Ansys, amb el primer es validarà el disseny a nivell estructural i amb el segon que el disseny no comporti problemes aerodinàmics.

Un cop validat el model mitjançant les simulacions pertinents s'estudiarà el procés de fabricació a seguir i es durà a terme per a fabricar finalment la peça d'estudi. Seguidament, es muntarà sobre el prototip i es testearà el seu comportament amb una prova estructural.

Finalment, s'elaborarà un pressupost presentant els diferents costos tant de fabricació com

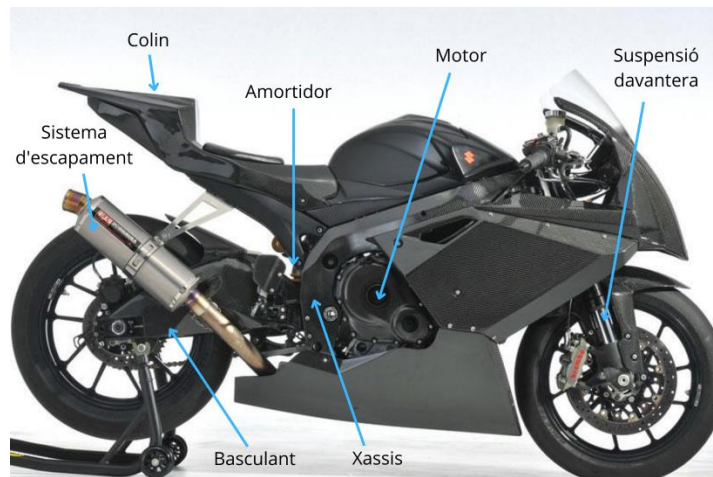
de desenvolupament del colin.

4. Estudis previs

Prèviament a iniciar la fase de disseny del colin, s'estudien els diferents tipus de colins que existeixen, els requeriments que ha de tenir la peça final i, per altra banda, s'analitzen els respectius dissenys de les edicions anteriors i els diferents dissenys i models de colin emprats pels diferents equips participants del mundial de motociclisme, i més concretament de la categoria Moto 3, ja que aquesta categoria és la més semblant als prototips de MotoStudent.

4.1. Parts d'una motocicleta

Abans d'entrar en les tipologies de colins, és interessant parlar sobre les diferents parts de les motocicletes de competició per entendre millor quina és la funció del colin i el perquè és necessari un bon disseny.



Il·lustració 8: KTM RC8 amb les diferents parts. Font: KTM.

A nivell geomètric es divideixen les motocicletes en dues parts, la part davantera i la part del darrere. Aquestes dues parts no estan partides per la meitat exacte de la motocicleta, com es podria imaginar, sinó que la part davantera són tots aquells components que es mouen amb el manillar i la resta compon la part del darrere. A continuació s'expliquen els components més importants d'una motocicleta de competició (vegeu Il·lustració 8):

- **Motor:** És l'encarregat de proporcionar la potència necessària per moure la motocicleta.
- **Xassis:** és la columna vertebral de les motocicletes, a partir de la qual totes les altres peces o components s'uneixen a ell. Té dues funcions, la primera és la d'aguantar tots els components que s'uneixen a ell i la segona és la de suportar tots els esforços als quals estarà sotmesa la motocicleta. Ha de proporcionar manejabilitat, estabilitat i

precisió en la conducció.

- Basculant: És la segona part més important de la motocicleta, per darrere del xassís, ja que aquesta sostén la roda posterior i permet el seu lliure moviment vertical i la fa inamovible en direcció horitzontal.
- Amortidor: Aquesta peça, unida tant al xassís com al basculant, s'encarrega de mantenir la roda posterior en contacte amb el terra en tot moment. Això ho fa absorbint tots els impactes i sobrepassant les irregularitats de la pista.
- Suspensió davantera: Realitza una funció similar a la de l'amortidor però amb la roda davantera.
- Sistema d'escapament: És l'encarregat d'evacuar els gasos produïts pel motor a la combustió a l'exterior.
- Colin: És una de les parts més importants pel pilot, ja que d'ell depèn la seva comoditat a l'hora de realitzar les diferents maniobres durant la conducció.

A continuació s'explica detalladament aquest últim component i les diferents tipologies que existeixen a l'actualitat.

4.2. Tipus de colin

El colin és aquella part de la motocicleta que té la funció, no només d'aportar una bona comoditat al pilot, sinó també la de suportar les accions i el pes del propi pilot i transmetre-les al xassís. El disseny d'aquesta peça té infinitats de possibilitats, ja que depèn tant de la geometria de les altres parts del prototip com de les capacitats físiques del pilot.

Per altra banda, en els últims anys l'estudi aerodinàmic ha evolucionat molt, en gran part gràcies a les grans inversions dels equips que participen a Moto GP, i ha augmentat la importància de realitzar, ja no només un bon disseny estructural i funcional com s'havia fet fa anys, sinó també un bon disseny aerodinàmic [1]. Com es pot observar a les següents il·lustracions, amb el pas dels anys hi ha hagut un gran canvi en el disseny del colin de les diferents motocicletes a nivell aerodinàmic, ja que han passat d'un disseny molt senzill a actualment treure-li el màxim potencial, tant aerodinàmic com estructural, fet que en l'actualitat es tinguin uns dissenys més complexos i sofisticats. (Vegeu Il·lustració 9 i Il·lustració 10).



Il·lustració 9: Honda RC142 del 1959. Font: We heart Honda [2].



Il·lustració 10: Aprilia RS-GP 2021. Font: Motorbike Magazine [3].

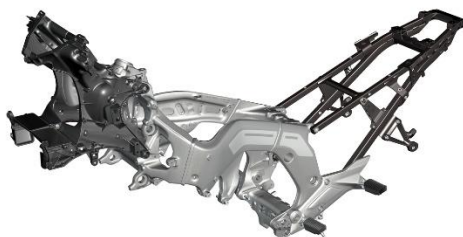
Com podem observar a les il·lustracions presentades, actualment el colin ja no només serveix com element estructural i de suport pel pilot, sinó també pot arribar a servir com a suport de diferents components, ja siguin components electrònics, sensors o fins i tot poden contenir el dipòsit de gasolina [4].

A continuació s'expliquen breument els diferents tipus de colins per a motocicletes de competició a nivell estructural, el colin amb sub-xassís i el colin autoportant:

4.2.1. Colin amb sub-xassís

Aquesta és l'opció més utilitzada, sobretot en motocicletes de competició de baixa cilindrada, ja que és de les dues opcions la més barata i estàndard. Consisteix en dues peces independents unides mitjançant cargols, el sub-xassís i el colin.

El sub-xassís és una estructura de tubs d'acer que s'encarrega de suportar les càrregues provinents del pes del pilot i dels moviments que aquest fa sobre el colin quan la motocicleta està en moviment. A la Il·lustració 11 es pot veure un xassís de motocicleta amb un sub-xassís.



Il·lustració 11: Sub-xassís motocicleta. Font: Motopro [5].

El propi colin és una peça generalment de fibra de vidre o fibra de carboni, tot i que podria ser metàl·lica o inclús entapissada. Aquesta superfície ha de ser ergonòmica perquè el pilot pugui realitzar les maniobres suficients, és a dir, poder prémer les cames contra el colin i moure's endavant i endarrer a l'hora de girar les corbes i per incorporar-se a la posició de màxima velocitat còmodament. Per altra banda, també té una component aerodinàmica important, ja que ha d'assegurar que el flux d'aire circuli al voltant seu i així reduir el màxim la fricció amb l'aire, perquè com major sigui la resistència aerodinàmica menor potència es tindrà.

La Il·lustració 12 mostra el disseny de colin d'una motocicleta, semblant al prototip ER20 pel que fa a potència i mesures.



Il·lustració 12: Colin NSF250. Font: AEC competició [6].

Respecte a les edicions anteriors de l'ETSEIB Racing, des de la primera edició (prototip ER10) fins a la quarta edició (prototip ER16) es va seguir aquesta tipologia de colin, ja que en tenir un pressupost reduït era l'opció que millor s'adaptava a les seves necessitats. Tots ells van dissenyar un sub-xassís conforme el seu xassís i van comprar un colin comercial que únicament van adaptar perquè es pugues collar al sub-xassís en els punts adequats.

D'altres exemples de motocicletes que utilitzen aquest tipus de colin són les motocicletes del "European Talent Cup", campionat del FIM JuniorGP. En aquest campionat tots els equips

participants estan obligats a participar amb l'Honda NSF 250 R i no estan autoritzats a fer canvis respecte a la motocicleta estàndard. Aquesta motocicleta munta un colin amb un sub-xassís molt senzill com es mostra a les següents il·lustracions on podem veure la motocicleta amb el colin muntat i el seu respectiu sub-xassís (Il·lustració 13 i Il·lustració 14).



Il·lustració 13: Honda NSF 250 R. Font: FIM CEV Repsol.



Il·lustració 14: Sub-xassís Honda NSF 250 R. Font: Briefing motos.

4.2.2. Colin autoportant

Els colins autoportants són aquells dissenyats d'una sola peça, és a dir, sense necessitat d'una estructura externa que uneixi el xassís amb el colin. El propi colin és l'encarregat tant de suportar les càrregues com de proporcionar la superfície suficient perquè el pilot estigui còmode en totes les maniobres. Aquest colin va subjectat directament al xassís mitjançant unions cargolades i solen ser fabricats a partir de fibra de carboni [7], ja que és molt més resistent que la fibra de vidre, i materials com el PVC per donar-li consistència a la peça final. A la Il·lustració 15 es pot veure un exemple de colin autoportant de fibra de carboni.



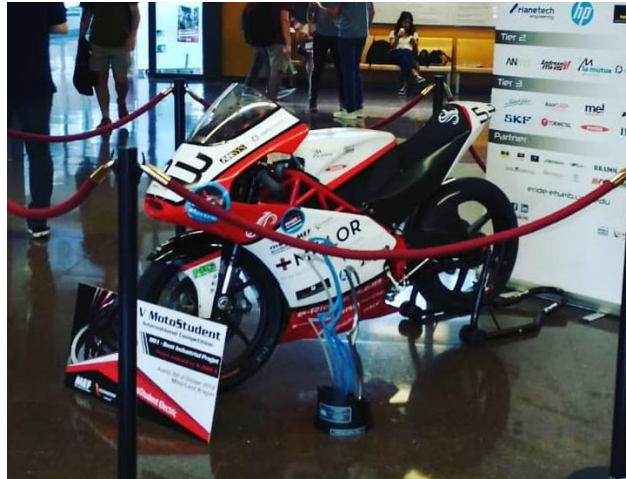
Il·lustració 15: Motocicleta amb colin autoportant. Font: GBR Cycles.

En comparació amb el colin amb sub-xassís, aquesta és una opció més cara i complicada, un colin autoportant de disseny propi pot arribar a costar entre 1000 € i 2000 € més que un colin comercial amb sub-xassís. Tot i ser una opció més cara permet dissenyar i adaptar al màxim les necessitats del pilot.

Per altra banda, aquests dissenys solen ser molt usats quan es vol col·locar el dipòsit de combustible a la part posterior de la motocicleta, ja que al no tenir els tubs d'alumini o acer del sub-xassís, es pot encabir dintre del colin juntament amb peces essencials pel prototip com bateries i elements de telemetria, entre d'altres.

Pel que fa a l'ETSEIB Racing, l'última edició (prototip ER18) va ser l'única edició on es va optar per aquest disseny de colin. El seu pressupost era superior al dels últims anys i van preferir canviar la tendència de les altres edicions de fer un colin el més estàndard possible a fer un colin de disseny propi. Ells van realitzar el disseny i la fabricació es va fer íntegrament amb una empresa externa.

Un altre prototip interessant que va presentar aquesta tipologia de colin és la E-ONE de l'equip e-Ride també de l'ETSEIB, participant en la categoria elèctrica de la cinquena edició de MotoStudent. És molt rellevant el seu disseny, ja que no només van elaborar un disseny d'un colin autoportant sinó també van elaborar la fabricació en fibra de carboni a la universitat (veure Il·lustració 16).



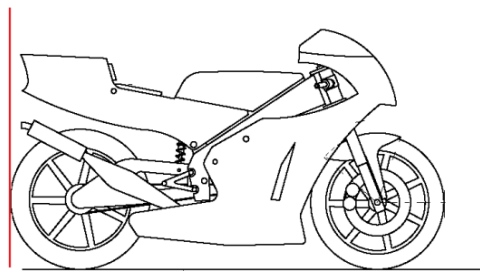
Il·lustració 16: e-ONE. Font: E-Ride ETSEIB.

4.3. Normativa aplicable

Un cop vist els diferents tipus de colins que s'usen a l'actualitat és important saber quina normativa s'aplica al colin, prèviament al disseny d'aquest. Des de l'organització es fa arribar als equips una normativa, en alguns punts independent per cada categoria, on es presenta tot el que ha de respectar el prototip final.

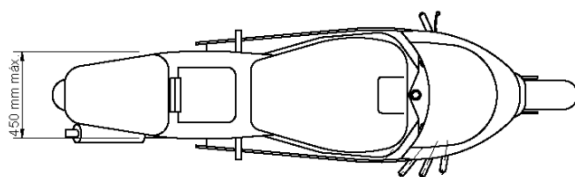
Pel que fa al colin, la part de normativa que l'afecta directament sobretot és a nivell de geometria. A continuació es presenten els punts de la normativa que fan referència al colin.

- El prototip no pot tenir cap component que depassi la línia vertical tangent al pneumàtic posterior (veure Il·lustració 17).



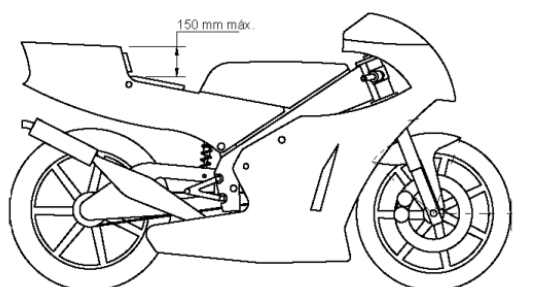
Il·lustració 17: Límit posterior del prototip. Font: Motostudent.

- L'amplada màxima del seient no pot ser superior a 450 mil·límetres (veure Il·lustració 18).



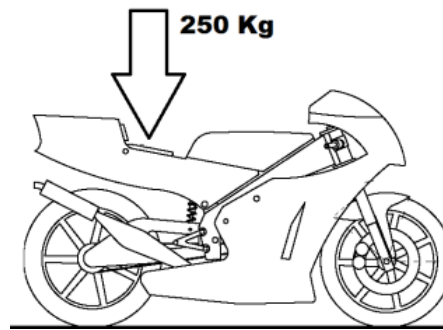
Il·lustració 18: Amplada màxima seient. Font: Motostudent.

- La banda de rodament del pneumàtic posterior ha de presentar en tot moment una distància lliure superior a 15 mil·límetres a qualsevol element del prototip. Per tant, en els punts de màxima compressió, on el colin serà el més proper al pneumàtic, ha de mantenir la distància descrita.
- Entre l'alçada màxima del colin i el seient, entenent el seient com la zona d'espuma que se li posa al colin perquè el pilot es recolzi còmodament, no hi pot haver una cota superior a 150 mil·límetres (vegeu Il·lustració 19).



Il·lustració 19: Distància màxima del colin al seient. Font: Motostudent.

- El prototip ha d'incorporar, centrada al colin, una llum vermella que s'haurà d'encendre en el cas que les condicions de pista es declaressin en mullat.
- S'aplicarà sobre el prototip una força de 250 kg de manera vertical i progressiva i aquest haurà de verificar que en cas de màxima compressió no es produeixen interferències entre elements, així com que tots els sistemes que integren la part cicle del prototip treballin adequadament. A la Il·lustració 20 es pot observar la descripció d'on s'aplica la càrrega.



Il·lustració 20: Descripció càrrega a aplicar al prototip. Font: Motostudent.

4.4. ER20 fins al moment

Un cop vist les diferents parts que componen una motocicleta i estudiada les diferents tipologies de colin que existeixen, i prèviament a escollir quin tipus de colin s'usarà per a la ER20, s'expliquen els components que es tenen fins al moment.

Es parteix de la base on tots els components estructurals ja estan dissenyats, a excepció del colin, i la majoria d'ells fabricats. S'ha deixat el disseny i fabricació del colin per al final perquè, al ser una peça tan essencial per a la comoditat del pilot, vàrem decidir que es realitzaria el disseny i la fabricació del colin poden mesurar totes les altres peces, no només amb els documents CAD, sinó també al propi taller.

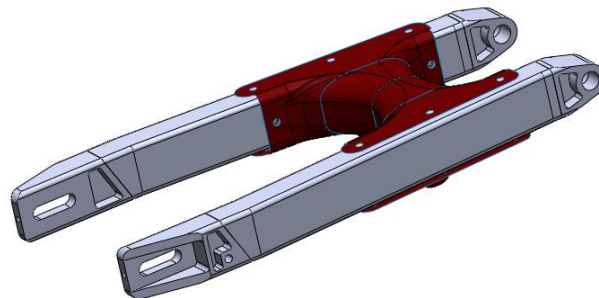
A continuació es presenten els diferents components de la ER20 que estan dissenyats i/o fabricats:

- Xassís: El xassís ja s'havia dissenyat i fabricat i només faltaven els acabats superficials com la pintura. Es va decidir realitzar un xassís tubular d'acer (veure Il·lustració 21).



Il·lustració 21: Xassís ER20. Font: Pròpia.

- Basculant: Pel que fa al basculant es va decidir crear una peça innovadora. Aquesta consistia en dos braços d'alumini units mitjançant un pont de fibra de carboni que permet canviar la rigidesa del basculant en el cas que fos necessari (Il·lustració 22). En el moment de començar el disseny del colin tant els braços com el pont de fibra estaven fabricats i només faltava unir les dues peces mitjançant unions cargolades.



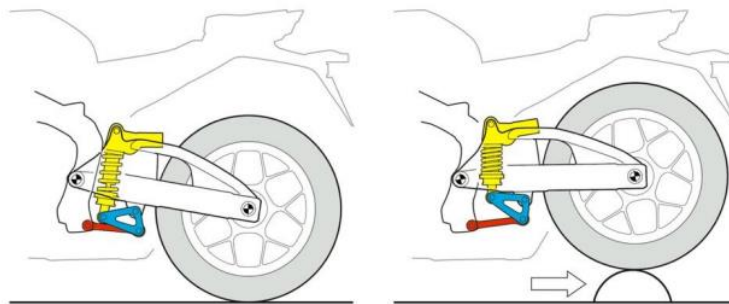
Il·lustració 22: Basculant ER20. Font: Pròpia.

- Suspensió davantera: La suspensió davantera estava completament acabada i només feia falta el muntatge al prototip (Il·lustració 23). Val a dir que es va comprar el sistema de suspensió, però tots els components de muntatge tant al xassís com a la roda van ser dissenyats per l'equip.



Il·lustració 23: Sistema de suspensió davantera.

- Sistema de suspensió de darrere: El sistema que es va decidir fer per la ER20 era un sistema pro-link (Il·lustració 24). Aquest sistema té connectat el triangle de suspensió al basculant i la bieleta va connectada al xassís. Es muntaran unes bieletes regulables per adaptar-les al gust del pilot i l'amortidor és un Öhlins especial de carreres amb regulacions de rebot, velocitat de compressió i precàrrega.



Il·lustració 24: Sistema de suspensió pro-link. Font: Vittore Cossalter [8].

- Motor: Com el motor el proporciona la competició (vegeu Il·lustració 25) només calia dissenyar els suports amb el xassís i fer la posada a punt un cop estigués el prototip a pista.



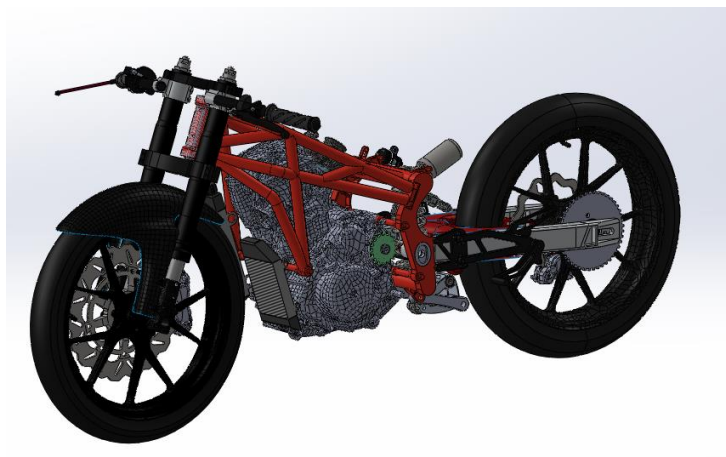
Il·lustració 25: Motor KTM de la ER20. Font: pròpia.

- Sistema d'escapament: El sistema d'escapament es trobava en procés de disseny i el procés de fabricació es faria més endavant un cop es tingués la motocicleta assemblada per tenir les cotes exactes de per on passar el tub d'escapament.
- Carenats: Els carenats es van comprar i més endavant s'adaptarien a la motocicleta. Es va comprar el model EVO XL a Speed Fiber (Il·lustració 26).



Il·lustració 26: Carenats ER20. Font: pròpia.

El disseny en CAD de la motocicleta es tenia pràcticament acabat, amb la majoria de peces fabricades o en fase de disseny exceptuant el colin, el dipòsit i el sistema d'escapament. A partir del següent disseny CAD (Il·lustració 27) es parteix per a iniciar el procés de disseny del colin.



Il·lustració 27: Assemblatge ER20 en CAD. Font: pròpia.

5. Requeriments del colin

En aquest apartat s'expliquen els requeriments que ha de garantir el colin no només estructurals o de normativa (vistos anteriorment), sinó també de geometria necessària per a la pròpia comoditat del pilot així com de volum per tal d'encabir el dipòsit de combustible.

És important saber tots els requeriments i restriccions dels que ha de disposar la peça final abans d'escollir la tipologia de colin que es voldrà seguir, ja que podria ser que algun d'aquests requeriments impossibilités el disseny del propi colin o el compliment d'aquests.

5.1. Requeriments del pilot

A nivell geomètric el colin és molt important que s'adapti el més possible a les necessitats del pilot. L'equip va tenir en compte tant les pròpies recomanacions del pilot com els avantatges i inconvenients de les edicions anteriors.

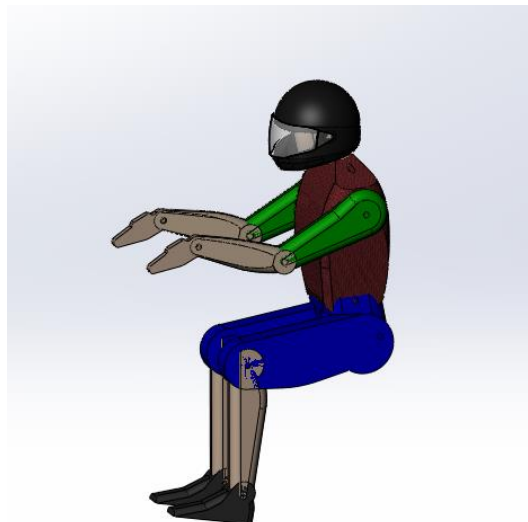
Primer de tot cal dir que el pilot, Manel Segarra, que ja havia participat de les anteriors edicions de la competició amb l'equip, és un pilot físicament gran respecte a la cilindrada de la motocicleta. Per fer-se una idea, actualment motocicletes de la mateixa cilindrada, com podrien ser les Honda NSF 250 R participants de l'European Talent Cup, estan pensades per a nens a partir de tretze anys d'edat [9] i que tenen unes característiques físiques molt inferiors, tant en altura com en pes, al pilot que conduirà la ER20. És per això que a l'hora de dissenyar algunes peces del prototip cal tenir en compte les característiques físiques del pilot per tal d'adaptar-les el millor possible al disseny del prototip.

Pel que fa al colin, un cop parlat amb el pilot sobre els aspectes a millorar de les edicions anteriors, les seves recomanacions són les de dissenyar un colin amb un seient on es pugui moure endavant i endarrere, és a dir, amb una llargada de seient superior als 150 mil·límetres, per tal de poder-se acoblar el millor possible a la motocicleta en la posició de màxima velocitat (veure Il·lustració 28). Seguidament, també va recomanar que el colin fos ample, d'uns 280 mil·límetres d'amplada, més que els colins estàndards que es venen per aquesta cilindrada de motocicleta, que acostumen a ser d'uns 150 mil·límetres, perquè pugui transmetre tot el seu pes a l'amortidor quan la motocicleta està inclinada en una corba tenint el cul ben acomodat.



Il·lustració 28: Posició de màxima velocitat. Font: FlexBox Hp 40.

Per tal de validar que el disseny en CAD compleix els requeriments geomètrics requerits pel pilot, s'ha dissenyat l'anomenat *dummy*¹ (Il·lustració 29) en 3D amb les característiques físiques del pilot, on destaquen els 1,80 metres d'alçada.



Il·lustració 29: Dummy amb característiques físiques del pilot. Font: pròpia.

5.2. Requeriments de l'equip

A conseqüència que el motor proporcionat per la competició, el motor KTM de la RC-250, és comparativament amb altres motors de cilindrades iguals (250 cc) més gran, per aquest motiu

¹ Dummy: Figura que simula el cos d'una persona real, en aquest cas el d'en Manel Segarra (pilot de l'ETSEIB Racing) que permet estudiar la posició i la postura de conducció sobre el prototip.

es va optar per disposar el dipòsit dins del colin, subjectat al sub-xassís o collat directament al colin, depenen de la tipologia de colin que finalment es decidís fer.

Aquesta decisió es va prendre, ja que es va optar per deixar l'espai sobre el motor per poder fer un bon disseny del *RamAir* i l'*AirBox*, el primer canalitza l'aire des de la part frontal de la motocicleta fins a l'*AirBox* i aquest el canalitza a les vàlvules d'admissió del motor fent-lo entrar a la màxima pressió possible millorant així la combustió del motor. Tot i això aquest no va ser l'únic motiu pel qual es va decidir situar el colin a la part del darrere del prototip, sinó també perquè d'aquesta manera ens permetia compensar el pes de més que es tenia a la part frontal de la motocicleta, degut al xassís i al motor i a més es podria utilitzar aquest espai sobre el motor per col·locar-hi alguns components electrònics com la centraleta i la bateria, entre d'altres, fent-los de fàcil accés.

A conseqüència d'aquesta decisió s'haurà de dissenyar el colin en paral·lel amb el dipòsit per assegurar el correcte assemblatge d'ambdues peces i tenir en compte la capacitat del dipòsit de combustible, que hauria de ser superior als set litres, i que es pugui omplir el dipòsit fàcilment i sense la necessitat de desmuntar el colin.

6. Tipologia del colin escollida

Per escollir l'alternativa final, es fa mitjançant una matriu de decisions. Les possibles alternatives són avaluades i aquella amb la puntuació més alta és la solució escollida. Per cada criteri explicat a continuació, se li assigna un pes corresponent a la importància d'aquell criteri per a la solució final, seguint el mètode AHP [10]. En funció d'aquests criteris, cada alternativa obté una puntuació entre zero i cinc: sent zero quan el criteri no satisfà el criteri i cinc significa que aquella alternativa satisfà el criteri a la perfecció.

Els criteris a seguir per a l'elecció del colin són els següents:

- Preu (C1): Tot i tenir un pressupost més alt que les anteriors edicions, el pressupost continua sent ajustat. És per això que és important que la solució sigui tan econòmica com sigui possible.
- Fabricació (C2): Un dels objectius que es va plantejar l'equip a principis del projecte era el d'intentar fabricar el màxim de peces i components a la universitat, és per això que aquest factor és rellevant.
- Dificultat del disseny (C3): Al ser un disseny fet per a estudiants que no tenen una gran formació en el disseny d'aquest tipus de peces, aquella solució amb més facilitat de disseny serà millor valorada.
- Requeriments del pilot (C4): Poder complir amb tots els requeriments del pilot voldrà dir que el pilot se senti còmode amb la motocicleta i és un dels factors més importants quan es vol ser competitiu en el món del motociclisme.
- Facilitat en el disseny del dipòsit (C5): Com s'ha vist a l'apartat anterior el colin haurà d'incorporar en el seu interior el dipòsit de combustible, per això és important que l'alternativa escollida tingui facilitat d'incorporar el dipòsit en el seu interior.
- Aprenentatge (C6): Com és un projecte pensat per a l'evolució professional dels estudiants participants, aquella solució que aportí un esforç d'aprenentatge serà millor valorada. Tot i ser un criteri que no canvia l'estat final del projecte, és valuós per al futur professional dels membres de l'equip.

Un cop explicats els criteris a tenir en compte per a l'elecció de la tipologia del colin, es compara cada criteri amb la resta de criteris indicant quin es considera més valuós. La Taula 3 mostra els valors utilitzats per calcular-ho i segons l'escala de qualificació AHP, que indica que el quart criteri (C4 – Requeriments del pilot), amb un valor de 4, és altament més important que el primer i el sisè criteri (C1 – Preu i C6 – Aprenentatge), moderadament més rellevant al segon i cinquè criteri (C2 – Fabricació i C5 – Facilitat en el disseny del dipòsit), amb un valor de 2, i és força més rellevant que el tercer criteri (C3 – Dificultat del disseny) amb un valor de 3. Aquests valors es normalitzen, dividint cada valor per la suma de la seva columna, i per a cada criteri (fila) es calcula la mitjana.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Pes (%)
C1	1	1/4	2	1/4	1	1/3	8,7
C2	4	1	4	1/2	1	6	24,3
C3	1/2	1/4	1	1/3	1/4	5	9,3
C4	4	2	3	1	2	4	31,6
C5	3	1	4	1/2	1	4	21,5
C6	1/2	1/6	1/5	1/4	1/4	1	4,6
Sumatori	13	4,67	14,20	2,83	4,83	22	100%

Taula 3: Parametrització dels criteris.

A continuació es presenta la taula comparativa de les dues alternatives (Taula 4) respecte els diferents criteris tenint en compte el pes de cada un d'ells calculat a la Taula 3.

	Pes (%)	Colin amb sub-xassís	Colin autoportant
Preu	8,7	4	2
Fabricació	24,3	3	5
Dificultat del disseny	9,3	3	1
Requeriments del pilot	31,6	3	4
Dipòsit	21,5	2	4
Aprenentatge	4,6	3	5
Totals	100%	2,87	3,84

Taula 4: Comparativa possibles solucions de la tipologia del colin.

La comparativa mostra que dissenyar un colin autoportant compleix millor amb els criteris

presentats anteriorment que el colin amb sub-xassís. Primer de tot, i fent referència al criteri del preu de cada tipologia de colin, fabricar un colin autoportant és força més car que un colin amb sub-xassís com s'ha explicat al punt 4.2.2.

On es troba més diferència entre les dues alternatives és en la fabricació, ja que, per una banda, la fabricació del colin autoportant es podria fer íntegrament o pràcticament íntegrament al taller de l'equip mentre que per realitzar el sub-xassís de la segona alternativa es necessitaria un taller especialitzat a soldar i modelar tubs d'acer. A més la versatilitat que et dona el colin autoportant per poder encabir el dipòsit dins seu és molt gran, ja que disposes de tot l'espai que ocuparien els tubs d'acer del sub-xassís per al dipòsit i permet complir amb els requeriments del pilot amb més facilitat.

Per una altra banda, a nivell de dificultat de realitzar un disseny d'un colin autoportant és més complex que el d'un colin amb sub-xassís a causa de la component estructural del propi colin i degut també al disseny de les unions amb el xassís, però per contra a nivell d'aprenentatge realitzar el disseny i la fabricació d'un colin autoportant aporta uns coneixements més elevats als estudiants degut, en gran part, a la seva complexitat de creació.

En definitiva, l'opció triada per a dissenyar el colin no és un altre que la d'utilitzar una tipologia de colin autoportant. D'ara endavant s'explicarà el procés de disseny i validacions del model CAD, el procés de fabricació i la validació de la peça final.

7. Disseny del model

Un cop estudiada tota la informació dels diferents tipus de colins que existeixen en l'actualitat i escollida la tipologia del colin a desenvolupar, es procedeix al disseny del colin per la ER20. A continuació es presenta i s'explica els passos a seguir per a realitzar el disseny del colin i els resultats del disseny final.

7.1. Disseny CAD

Un cop escollida la tipologia de colin que portaria la ER20 i amb el disseny en CAD dels components de la motocicleta que intervenen directe o indirectament al disseny del colin, s'ha elaborat un disseny en 2D per definir el perfil del colin i comprovar que el punt on s'asseuria el pilot era l'adequat. Cal dir, que el disseny del cobreix-dipòsit, peça que cobreix la zona sobre el motor on normalment hi va el dipòsit, no en el nostre cas, es dissenya junt amb el colin, ja que es vol aconseguir estèticament una gran sintonia entre les dues peces.

Un cop es té el disseny del perfil en 2D del colin es comprova que la distància entre manillar i seient i entre l'estrep i el seient sigui la correcte. Per assegurar que aquestes mesures siguin les adequades, s'ha acordat amb el pilot, després de mesurar la seva posició en el prototip ER18, els següents intervals de tolerància per a aquestes mesures:

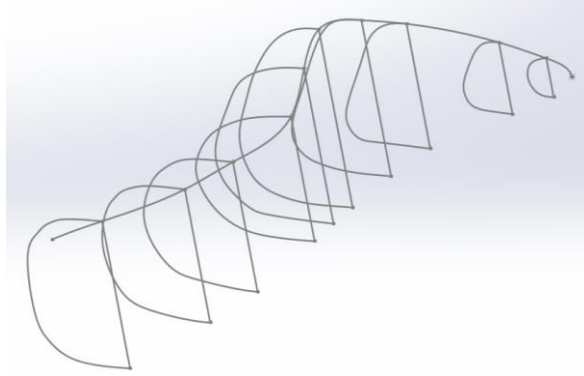
Distància entre manillar i seient: Entre 785 mm i 800 mm.

Distància entre estrep i seient: Entre 415 mm i 435 mm.

Un cop comprovades que les distàncies al croquis en 2D es respecten, es passa al disseny de la peça en tres dimensions. Per a la creació del model en 3D es realitzarà primer el cobreix-dipòsit i el colin per separat i després s'uniran.

Pel disseny del cobreix dipòsit, en ser una peça senzilla de disseny, es realitza a partir del croquis en dues dimensions i mitjançant l'operació d'extrusió de superfícies i arrodonint els cantons. S'ha de tenir en compte que els costats d'aquesta peça coincideixin amb els tubs laterals del xassís perquè el pilot pugui recolzar les comes sobre la pròpia peça.

Per altre banda, el colin és una peça més complexa que el cobreix-dipòsit. Per aquest motiu, i per assegurar que el dipòsit es pot encabir al colin, s'utilitza el mètode de les seccions pel seu disseny. Aquest consisteix a crear diferents seccions, separades uns 10 centímetres entre elles, perpendiculars al croquis 2D amb la forma del disseny que es vol aconseguir en cada pla de la secció. A la següent il·lustració (Il·lustració 30) es pot veure el disseny per seccions del colin.



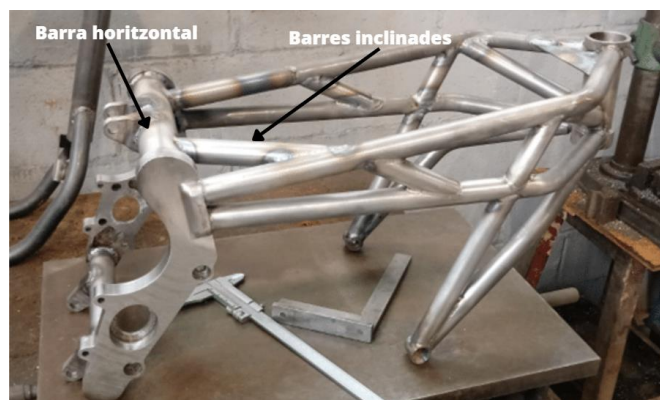
Il·lustració 30: Disseny per seccions del colin. Font: pròpia.

Un cop totes les seccions estan dissenyades s'ajunten amb l'eina "recobriment" que, seguint el patró de les seccions i el perfil del croquis 2D, crear un únic sòlid.

Quan es té el colin dissenyat en 3D es comprova que el dipòsit de combustible hi càpiga dins del colin i en cas contrari es modifica tant el colin com el dipòsit perquè les dues peces quedin ben integrades, sempre mantenint el mínim de capacitat del dipòsit de 7 litres per a requeriment de l'equip.

Un cop comprovat que el colin i el dipòsit són compatibles, s'uneix el colin al cobreix-dipòsit a partir de diferents operacions i, si fa falta, es modifiquen aquelles parts que no quedin ben integrades.

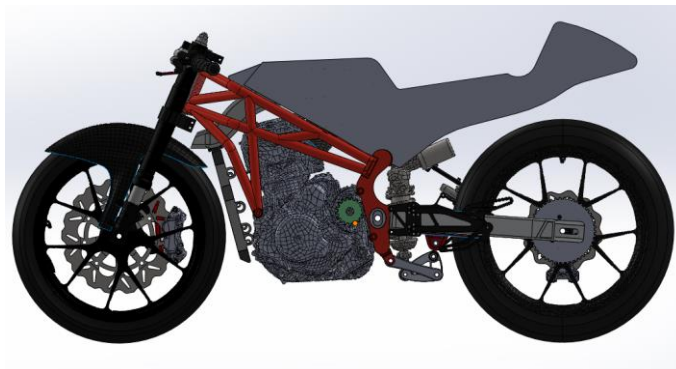
Finalment, quan es té el disseny del colin i cobreix-dipòsit perfectament integrats es dissenyen les unions amb el xassís. El colin es recolzarà al xassís a la barra horitzontal que uneix les dues platines i les unions cargolades quedaran tant a les barres inclinades com a la barra horitzontal mitjançant unes orelles, que es dissenyen a mida i que aniran soldades al propi xassís. En la següent il·lustració (Il·lustració 31) es pot veure el detall d'on aniria unit el colin amb el xassís.



Il·lustració 31: Detall barres d'unió colin-xassís. Font: pròpia.

7.2. Resultats del disseny CAD

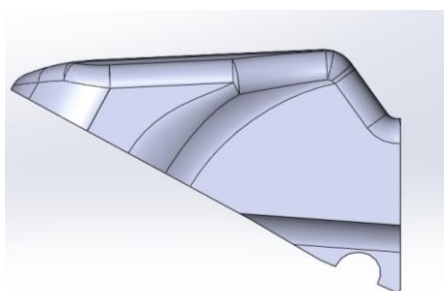
Seguint els passos explicats al punt 7.1 primer es realitza el disseny en 2D del colin (Il·lustració 32).



Il·lustració 32: Disseny del perfil 2D del colin. Font: pròpia.

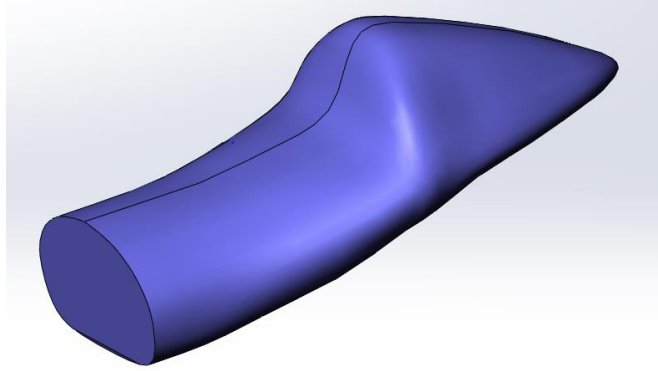
A partir d'aquest en 2D es comprova que les distàncies entre el manillar i el seient i entre el seient i l'estrep entrin dintre dels intervals de tolerància marcats, 798 mm i 428 mm respectivament. Un cop comprovat que el disseny en 2D compleix amb els requeriments imposats es passa al disseny en tres dimensions.

A partir del disseny del perfil en dues dimensions es realitza el disseny en 3D del cobreix-dipòsit arribant al següent disseny (Il·lustració 33).



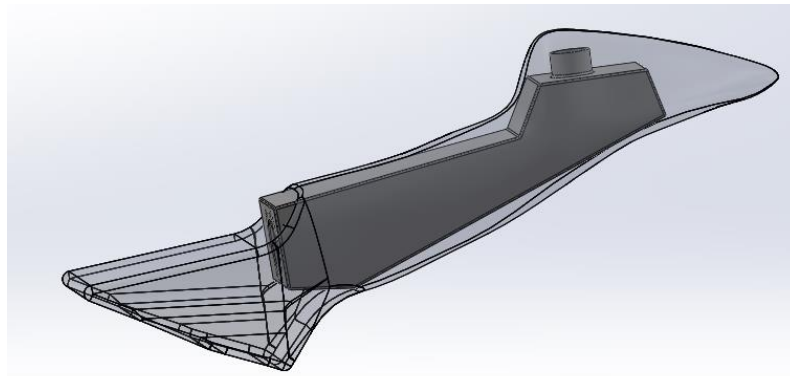
Il·lustració 33: Primer disseny del cobreix-dipòsit. Font: pròpia.

Seguidament es realitza el disseny del colin, seguint el mètode per seccions explicat al punt anteriorment (punt 7.1) s'arriba al disseny que es pot observar a la Il·lustració 34.



Il·lustració 34: Primer disseny del colin. Font: pròpia.

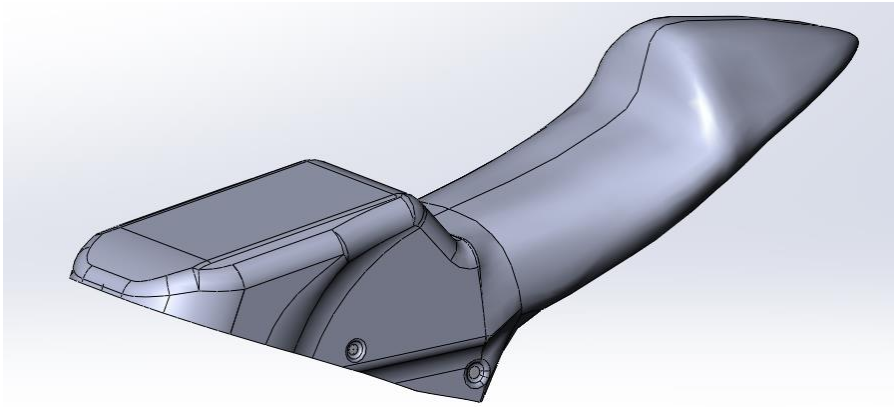
A partir d'aquest disseny es realitza un procés d'iteració de modificació tant del colin com del dipòsit de combustible fins a arribar a un disseny on les dues peces quedin perfectament integrades. El disseny final d'ambdues peces es pot veure a la Il·lustració 35.



Il·lustració 35: Versió definitiva del colin amb el dipòsit integrat. Font: pròpia.

Com es pot observar les dues peces queden perfectament integrades. Tot i semblar que el dipòsit queda molt proper al colin, com el disseny del colin en 3D és el positiu de la peça final, el gruix de la peça anirà cap a l'exterior. És a dir, la part més interior del colin és la que es veu a la Il·lustració 35 i, per tant, no hi haurà interferències geomètriques entre les peces. Més endavant, a l'apartat de fabricació s'explicarà com es fixarà el dipòsit dintre del propi colin, però per fer-se una primera idea es realitza mitjançant la laminació d'una tapa, de les mateixes dimensions que la part inferior del colin, amb el dipòsit i aquest conjunt es fixarà al colin mitjançant unions cargolades.

Finalment, es dissenya la unió de les dues peces, el colin i el cobreix-dipòsit i es dissenyen els ancoratges amb el xassís. A la Il·lustració 36 es pot veure el disseny final del colin.



Il·lustració 36: Disseny colin i cobreix-dipòsit amb ancoratges pel xassís. Font: pròpia.

8. Disseny i validació mitjançant elements finits

Un cop s'ha realitzat el model en 3D del colin, validat amb el disseny del dipòsit de combustible i comprovat que es complien els requeriments del pilot, s'ha passat a la validació mitjançant elements finits.

8.1. Simulacions que es realitzaran

Primer de tot es realitza la simulació dels esforços màxims que ha de suportar el colin. Com s'ha vist a l'apartat de normativa, l'organització de Motostudent per garantir que el disseny dels prototips és segur pels pilots, aplicarà al prototip una força progressiva i vertical sobre el seient fins a arribar als 250 kg (vegeu II-lustració 20). Així doncs, la força màxima que haurà de suportar el colin és de 250 kg de manera vertical.

Per altra banda, per verificar que el colin pot suportar, sense problemes de desplaçament de les fibres o trencament d'elles, les forces que realitzarà el pilot a pista, es realitzarà una simulació aplicant una força horitzontal als costats del colin per un valor de 50 kg. Aquesta força és superior a la que en realitat estaria sotmès, aproximadament d'un 50% més, però d'aquesta manera s'assegura que el colin és prou resistent.

Ambdues simulacions estructurals confirmaran no només que el disseny ajuda a repartir les càrregues aplicades al llarg del colin i al propi xassís, sinó també verificarà quina distribució de fibres és l'adequada per a la fabricació del colin. Per aquestes simulacions s'usa el programari "Hyperworks" d'Altair.

S'ha descartat simular el colin en diverses situacions reals a pista, perquè les càrregues que patirà el colin a pista són inferiors a la càrrega mínima que exigeix la competició [10] i, per altra banda, com el procés d'anàlisi computacional és tan complex, no és viable fer una simulació per a cada situació diferent. Tot i així, amb les simulacions, tant de la càrrega vertical com horitzontal, que es realitzaran són suficients per a determinar que la peça és vàlida per el seu ús.

Seguidament, es realitzen les simulacions aerodinàmiques per assegurar que cap element del colin augmenta el coeficient de fregament per sobre de l'acceptable. Per això, no només es realitza la simulació del colin, sinó que es realitza la simulació de tot el prototip (pilot inclòs) per observar el comportament de la motocicleta a pista envers el vent i a l'hora per veure si el colin genera turbulències que augmentarien la resistència a l'aire.

Aquesta simulació aerodinàmica es realitza mitjançant el programari "Ansys Fluent", un programa de dinàmica computacional de fluids, el qual permet simular, calcular i determinar

el comportament del prototip envers el vent. I tot i que els valors finals no són valors reals, són tan semblants a la realitat que es poden donar per bons.

8.2. Creació del mallat

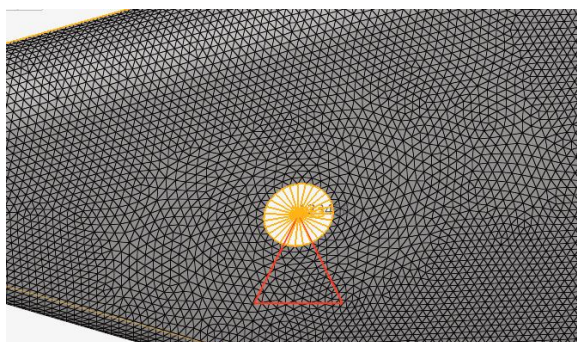
El primer pas per a realitzar unes bones simulacions i que els resultats siguin el més propers a la realitat és necessari la creació d'un bon mallat. Per als dos tipus de simulacions diferents, l'estructural i l'aerodinàmica, s'utilitzen mètodes de mallat clarament diferenciats. El mallat de les simulacions estructurals recrea el model en 3D en diferents elements, que formen la malla. En canvi, per a l'execució de les simulacions aerodinàmiques la pròpia malla, seguint el mètode del túnel de vent, recrea l'espai per on circularà el fluid.

8.2.1. Mallat de les simulacions estructurals

Per mallar i poder simular models amb materials compostos, com són les fibres de carboni, vidre i kevlar, és necessari que el model no tingui volum. Per això es modela el colin en forma de superfície.

Un cop es té el colin en superfícies, es fa el mallat usant elements 2D triangulars al llarg de tot el colin. Per a les unions cargolades, s'utilitzen elements RBE3. Aquests elements es caracteritzen per distribuir els esforços i moments que reben segons la distància que hi ha entre els nodes independents i els nodes dependents, que es tenen a la peça. Bàsicament, aquest tipus d'unió no afegeix rigidesa addicional al colin, reparteix, de manera més realista que els elements triangulars, els esforços sobre els elements del mallat. El total d'elements usat per al mallat és de 788.756 elements.

A la Il·lustració 37 es pot observar els dos elements utilitzats, el 2D triangulars al llarg de tota la superfície i els elements RBE3 per a les unions cargolades.



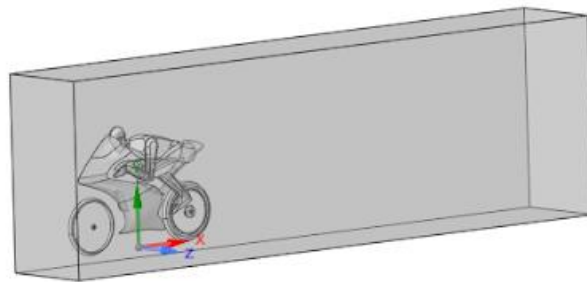
Il·lustració 37: Diferents elements del mallat del colin. Font: pròpia.

8.2.2. Mallat de les simulacions aerodinàmiques

Prèviament a la creació del mallat s'ha de crear un model simplificat de la motocicleta que contindrà el propi colin, el carenat, ambdues rodes, el cobreix-dipòsit, el radiador i el maniquí a escala del pilot simulant la posició de màxima velocitat. No se simula la motocicleta amb tots els elements de la ER20 perquè no es disposa d'una potència de processament que permeti una simulació tan potent.

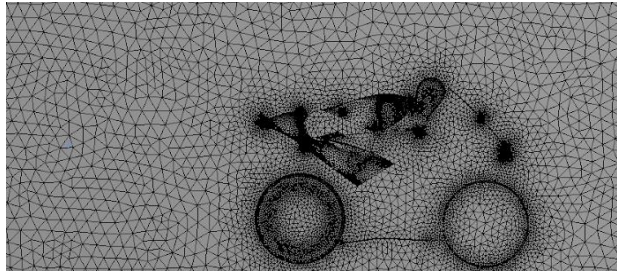
Un cop es té el model que es vol simular, s'ha de crear el volum de control. Aquest és l'espai per on circularà el fluid, aire en aquest cas, i ha de ser força més gran que la pròpia motocicleta perquè no influeixi en els resultats finals de la simulació.

Es treballa només amb la meitat de la motocicleta, ja que en ser pràcticament simètrica, no canvien els resultats i, seguint amb el comentat anteriorment, redueix el temps necessari de processament. A continuació (II-lustració 38) es pot observar el volum de control, que com s'ha comentat està format per un rectangle on s'han buidat les parts de la motocicleta que en formen part.



II-lustració 38: Model de simulació. Font: pròpia.

Un cop creada la geometria es divideix el volum a estudiar en elements finits, perquè el propi programa pugui realitzar la simulació. Per a una millor optimització del mallat, s'utilitza diferents mides d'element per les diferents zones del volum de control. Així doncs, a les zones més pròximes al prototip, zones crítiques, la mida d'element és més petita que en les zones més allunyades. A la (II-lustració 39) es pot observar els diferents elements que componen el mallat del volum de control, tots ells de tres nodes. Aquest mallat compta amb més de tres milions d'elements.



Il·lustració 39: Mallat del volum de control. Font: pròpia.

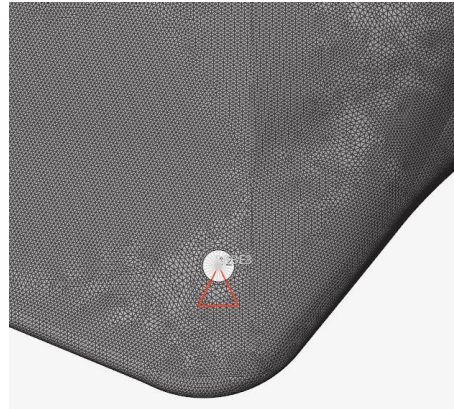
8.3. Condicions de contorn

Un cop creades les respectives malles per a les diferents simulacions, s'apliquen les condicions de contorn. Aquestes, igual que al mallat, són diferents en ambdues simulacions i s'expliquen a continuació.

8.3.1. Condicions de contorn de les simulacions estructurals

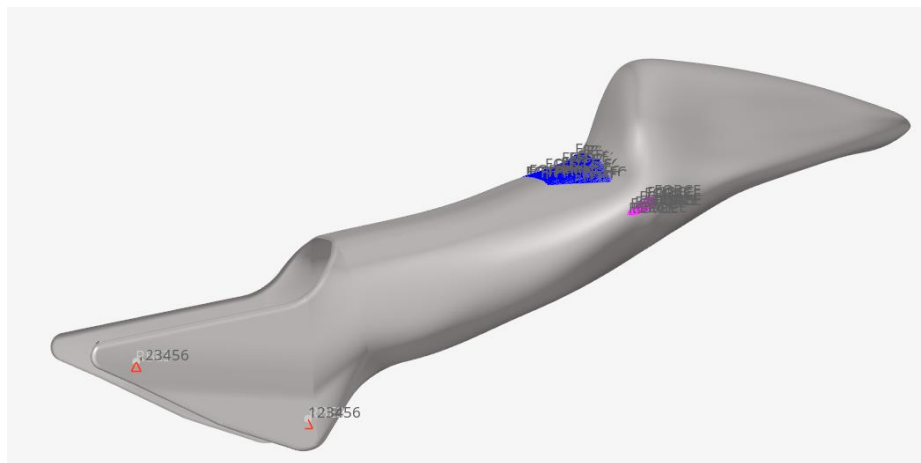
La primera condició de contorn que s'ha d'aplicar és l'orientació del colin respecte a els eixos de coordenades. És important que els eixos de coordenades estiguin en consonància amb les forces que s'apliquen, ja que, el colin ha d'estar orientat a les forces aplicades de la mateixa manera que ho estarà a la realitat

Un cop col·locats els eixos, cal aplicar les restriccions de moviment a les unions cargolades. Aquestes unions han de restringir els sis graus de llibertat, tant els tres de translació en els eixos X, Y i Z, com les tres rotacions sobre els tres eixos perpendiculars. Al model s'aplica aquesta restricció als elements RBE3, on els nodes dependents són els propis nodes del mallat del colin i com a node independent, tenim el punt central del forat per on passarà el cargol. El node que se li lleven els sis graus de llibertat és el node central del forat, és a dir, el node independent. A la Il·lustració 40 es pot observar el detall de la restricció aplicada a les unions cargolades.



Il·lustració 40: Detall de la restricció aplicada a les unions. Font: pròpia.

Un cop aplicades les condicions de contorn, es passa a aplicar les forces, la vertical de 250 kg sobre el seient i l'horitzontal de 50 kg al lateral del colin, amb les que es realitzaran les simulacions. A la Il·lustració 42 es mostra el model de simulació del colin un cop aplicades les condicions de contorn i les forces, la zona blava coincideix amb la zona d'aplicació de la força vertical de 250 kg i la zona rosada amb la zona d'aplicació de la força de 50 kg.



Il·lustració 41: Model de simulació del colin. Font: pròpia.

Finalment, l'últim pas previ a simular el model, és el d'aplicar la distribució de fibres que es vol simular, per tal de saber, a partir dels resultats, si és adequat per a la fabricació del colin.

8.3.2. Condicions de contorn de la simulació aerodinàmica

Per a aquesta simulació les condicions de contorn que cal aplicar al model són les propietats del fluid, en el cas a estudi l'aire, la velocitat a la que es vol simular i les propietats de la paret de la geometria.

Per a la velocitat del fluid s'aplica la velocitat màxima a la qual es preveu que anirà la motocicleta, per a simular en el pitjor dels casos on es poden observar perfectament si hi ha defectes en el disseny del colin. Aquesta velocitat és de 145 km/h (40,3 m/s) en l'eix longitudinal de la motocicleta. Cal dir, que aquesta propietat s'aplica al fluid i no a la motocicleta perquè es segueix, el mètode del túnel de vent, on el prototip es manté estàtic i el fluid és el que es mou.

Finalment, s'aplica a la paret posterior del volum de control la propietat de 0 Pascals perquè estigui a pressió atmosfèrica. I s'aplica el model matemàtic, en aquest cas s'utilitza el RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) amb un model de turbulència K-Epsilon, que és el més usat comunament.

8.4. Resultats

Un cop aplicades totes les condicions de contorn, ja es pot simular el model i analitzar els resultats de les respectives simulacions.

8.4.1. Simulació esforç màxim vertical

Un cop realitzat un procés d'iteració per a escollir la distribució de les diferents capes de fibra pel colin, s'ha arribat a la conclusió que la millor distribució de fibres per a la fabricació del colin és la que es pot observar a la Taula 5. Aquesta distribució compta amb diverses capes de diferents materials orientades en diverses direccions, amb l'únic propòsit de millorar les prestacions amb el menor pes possible. A la pròpia taula es pot veure les diferents capes que conformaran el colin, ordenades per ordre d'aplicació, amb la seva orientació respecte a l'anterior i la seva funció.

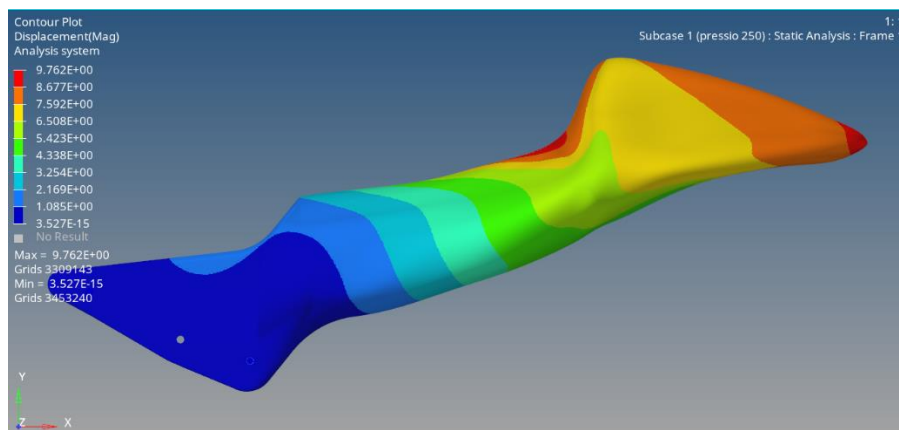
Capa	Gruix (mil·límetres)	Orientació respecte a l'anterior	Funció
Twill22mm	0,22	0°	Millor acabat superficial
Twill22mm	0,22	45°	Millor acabat superficial
Twill66mm	0,66	0°	Gran resistència
Twill66mm	0,66	45°	Gran resistència

Kevlar	0,5	0°	Impedeix que, en cas de ruptura del carboni, alguna part trencada del colin pugui desprendre's. Només a les zones crítiques.
Fibra unidireccional	0,5	0°	Aporta gran resistència en una única direcció. S'ubica en la direcció de màxima tensió.
PVC	-	-	Aporta gruix a la peça y d'aquesta manera s'aconsegueix inèrcia. Baix pes.
Alumini 6082T6	-	-	Inserit en les unions cargolades, impedeix l'esquinçament de la fibra de carboni.
Fibra Unidireccional	0,5	0°	Aporta gran resistència en una única direcció. S'ubica en la direcció de màxima tensió.
Kevlar	0,5	0°	Impedeix que, en cas de ruptura del carboni, alguna part trencada del colin pugui desprendre's. Només a les zones crítiques.
Twill66mm	0,66	45°	Gran resistència
Twill66mm	0,66	0	Gran resistència
Twill22mm	0,22	45°	Millor acabat superficial
Twill22mm	0,22	0°	Millor acabat superficial

Taula 5: Resum de les capes a utilitzar pel colin.

Amb aquesta distribució de material per al colin, s'ha simulat arribant als resultats següents. Primer de tot es mostra els resultats dels desplaçaments del colin degut a la força vertical de 250 kg (Il·lustració 42). Com es pot observar el punt que pateix un desplaçament més desfavorable coincideix amb la punta del colin, tot i així només arriba als 9,76 mil·límetres. Aquest desplaçament és més que assumible quan es treballa amb fibres de carboni i no és preocupant. A la resta del colin disminueix aquest desplaçament sent el mínim desplaçament

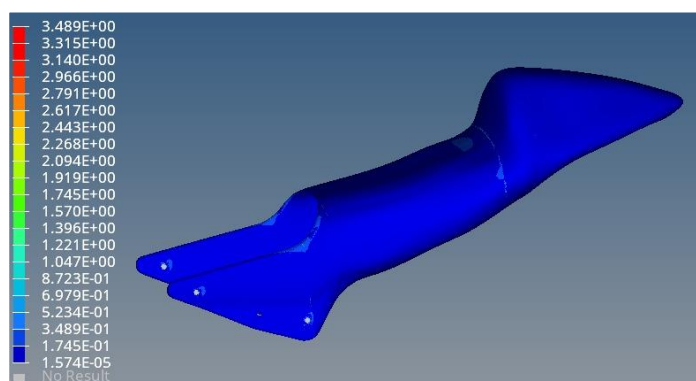
a la zona més propera a les unions cargolades.



II-lustració 42: Simulació desplaçaments. Font: pròpia.

La següent gràfica interessant per a la comprovació del correcte funcionament del colin amb aquesta distribució fa referència al coeficient de fallada de la laminació, o índex de ruptura. Aquest valor contempla tant la fallada per separació de les diferents capes del laminat com la fallada per trencament de les fibres, ja que les dues fallades provocarien danys irreversibles a la peça. El seu valor ha de ser sempre inferior a 1, però per assegurar el correcte funcionament de la peça i que en cap cas estariem propers a la fallada s'ha determinat que el màxim valor establert per qualsevol punt del laminat ha de ser de 0,5. D'aquesta manera es garanteix la fiabilitat del colin sense augmentar el pes en excés, ja que les fibres que componen aquesta peça són d'un material molt lleuger.

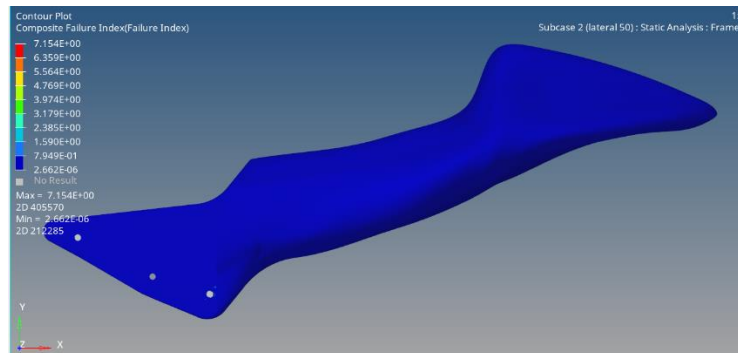
A la (II-lustració 43) es pot observar que tot el conjunt del colin es troba molt per sota del 0,5 marcat com a límit.



II-lustració 43: Simulació índex de ruptura. Font: pròpia.

8.4.2. Simulació força horitzontal

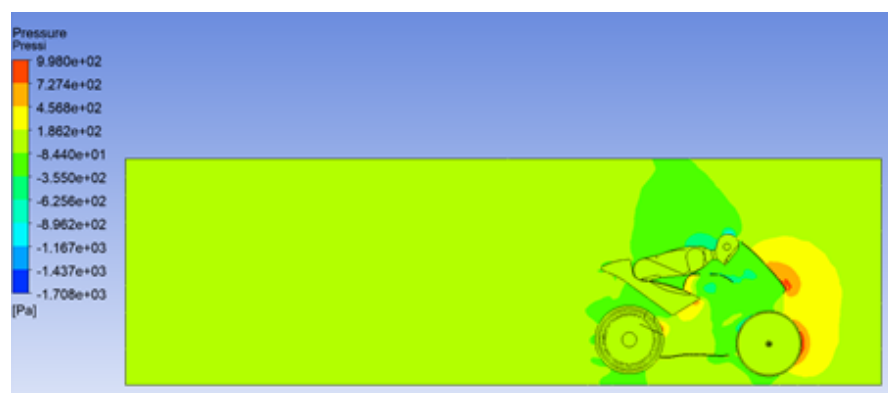
Finalment i per validar el model a nivell estructural, s'ha simulat la força de 50 kg horitzontal al lateral del colin per comprovar que el colin és resistent a la força que li aplicarà el pilot a l'hora de realitzar les diferents maniobres a pista. Per corroborar que és prou resistent, es comprova quin és l'índex de ruptura del colin aplicant la força de 50 kg. Es pot observar a la Il·lustració 44 que l'índex de ruptura és molt inferior a 0,5.



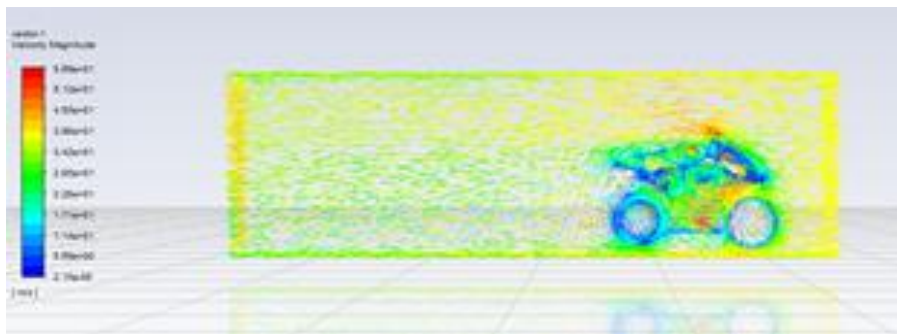
Il·lustració 44: Índex de ruptura aplicant força de 50 kg. Font: pròpia.

8.4.3. Simulació aerodinàmica

Primer de tot, i per comprovar que el mallat és correcte i s'ha fet una bona simulació, es comprova que els gràfics amb els resultats de les pressions i velocitats siguin lògics. És a dir, que el punt de màxima pressió coincideixi amb el de mínima velocitat i que la mínima pressió coincideixi a màxima velocitat. Com es pot comprovar a la Il·lustració 45 i la Il·lustració 46, es compleixen els dos supòsits. El primer d'ells, màxima pressió, coincideix amb el punt davant del carenat del prototip i el punt de màxima velocitat se situa a la part superior del cap del pilot. En aquest punt, degut al canvi de secció que pateix l'aire, hi ha una pèrdua de la capa límit generant una estela.

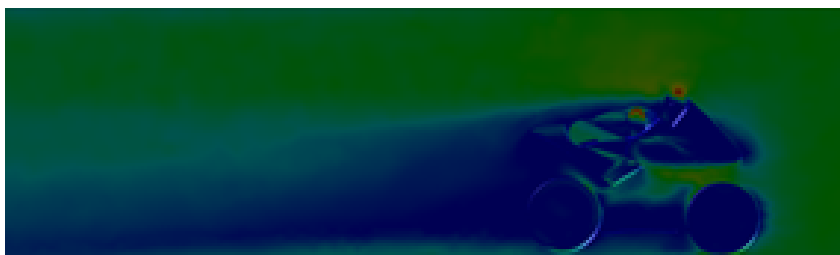


Il·lustració 45: Mapa de pressions. Font: pròpia.



Il·lustració 46: Mapa de velocitats. Font: pròpia

Seguidament, es mostra el mapa de turbulències que pateix el prototip a màxima velocitat (Il·lustració 47). El fenomen de turbulències o estela, és una depressió formada pel comportament caòtic de l'aire. Aquest causa una major resistència a l'avanç si aquesta estela creix i viceversa. Per tant, interessa que l'estela sigui la menor possible i és per això que es pot comprovar que el disseny del colin no genera turbulències no desitjades, i que l'estela generada és degut al canvi de secció de l'aire i, per tant, no és una estela de la que preocupar-se.



Il·lustració 47: Mapa de turbulències. Font: pròpia.

Un cop comprovat que el colin no genera una estela perjudicial per al desenvolupament del prototip, es pot donar per vàlid el disseny del colin i passar a la fase de fabricació. Tot i així, i ja que es tenen les simulacions aerodinàmiques de la motocicleta sencera, es passa a comprovar si la resistència aerodinàmica de la futura ER20 és superior o inferior a la dels prototips anteriors, com són la ER18 i la ER16.

Per a realitzar aquest estudi no és suficient el coeficient de "Drag", coeficient adimensional que indica la resistència d'un objecte en un medi fluid, ja que aquest no té en compte l'àrea frontal del prototip. En aquest punt és on es crea la resistència aerodinàmica degut al canvi de pressió que apareix entre la part frontal i la part posterior de la motocicleta. Llavors, l'estudi es durà a terme a partir del paràmetre C_{DA} , el qual multiplica el C_D (coeficient de Drag) per l'àrea frontal. Així doncs, amb els valors de l'àrea frontal, el C_D i el C_{DA} es pot trobar el valor de la força de fregament o força de Drag (F_D) segons l'Equació 1, on la p és la densitat de l'aire, la v és la velocitat del fluid i l' A_x és l'àrea frontal.

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot v^2 \cdot A_x$$

Equació 1: Força de fregament.

A la següent taula (Taula 6) es resumeixen els valors resultants dels càlculs dels diferents prototips, ER16, ER18 i ER20. Val a dir que en tots els casos s'ha utilitzat la mateixa velocitat, ja que si no no es podrien comparar els valors obtinguts dels diferents prototips.

	ER16	ER18	ER20
C_D	0,4206	0,4811	0,4325
A_x (m²)	0,5929	0,48	0,4986
C_{DA} (m²)	0,2407	0,2309	0,2156
F_D (N)	235,6	227,4	212,2

Taula 6: Comparativa dels diferents paràmetres aerodinàmics.

Observant els resultats es pot comprovar que tot i tenir una àrea frontal, a la ER20, major a la del model ER18, s'obtenen unes millors prestacions respecte a la força de fregament. Això és degut al fet que l'aerodinàmica de la geometria de la motocicleta és més adequada a la ER20 que a la ER18. I si es compara la ER20 amb la ER16 es pot observar que l'àrea frontal és molt menor fet que fa tenir una força de resistència a l'avanç molt inferior.

Ara sí que un cop validat mitjançant elements finits el comportament, tant del colin com de la pròpia motocicleta, envers el vent i comparat els resultats amb les motocicletes de les edicions anteriors de l'ETSEIB Racing, es passa a la fase de fabricació del colin.

9. Fabricació

En aquest apartat s'explica quin ha sigut el procés de fabricació del colin pas a pas, un cop validat el disseny mitjançant les diferents simulacions. El procés de fabricació seleccionat, després de parlar amb professionals del sector, ha sigut el de laminació i compactació de fibres mitjançant una bomba de buit.

Val a dir, que en tot el procés de fabricació, com és la primera vegada que qualsevol membre de l'equip treballa amb fibres de carboni, i aprofitant que el cobreix-dipòsit també es fabrica seguint el procés de fabricació del colin, primer es fabricarà el cobreix-dipòsit i finalment es realitzarà la fabricació del colin. D'aquesta manera l'equip s'assegura que a l'hora de fabricar el colin, peça molt més delicada a nivell de geometria i importància estructural que el cobreix-dipòsit, els passos són els adequats i tots els membres participants de la fabricació del colin ja tenen experiència en el laminat de fibra. És per això que el procés que s'explicarà a continuació val tant pel colin com pel cobreix-dipòsit.

9.1. Fabricació del motlle

El primer problema es té a l'hora de decidir com fabricar el motlle, ja que no hi ha marge de fabricar dos motlles, ni per temps ni per pressupost.

Finalment i després de contrastar idees amb diferents especialistes en laminat de fibres de carboni, s'ha decidit que es fabrica un mecanitzat en fusta DM i sobre aquest mecanitzat es fabrica el motlle (negatiu del colin) en dues parts.

Per a la fabricació del mecanitzat en fusta, l'equip contracta una empresa externa que a partir de dos blocs de fusta mecanitza el colin sencer en dues parts, dividint el colin per al pla vertical. A la Il·lustració 48 es poden veure tant el mecanitzat en fusta DM del colin com del cobreix-dipòsit.



Il·lustració 48: Mecanitzats del colin i del cobreix-dipòsit. Font: pròpia.

Un cop es tenen els mecanitzats, com pateixen rugositats i porositats s'ha de seguir el següent tractament:

- Aplicar massilla polièster (Polyfiller) amb una espàtula, deixar reposar unes hores i escatar fins que quedi ben llis.
- Aplicar laca d'acabat (Pollygloss).

Un cop es té la superfície perfectament llisa s'enganxen unes planxes de PVC a les parets dels mecanitzats per, a l'hora de fabricar els motlles, dotar-los d'una millor consistència i poder unir-los mitjançant cargolaria (veure Il·lustració 49). Per a la fabricació del propi motlle se segueix el següent procediment:

- Aplicar un mínim de sis capes de cera desemmotllant tant al mecanitzat en DM com al PVC, separades entre 30 i 40 minuts cada una, i esperar almenys 12 hores abans del següent pas.
- Aplicar, amb una brotxa, Gel Coat vinilèster sobre la fusta DM. Aplicar una primera capa molt fina, ja que és la capa superficial i ha de ser la més llisa. Després de 10 minuts aplicar una segona capa i així successivament fins a tenir una espessor d'un mil·límetre aproximadament (veure Il·lustració 49).
- Després de més de 12 hores de repòs es lamina amb molt de compte una capa de vel de superfície, evitant que quedi aire entre el vel i el Gel Coat, i dues capes de fibra MAT amb resina vinilèster.
- 12 hores més tard, seguir amb la laminació amb fibres de vidre i resina vinilèster (diferent del pas anterior i especial per la fibra de vidre) i tenint en compte que aquest pas s'ha de fer amb un laminat mullat sobre mullat (veure Il·lustració 50).



Il·lustració 49: Procés de fabricació del motlle del cobreix-dipòsit. Font: pròpia.



Il·lustració 50: Procés de fabricació del motlle del colin. Font: pròpia.

Unes 24 hores més tard del laminat de l'última capa de fibra de vidre, es retira el motlle del mecanitzat amb cura de no fer malbé les zones més sensibles i es neteja el motlle per dins per acabar de treure les impureses.

Finalment, i abans de passar a l'apartat de laminació, entre les dues parts del motlle se li fan uns forats per passar uns cargols que pressionaran un motlle contra l'altre en el moment que s'hagin d'ajuntar.

9.2. Fabricació del colin

Un cop es tenen els dos motlles fabricats, es pot passar al procés de fabricació del colin. Aquest procés es treballa amb ambdues parts del motlle de manera paral·lela i abans de posar els motlles amb les fibres dintre la bossa de buit, s'ajuntaran ambdues parts mitjançant cargols.

9.2.1. Passos previs

Prèviament a començar el procés de laminació es detalla el procés organitzatiu per un cop començat el procés de laminació tots els membres participants del procés tinguin clar els passos a seguir. Per altra banda, també s'ha de deixar tots els materials necessaris preparats per no haver d'improvisar sobre la marxa.

Primer de tot es modelen unes planxes de PVC que s'inseriran entre capes de fibra per donar grossor i rigidesa a la peça final. Mitjançant una pistola de calor s'escalfen les diferents planxes per poder-les modelar amb facilitat, segons les necessitats de la part on anirà cada retall. Aquestes planxes es col·locaran al llarg de tot el colin.

Seguidament, es fan els retalls de totes les fibres necessàries durant el laminat. Perquè la peça final tingui un millor acabat superficial, les capes més exteriors es retallen senceres, és a dir, es creen retalls amb la forma del motlle que es col·locaran des de la zona on hi haurà les unions amb el xassís fins a la punta del darrere del colin. Un cop es tenen tots els retalls fets, de les diferents tipologies de fibra, s'ordenen per ordre invers al de col·locació dintre del motlle.

A continuació es prepara tot el material referent a la bomba de buit. Es talla la bossa de buit amb unes dimensions dos cops més llargues que el propi colin, per deixar bossa suficient perquè a l'hora de fer el buit no hi hagi cap zona on no arribi la bossa, ja que si a algun punt no arriba la bossa s'estiraria i s'acabaria trencant. Es tanca la bossa per un dels dos costats amb l'anomenat "*taki tape*", una massilla que serveix per segellar la bossa de buit de l'exterior. Per l'altra banda, es deixa preparat el "*taki tape*" per l'altre costat, perquè es pogués posar la peça dintre de la bossa i després tancar ràpidament. Seguidament, es fa un forat a la bossa i es col·loca la vàlvula.

Un cop tots els materials estan preparats s'organitzen els dos equips que treballaran en paral·lel a cada motlle. Cada equip està format per dues persones, la primera s'encarregarà d'agafar les diferents fibres i col·locar-les en el lloc corresponent dintre del motlle, i la segona s'encarregarà únicament d'escampar la resina per sobre la fibra de manera uniforme. Finalment, hi haurà una persona que s'encarregarà de supervisar la feina dels dos equips i preparar les mescles de resina "*epoxy*" amb el seu catalitzador. A la Il·lustració 51 es pot veure el material preparat amb les capes de fibra ordenades per ordre de col·locació al motlle.



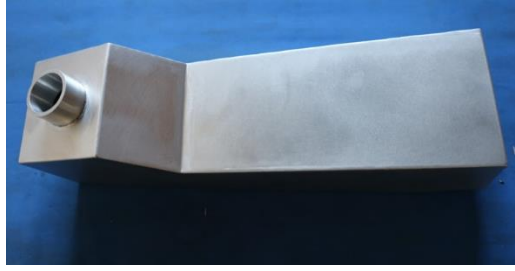
Il·lustració 51: Material preparat per a començar el laminat. Font: pròpia.

9.2.2. Procés de laminació

Un cop preparat el material i definit el pla d'actuació de cada membre participant en la fabricació del colin, es pot passar a la fase de laminació. Els passos que se seguiran per a realitzar el laminat del colin són els següents:

- Es posen 6 capes de cera desemmotllant als motlles, separades entre 30 i 40 minuts cada una, el dia abans de fer la laminació.
- Es reparteix la resina "epoxy" en gots petits i es mesclen amb el seu catalitzador just abans d'utilitzar-la.
- S'apliquen les diferents capes de fibra, seguint la distribució de la Taula 5 (apartat 8.4.1), dintre dels motlles mentre s'escampa de forma uniforme i amb una brotxa la resina per sobre les fibres. Just a la meitat del laminat es col·loquen les planxes de PVC també aplicant-li la mateixa resina.
- Un cop es tenen totes les capes de fibra posades dins del motlle amb els empelts d'alumini a lloc, es posa una capa de manta d'absorció per tota la superfície de fibra. Aquesta manta absorbirà els excessos de resina i protegirà la bossa d'enganxar-se amb la pròpia resina.
- S'ajunten les dues parts del motlle, i en les zones de contacte entre les dues parts es col·loquen adequadament les respectives fibres i planxes de PVC.
- Es tanca el motlle amb els respectius cargols i es posa dintre la bossa de buit. S'encén la bomba de buit i es deixa que faci el buit durant 24 hores, les dotze primeres amb la bomba encesa i les següents amb la bomba apagada.
- Passades les vint-i-quatre hores es treu de la bossa el motlle. Es descargolen els cargols que ajuntaven les dues parts del motlle i seguidament se separa el motlle de la peça final. A l'hora de separar el motlle de la peça final s'ha d'anar amb molta cura per no fer malbé els motlles i que es puguin fer servir per a un altre laminat.

Un cop es tingui el laminat del colin fet, i per tal d'ajuntar el colin i el dipòsit de combustible (Il·lustració 52), es laminarà una tapa en fibra de carboni, aprofitant la part inferior dels motlles del colin. A aquesta tapa de fibra es realitzarà un segon laminat entre la pròpia tapa i el dipòsit per fixar les dues peces. Finalment per ajuntar la tapa amb el dipòsit i el colin es realitzaran uns forats per unir-les amb cargols.



Il·lustració 52: Dipòsit de combustible. Font: pròpia.

9.2.3. Fabricació del primer colin

Un cop es tenen clar tots els passos a seguir, es passa a la laminació. Abans de fer el colin, com s'ha comentat anteriorment que el cobreix-dipòsit segueix exactament el mateix procediment de fabricació que el colin, es fabrica el cobreix-dipòsit per fer una primera prova de laminat de fibres de carboni amb una peça més senzilla. A la Il·lustració 53 es pot veure el resultat de la fabricació del primer cobreix-dipòsit.



Il·lustració 53: Primer cobreix-dipòsit fabricat. Font: pròpia.

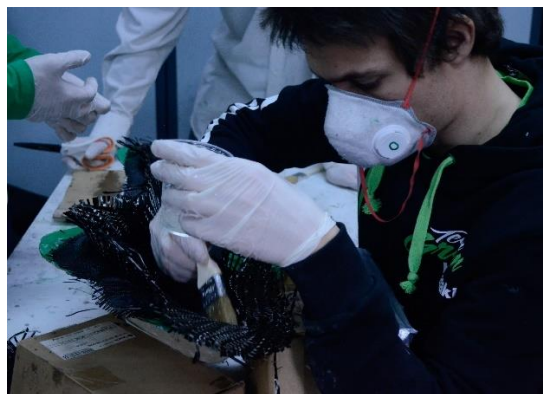
Un cop fabricada la primera peça en fibra, s'observen els següents errors:

1. Per culpa d'haver usat més resina de la necessària, la manta no va poder absorbir tots els excessos de resina i la resina sobrant va quedar enganxada a la peça. Per a les pròximes laminacions s'ha d'anar amb més cura en posar la resina i sobretot assegurar-se d'escampar-la bé per tota la superfície.
2. El segon error va ser que les planxes de PVC no van quedar del tot ben col·locades i el buit en aquelles zones no va ser l'adequat. Això és degut al fet que les planxes de PVC no tenien la forma exacta de la superfície. Per solucionar aquest problema s'haurà de preparar millor les planxes de PVC i que tinguin la forma exacte del motlle del colin.

Tot i haver comès aquests dos errors que s'han comentat, la peça de fibra és perfectament funcional i resistent. És per això que un cop provat que el procediment que s'ha seguit és l'adequat, malgrat els dos petits errors comesos, es procedeix a la fabricació del colin.

Es preparen un altre cop tots els materials i es comença el laminat. Al ser una peça molt més gran i amb una geometria molt més complexa que el cobreix-dipòsit, tant en la preparació com en el procés de laminació, es procedeix amb molta més cura i és per això que el procés va ser més llarg.

Es col·loquen les fibres a lloc, seguint l'orde de les diferents fibres vist a l'apartat de simulacions (apartat 8.4.1), i també es van col·locar els empelts d'alumini per a les unions amb el xassís. A la Il·lustració 54 es pot observar el procés d'aplicació de la resina a les diferents capes de fibra, aquest cop es treballa amb una brotxa més fina per a poder escampar-la de manera uniforme al llarg de tot el colin.



Il·lustració 54: Procés de fabricació del colin. Font: pròpia.

Un cop col·locades totes les capes dels diferents tipus de fibra en les dues meitats del motlle, es tanca el motlle amb els cargols i es comprova que tots els retalls de manta estiguin a lloc i que les fibres de les zones de contacte entre les dues meitats del motlle no s'hagin mogut a l'ajuntar-les.

S'introdueix la peça dins la bossa i s'inicia el buit. En la Il·lustració 55 es pot veure el colin dintre de la bossa de buit amb la bomba ja en funcionament.



Il·lustració 55: Buit del colin. Font: pròpia.

A les 12 hores de buit s'apaga la bomba i a les 24 hores la peça ja està preparada per esser retirada del buit. Es retira la peça del motlle amb molt de compte de no fer malbé el motlle perquè es pugui aprofitar el motlle per a altres laminats. A la Il·lustració 56 es pot observar el resultat del primer resultat del colin.



Il·lustració 56: Colin un cop retirat del motlle. Font: pròpia.

Es van observar els següents errors a la peça:

1. A la zona de contacte entre les dues meitats del motlle s'observa una "cresta" de fibra, per culpa de què a l'hora de tancar el motlle alguna fibra va quedar entremig de les dues meitats. Tot i ser un problema estètic, ja que es pot retirar fàcilment, es tindrà en compte per a la laminació del segon colin.
2. Per problemes en el buit, on es va punxar la bossa en diversos en algunes zones, com podria ser la zona inferior del colin, les capes de fibra no havien quedat perfectament compactades. Per això, per a la realització del segon colin i per evitar possibles

punxades, es posa massilla a l'exterior del motlle i s'escata per a deixar una superfície llisa. A la Il·lustració 57 es pot observar el motlle del colin amb la massilla aplicada.



Il·lustració 57: Motlle un cop aplicat la massilla. Font: pròpia.

El resultat del primer colin, un cop fet els forats per a passar els cargols i col·locat al prototip és el que es pot veure a la Il·lustració 58.



Il·lustració 58: Primer colin muntat al prototip. Font: pròpia.

Aproximadament un mes més tard, es passa a fer el segon laminat del colin. Aquest cop, i gràcies a l'experiència assolida durant la fabricació del primer colin i el cobreix-dipòsit, s'aconsegueix un laminat molt més compacte i amb uns millors acabats superficials. El resultat de la fabricació del segon, i definitiu, colin un cop muntat al prototip és el que es pot veure a la Il·lustració 59. Ara ja només falta assemblar-lo amb el dipòsit de combustible.



II-lustració 59: Segon colin muntat a la ER20. Font: pròpia.

Un cop fabricats els dos colins, amb els forats per a les unions cargolades amb el xassís ja fets, es passa a fabricar la tapa del dipòsit de combustible i la laminació del propi dipòsit amb la tapa, seguint els passos explicats al capítol 9.2.2.

El resultat del laminat del dipòsit de combustible és el que es pot observar a la II-lustració 60. Aquesta tapa es collarà, mitjançant cargols, al colin.



II-lustració 60: Dipòsit laminat a la tapa de fibra. Font: pròpia.

Un cop realitzats els forats, tant a la tapa com al colin, el resultat final de l'assemblatge amb el colin és el següent (II-lustració 61).



Il·lustració 61: Assemblatge colin amb dipòsit de combustible. Font: pròpia.

Per a poder omplir el dipòsit de combustible sense la necessitat de treure el dipòsit del colin, es realitza un forat a la part superior del colin. Per realitzar aquest forat, mitjançant una broca de corona, es forada el colin amb l'amplada suficient per poder posar la mà i treure el tap del dipòsit còmodament. A la Il·lustració 62 es pot veure el detall del forat al colin per a omplir el dipòsit.



Il·lustració 62: Forat al colin per a omplir el dipòsit. Font: pròpia.

Finalment i per donar per acabada la fabricació del colin, se li instal·la una espuma adhesiva, específica per a motocicletes, al seient del colin. Aquesta espuma ajuda al pilot a sentir-se còmode sobre el prototip. Per altra banda, es realitza un forat a la zona de contacte entre el colin i el cobreix dipòsit per fixar les dues peces mitjançant un cargol.

9.3. Prova de resistència

Un cop fabricat i assemblet el colin a la ER20, es decideix portar a terme la prova d'esforç que obligava la competició a passar a tots els prototips perquè fossin vàlids per a competir a Motostudent per assegurar que el colin és prou resistent. Se sotmet la ER20 dues vegades a la prova d'esforços verticals, una vegada amb el primer colin que es va fabricar i una altra amb el segon colin.

S'aplica de forma progressiva una força fins a arribar els 250 kg de càrrega sobre el colin, concretament sobre el seient de la motocicleta. Tot i que no es s'ha pogut mesurar el desplaçament patit pel colin durant la prova, ja que no es disposa de les eines necessàries, s'ha comprovat visualment que cap element quedi bloquejat i que no apareix cap fallada estructural. Per tant, ambdós colins han superat la prova que marcava si el colin havia estat fabricat de manera correcta.

Durant la prova s'ha arribat a aplicar fins a 283 kg, per assegurar la correcta resistència del prototip. En la II-lustració 63 es pot veure la preparació prèvia per a realitzar la prova d'esforç del colin i a la II-lustració 64 es pot observar el prototip comprimit al moment on la força aplicada és la màxima.



II-lustració 63: Preparació de la prova. Font: pròpia.



II-lustració 64: Compressió vertical a càrrega màxima. Font: pròpia.

9.4. Comprovació de normativa

Un cop validat mitjançant la prova de resistència el disseny d'ambdós colins, només queda assegurar-se que compleix tota la normativa aplicable, explicada a la secció 4.3.

El primer punt que cal comprovar és que cap component del prototip depassés la línia vertical tangent al pneumàtic posterior. Com es pot comprovar a la Il·lustració 65, el colin no sobrepassa aquesta línia.



Il·lustració 65: ER20. Font: pròpia.

El següent punt és que el colin no pot tenir una amplada superior a 450 mil·límetres, el colin de la ER20 finalment té una amplada de 321 mil·límetres.

La banda de rodament del pneumàtic posterior ha de presentar en tot moment una distància lliure superior a 15 mil·límetres a qualsevol element del prototip. Per fer aquesta comprovació, a l'hora de fer la prova d'esforç, quan estava a compressió màxima, es va comprovar que la distància del colin al pneumàtic posterior era molt superior als 15 mil·límetres, ja que era de diversos centímetres, com es pot observar a la Il·lustració 64.

El penúltim punt a comprovar és que la distància de la part superior de l'espuma al punt més alt del colin no és superior a 150 mil·límetres. Aquesta distància s'ha comprovat que és de 95 mil·límetres.

Finalment, l'últim punt de la normativa que cal complir és que el prototip ha de disposar d'una llum vermella col·locada sota el colin (vegeu Il·lustració 66), per posar-la s'ha foradat el colin i s'ha cargolat una llum amb un interruptor col·locat al manillar. D'aquesta manera es pot obrir i tancar quan es necessiti, en el cas que els entrenaments o la carrera fossin declarats en aigua.



Il·lustració 66: Llum vermella de la ER20. Font: pròpia.

10. Planificació

El projecte es va iniciar el mes de febrer del 2019 amb la formació del nou equip i la distribució dels membres en els diferents departaments. Tot i que l'equip es va formar al 2019, no va ser fins a principis de febrer del 2020 que es va començar a planificar com es duria a terme el colin. Tot i així, i degut a la covid-19, es va haver de posposar fins després del confinament, mes de maig, on es va començar a treballar, primer fent els estudis previs i després en les diferents etapes que es poden veure a la taula següent (**Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.**). Finalment, la redacció de la memòria es realitza durant els mesos de febrer a juny del 2022 on es dona per finalitzat el projecte.

	2020 Maig	2020 Juny	2020 Juliol	2020 Agost	2020 Setembre	2020 Octubre	2020 Novembre	2020 Desembre	2021 Gener	2021 Febrer	2021 Març	2021 Abril	2021 Maig	2021 Juny	2021 Juliol	2021 Agost - 2022 Gener	2022 Febrer	2022 Març	2022 Abril	2022 Maig	2022 Juny	2022 Juliol	
Recerca d'informació	■	■																					
Disseny CAD			■	■																			
Anàlisi elements finits				■																			
Fabricació					■	■	■	■	■														
Muntatge										■													
Proves i comprovacions											■	■											
Tests														■	■								
Competició															■								
Redacció memòria																	■	■	■	■	■	■	■

Taula 7: Planificació del projecte.

11. Pressupost

Aquest apartat cobreix l'estudi econòmic d'aquest projecte, presentant una visió financera de totes les despeses necessàries per a tirar endavant el disseny i fabricació d'un colin per a una motocicleta de competició. Es divideix en dues parts, la primera tractarà el cost de desenvolupament del projecte i del cost d'adquisició de tots els elements necessaris per a les etapes de disseny i simulació. Per altra banda, a la segona part del pressupost, es presentarà el cost de fabricació, és a dir, matèria primera i mà d'obra per a realitzar el procés de fabricació.

Finalment, es presentarà el cost real de disseny i fabricació d'un colin que tindria qualsevol equip de motocicletes de competició que volgués aquest servei.

11.1. Cost de desenvolupament

A continuació es presenta el cost de desenvolupament del projecte. Se separa en despeses de recursos humans i en despeses en eines.

A la Taula 8 es mostra el cost de desenvolupament de projecte a nivell de recursos humans. Per a definir els €/hora s'han avaluat els preus que ofereixen diferents empreses del sector i s'ha arribat a la mitja, aproximada, de 12 €/hora.

	Cost (€ / hora)	Hores dedicades	Preu (€)
Investigació i recerca d'informació	12	35	420
Formació en els diferents programaris	12	30	360
Disseny 3D	12	80	960
Simulacions estructurals	12	50	600
Simulacions aerodinàmiques	12	60	720
TOTAL		255	3.060

Taula 8: Costs de desenvolupament.

A la Taula 9 es consideren els costos de les eines utilitzades. Per a realitzar aquest càlcul es té en compte l'amortització de les diferents eines i els costos de lloguer de l'espai de treball.

	Preu (€)	Amortització (anys)	Temps d'ús (mesos)	Cost total (€)
Portàtil	1.800	3	6	300
Lloguer oficines	99 €/mes	-	6	594
Llicència Solid Works	3.400	1	3	850
Llicència HyperWorks	3.600	1	2	600
Llicència Ansys Fluent	2.250	1	1	188
Total				2.532

Taula 9: Despeses de les eines.

Com es pot observar el cost total de desenvolupament del colin és de 2.532 €.

11.2. Cost de fabricació

Per altra banda, tenim el cost de fabricació del propi colin per a la ER20. A la Taula 10 es mostra el cost de tots els materials necessaris tant per la fabricació dels dos colins, com per la fabricació dels motlles. També es presenta el cost de mà d'obra necessari per a la fabricació i les despeses de lloguer del taller on es realitza la fabricació amb banc de treball i carro d'eines incloses.

	Cost (€)
Mecanitzat positiu	400
Eines per a la laminació	145
Resines	150
Fibra de carboni, vidre i kevlar	560
Bomba de buit, vàlvula, massilla, manta i bossa	350
PVC	10
Mà d'obra	35 hores x 12 €/h = 420
Lloguer taller	968 €/mes x 5 mesos = 4.840 €
Total	6.875

Taula 10: Cost de fabricació.

Finalment, el cost de fabricació total és de 6.875 € que sumats al cost de desenvolupament fan un total de 9.407 €, que és el cost total per a dissenyar i fabricar un colin per a una motocicleta de competició.

Per a obtenir el cost real que suposarien comprar un colin autoportant fet a mida per una motocicleta de mesures similars a la ER20, tipus Moto 3, s'ha de sumar als 9.407 € el 21% d'IVA i el marge de guany de l'empresa fabricadora del colin, aproximadament del 25% per aquest sector, fent un total de 14.228 €.

Per tant, es podria dir que el cost real d'un equip de motociclisme de competició per al disseny i fabricació d'un colin, fet específicament per a la seva motocicleta, seria de 14.228 €.

12. Impacte ambiental

Aquest apartat quantifica l'impacte ambiental de l'elaboració d'aquest projecte. Es calculen les emissions de partícules de CO₂ emeses degut al projecte tenint en compte les voltes que ha fet la motocicleta, tant a la competició de Motostudent com als diferents circuits on s'han realitzat tests. També es considera les emissions de CO₂ emesos pel transport del prototip i dels membres de l'equip, que es realitza amb furgoneta (per a la motocicleta) i amb un o varis cotxes (pels membres de l'equip).

Val a dir que no s'ha tingut en compte l'impacte ambiental dels materials usats per a la fabricació del colin, perquè s'han considerat negligibles davant l'impacte que suposa tenir la ER20 rodant a pisat.

Per al càlcul del consum de combustible del prototip quan està a pista, durant l'estada a Motostudent s'ha calculat que el consum és aproximadament de 0,3 litres per volta al circuit de Motorland Aragó. Això fa que el consum sigui de 0,0591 litres per quilòmetre. Aquest consum s'extrapolarà als diferents tests realitzats als circuits d'Alcarràs i de Mora d'Ebre, ja que no s'ha calculat el consum exacte en cada un d'ells, però serà semblant al mencionat.

Un cop es té el consum per quilòmetre de la ER20, s'ha de comptabilitzar les emissions de CO₂ per litre. Per a un millor rendiment del motor, el combustible usat és gasolina 98. I segons la guia pràctica per al càlcul de gasos d'efecte hivernacle (GEI) [12] aquesta gasolina emet 2,38 quilograms de CO₂ a l'atmosfera per litre.

A la Taula 11 s'observa el desglossament de les emissions de CO₂ alliberades a l'atmosfera per al prototip durant els diferents tests i durant la competició. Es realitzaran dos tests a Mora d'Ebre, que s'han comptabilitzat junts i un altre test al circuit d'Alcarràs.

Circuit	Longitud del circuit (metres)	Voltes realitzades	Quilòmetres totals realitzats	Consum de gasolina (litres)	Emissió de CO ₂ (quilograms)
Mora d'Ebre	1.400	50	70	4,14	9,84
Alcarràs	3.743	27	101	5,97	14,22
Motorland Aragó	5.077	35	177,7	10,50	23,99
TOTAL			348,7	20,61	49,06

Taula 11: Emissions de CO₂ del prototip.

Per altra banda, també s'ha de calcular les emissions de CO₂ degut al transport dels membres de l'equip per anar als tests i a la competició i el transport del prototip. Per al transport del prototip es realitza mitjançant una furgoneta que consumeix, aproximadament, 10 litres als 100 quilòmetres de gasoil, mentre que els vehicles usats per al transport del personal consumeixen, aproximadament, 8,1 litres als 100 quilòmetres. Segons el GEI [12] les emissions de CO₂ del dièsel són de 2,61 quilograms per litre.

A la Taula 12 es pot observar el desglossament de les emissions de CO₂ degut als vehicles que han transportat la motocicleta i els propis membres de l'equip als diferents tests i a la competició. A la columna de nombre de vehicles usats es comptabilitzen tant la furgoneta com els diferents vehicles, fent que en cada transport un dels vehicles indicats sigui la furgoneta. És a dir, s'indica amb dos vehicles quan s'han usat la furgoneta i un vehicle de més per a transportar personal.

Circuit	Nombre de vehicles usats	Quilòmetres realitzats per vehicle	Consum de gasolina total (litres)	Emissions de CO₂ (quilograms)
Mora d'Ebre	2	340	61,54	160,62
Alcarràs	3	348	91,18	237,98
Motorland Aragó	5	600	254,4	663,98
TOTAL			407,12	1.062,58

Taula 12: Emissions CO₂ transport.

Sumant els resultats de les dues taules, es pot dir, que l'impacte ambiental del projecte ha sigut de 1.111 quilograms de CO₂ alliberats a l'atmosfera.

Conclusions

L'objectiu primordial que perseguia aquest treball era el de dissenyar i fabricar el colin que ha incorporat l'equip ETSEIB Racing a la VI edició del campionat internacional de Motostudent celebrat el juliol del 2021. Per a assolir aquest objectiu, s'ha dut a terme un estudi previ amb tota la informació referent a les solucions implementades tant per les edicions anteriors de l'equip, com per les solucions implementades per diferents equips de competició, on s'ha pogut veure que s'utilitzen únicament dos tipus, colin amb sub-xassís i colin autoportant.

Una vegada adquirida la suficient informació de les diferents alternatives i comparar-les, mitjançant una matriu de decisions, s'ha escollit dissenyar i fabricar un colin autoportant destacant que la pròpia fabricació ha estat realitzada íntegrament a la universitat i sense l'ajuda directa de professionals del sector. Un cop muntada la motocicleta sencera, incloent-hi el colin, el resultat és el que es pot veure a continuació (II·lustració 67).



II·lustració 67: Prototip ER20 final. Font: pròpia.

Pel que fa al comportament del colin, s'ha verificat que en el cas més desfavorable la peça continua sent funcional, tant a partir de simulacions amb elements finits, com amb una prova de resistència estructural realitzada a l'ETSEIB (punt 9.3). Per altra banda, també s'ha analitzat el seu comportament en diferents tests i a la pròpia competició de Motostudent, on s'ha obtingut un gran rendiment. Els pilots que l'han testejada, Manel Segarra com a pilot principal de l'equip, Ferran Sastre com a pilot substitut als tests i un pilot professional que va validar la motocicleta perquè fos apte per a participar a la competició, han expressat les seves sensacions al pilotar la motocicleta. Del colin han destacat la facilitat de moure's d'un costat a l'altre per tal de realitzar girns ràpids i tancats sent prou ample per tenir la sensació de comoditat en tot moment. També han afirmat que tant a nivell estructural com a nivell de comoditat és un colin totalment funcional i apte per al ús en el món de la competició.

Referent al disseny del colin membres importants de la fàbrica *KTM*, de l'organització i de diferents patrocinadors especialistes en el sector, com *Speed Fiber* i *Magma Composites*, han destacat la gran qualitat del disseny final, ja no només de manera funcional, sinó també estèticament on s'han sorprès dels acabats aconseguits amb la complexitat de la laminació amb fibres de carboni.

A nivell de pes, ja que era una de les grans preocupacions de l'equip per a poder ser competitiu a pista, s'ha comparat el pes del colin fabricat per a la ER20 amb el pes del colin que van fabricar a l'edició anterior a la nostra. Només s'ha comparat amb el colin de la ER18 perquè, com s'ha comentat al punt 4.2.1, és l'única de les edicions anteriors que va fabricar un colin autoportant. A la Taula 13 es pot veure que la diferència entre ambdós colins és de més de 800 grams de diferència. Es recorda que la fabricació del colin de la ER20 s'ha portat a terme única i exclusivament per membres de l'equip, que mai abans havien treballat amb fibres, i que, en canvi, la fabricació del colin de la ER18 la va fer una empresa externa. És per aquest fet, i avaluant els comentaris que han fet els pilots provadors del prototip, que es pot afirmar que el rendiment del colin d'aquesta edició millora al de l'edició anterior. Per a següents edicions, per a reduir encara més el pes, es podria utilitzar un PVC més fi i utilitzar menys capes de fibra per al laminat del colin, ja que com s'ha vist al capítol de simulacions hi havia marge suficient a la prova de "fail ratio" per a plantejar-se reduir les capes de fibra.

	ER18	ER20
Pes colin (quilograms)	2,526	1,705

Taula 13: Comparativa pes colin.

Per últim, a la competició de Motostudent celebrada els dies 15, 16, 17 i 18 de juliol del 2021 al circuit de Motorland Aragó, tot i tenir problemes amb el motor proporcionat per l'organització, es van obtenir molt bons resultats en totes les proves on es destaca la sisena posició tant en carrera com a la general de la competició de trenta-set equips participants d'aquesta sisena edició.

Amb la competició de Motostudent es dona per acabat el projecte, que ha consistit en el desenvolupament, des del disseny fins a la fabricació, d'un colin per a una motocicleta de competició. I que, a part de complir amb els objectius propis del colin, també s'ha complert amb un dels objectius principals de l'equip que no era un altre que el de fabricar peces importants pel prototip al taller de la universitat.

Agraïments

Aquest treball ha suposat el final d'una de les etapes més boniques de la meva vida. Dos anys i mig treballant dia rere dia en un projecte que, des que vaig saber de la seva existència al 2017, vaig voler participar-hi. Ha sigut un camí molt llarg, però alhora molt reconfortant, ja que s'han assolit els objectius marcats per l'equip.

En primer lloc, m'agradaria agrair, com no pot ser d'una altra manera, a totes les persones que han ajudat a tirar endavant la ER20. Des de patrocinadors fins a professors de l'ETSEIB, que ens han aconsellat en tot moment i ens han sabut guiar fins i tot en una època tan complicada com ha sigut la viscuda arrel de la covid. Però per sobre de tot agrair als meus companys d'equip. Gràcies per haver fet d'aquest projecte, una època inoblidable i crear uns records que perduraran en mi per la resta de la meva vida.

En segon lloc, agrair a la meva família, als meus pares i el meu germà, tot el suport rebut durant els dos anys i mig de projecte, com els sis mesos de duració del meu treball de fi de grau. Gràcies també per ajudar-me a corregir els meus errors del treball i haver-vos llegit el treball tantes vegades com fes falta perquè no em passés per alt cap petita errada.

En tercer lloc, agrair a la meva parella, Clàudia, per tot el suport moral durant aquests mesos que ha durat el meu treball de fi de grau. Sobretot per ajudar-me a sortir-me d'un moment complicat com el que he viscut aquest any, on les coses no acaben de sortir com un li agradaria.

En quart lloc, agrair als meus amics que durant els anys que ha durat el projecte només m'han sentit a parlar de la ER20, però que han estat en tot moment animant-me i ajudant-me a portar les assignatures al dia, tot i les intenses jornades al taller de l'equip.

I per últim, però no menys important, al meu tutor Lluç Canals Casals del departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció, per tot el temps dedicat a què pogués tirar endavant aquest treball. Amb els consells que m'ha donat, les correccions i sobretot a saber-me guiar i fer-me veure que canviar no vol dir perdre.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] R. H. Martínez, Estudio de posibles mejoras, Pamplona, 2017.
- [2] A. Stanton, «Honda RC142 Retro Racing 125cc Bike,» We heart Honda, 2019.
- [3] A. López-Rey, «Aprilia desvela las RS-GP 2021,» Motorbike Magazine, 2021.
- [4] A. Somoza, «Yamaha ha puesto el depósito de la M1 2016 en el colín,» *Todo circuito*, 2015.
- [5] M. Sant, «Tipos de chasis de moto,» Moto1pro magazine, 2015.
- [6] A. Competición, «Colin Honda Nsf 250 R». 2022.
- [7] F. c. c. & tecnologia, «Fibra de Carbono VS Fibra de Vidrio».
- [8] V. Cossalter, Motorcycle Dynamics, Lulu, 2006.
- [9] J. M. Martín, «Suben a 18 años la edad mínima para poder competir en el Mundial de MotoGP,» *La Razón*, 22 Octubre 2021.
- [10] E. A. Nantes, «El método Analytic Hierarchy Process para la toma de decisiones.,» Universidad Nacional del Sur, 2019.
- [11] A. C. Arasa, «Disseny d'un basculant per a una motocicleta de competició,» UPC, Barcelona, 2021.
- [12] G. d. Catalunya, «Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero.,» Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2010.