

Mobilitat, sostenibilitat i competició elèctrica: ecoRZ

16è Concurs d'Idees Ambientals i Sostenibles



UPC ecoRacing



Contingut

Resum del projecte:	3
Desenvolupament del projecte:	4
Impacte ambiental:	10
Beneficis socials:.....	11
Estudi econòmic i viabilitat del projecte	13
Referències.....	16

Resum del projecte:

UPC ecoRacing és una associació de recerca tecnològica formada principalment per estudiants d'enginyeria de l'ETSEIAT amb el principal objectiu de desenvolupar noves tecnologies en l'àmbit de l'automoció sostenible.

La universitat transmet una gran quantitat de coneixements però la majoria des d'una vessant purament teòrica. UPC ecoRacing va néixer amb la idea de posar en pràctica tots aquests coneixements i al mateix temps ampliar-los en l'àmbit de l'automoció.

Una de les activitats principals d'UPC ecoRacing és concebre monoplaces per participar als esdeveniments Formula Student, competicions internacionals d'enginyeria en les que equips d'estudiants de les millors universitats del món tenen l'oportunitat de competir i d'aprendre dissenyant i fabricant monoplaces de competició seguint un reglament tècnic. En aquestes competicions que es realitzen en diferents països tals com Regne Unit, Alemanya, Itàlia, Estats Units, Japó o Espanya, l'equip i el cotxe es sotmeten a diferents proves per tal de que els jutges, prestigisats professionals del sector de l'automoció, puguin avaluar quin és el millor projecte.

El projecte presentat a aquest premi és un prototip de monoplaça 100% elèctric, l'ecoRZ, un vehicle que combina les emissions zero amb unes altes prestacions, trencant la barrera psicològica de que un vehicle sostenible no pot ser competitiu. El cotxe presenta unes condicions idíl•liques per competir en circuit: 135 CV de potència, 210 Kg de pes, un parell de 920 Nm i una acceleració de 0 a 100 km/h de menys en 3 segons.



Imatge 1. Render del prototip elèctric ecoRZ

Desenvolupament del projecte:

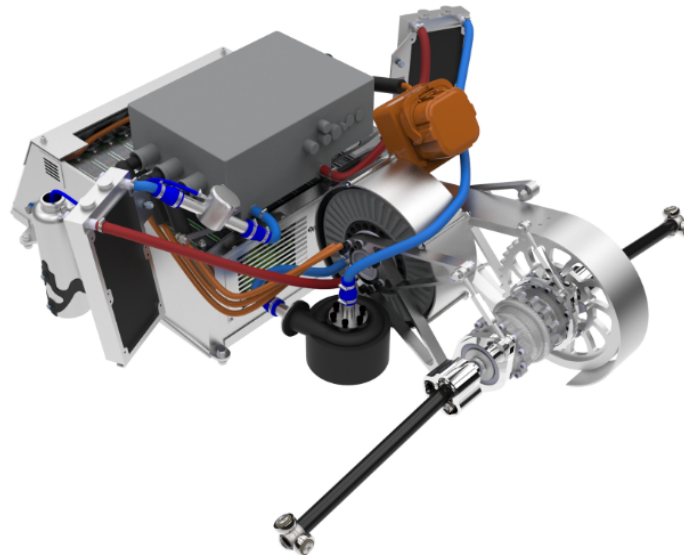
UPC ecoRacing s'estructura com ho faria una empresa professional del sector, distribuint els seus membres en departaments, tant tècnics com administratius. Aquesta distribució permet a l'equip estudiar i dissenyar la major part dels components del vehicle, reduint al mínim els components comercials adquirits del mercat.

Els departaments tècnics que conformen l'estructura de l'equip són el de moto-propulsor, aerodinàmica, xassís, electrònica i dinàmica. A més, els 24 membres que conformen l'equip estan presents alhora en algun dels departaments no tècnics de marketing, logística i comptabilitat.

Seguint la filosofia de l'equip, un dels objectius principals era dissenyar i construir un monoplaça que tingui el mínim impacte en el medi ambient, tan durant la seva construcció com en el funcionament del dia a dia. Així, es va realitzar un estudi numèric sobre l'impacte mediambiental de la construcció d'un prototip i es va marcar com a objectiu que l'energia utilitzada per a la producció d'una unitat fos menor de 20500 MJ i, a més, que la petjada de carboni haurà de ser menor de 1300 kg de CO₂.

L'ecoRZ és el resultat d'un exhaustiu treball per part dels membres de l'equip, el sistema moto-propulsor del cotxe aconsegueix un rati pes-potència mol alt, amb un rendiment energètic global del 78%, molt per sobre del que tindria un cotxe equivalent amb motor de combustió, que com a màxim arribaria a 25%. Aquest rendiment garanteix un aprofitament màxim de l'energia emmagatzemada a les bateries, configurades i preparades pel propi equip amb col·laboració amb l'empresa d'investigació tecnològica, i patrocinador d'honor de l'equip, Ascamm. La bateria és el cor d'un vehicle elèctric, l'energia que és capaç d'emmagatzemar i l'autonomia són claus a l'hora d'avaluar el bon funcionament global del cotxe. L'ecoRZ presenta una capacitat propera als 7kWh, la qual permet al cotxe rendir a màxim rendiment en totes les proves de les competicions a les quals participarà. Tot i això, fent analogia amb els cotxes elèctric presents al mercat, mirant característiques d'energia i pes del vehicle, en un hipotètic cas comercial, el vehicle d'UPC ecoRacing podria homologar més de 100 Km d'autonomia en un cicle d'ús quotidià.

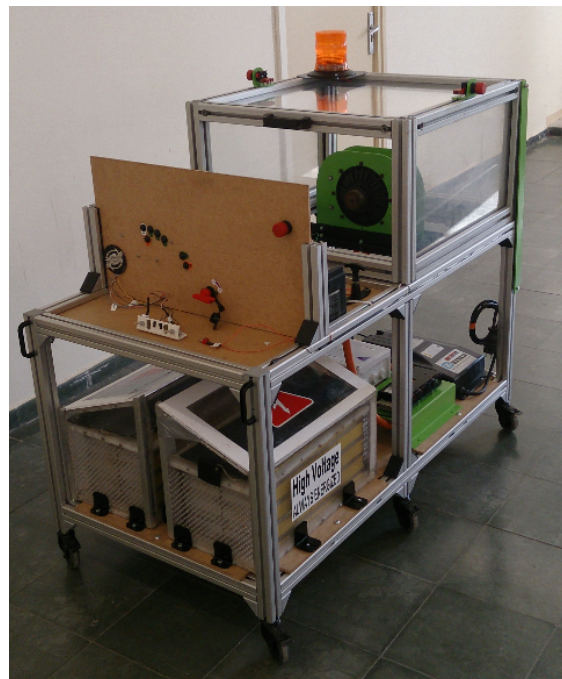
El moto-propulsor del vehicle està compost per un motor, un diferencial de lliscament limitat ajustable i una transmissió per cadena, tots ells controlats per un inversor gestionat per una electrònica totalment desenvolupada per l'equip.



Imatge 2. Sistema moto-propulsor elèctric de l'ecoRZ

Tenint en compte la potència màxima permessa per la normativa, l'eficiència, la fiabilitat, el package, el pes i el cost de diversos motors i 54 configuracions diferents, l'equip va optar per utilitzar una configuració simple i econòmica de un motor AC síncron trifàsic d'imants permanents, impulsat a 400V i amb una alta relació de potència/pes (8,1 kW/kg).

Amb una relació de transmissió de 3,82:1 , l'acceleració de 0 a 75m es fa en un temps de 3,8 segons i la velocitat màxima és de 135,5 km/h. El parell màxim que s'aconsegueix és de 458Nm per a cada roda. Aquest valor és poc més del límit permès pels pneumàtics en determinades condicions, per a aquest raó, s'ha dissenyat un launch control (ajuda electrònica per ajudar al pilot a accelerar de manera adequada). Aquesta relació de transmissió també es va optimitzar tenint en compte l'eficiència del motor i un circuit típic de la prova de resistència de la competició. Per tal de comparar diverses



Imatge 3. Bancada de simulació tren de potència

relacions de transmissió també es va desenvolupar un simulador propi. Per tal

de validar totes aquestes dades s'ha desenvolupat un banc de proves propi per al sistema moto-propulsor sencer. El motor i el controlador estan refrigerats per aigua amb el fi d'augmentar la potència pic i afavorir la frenada regenerativa. El circuit de refrigeració consta de dos recorreguts, un per a cada element. Tots dos tenen un radiador que està situat al lateral del vehicle. La dissipació de potència necessària, la geometria de muntatge i els paràmetres del fluid s'han considerat per al disseny.

El motor està situat transversalment a l'extrem posterior del cotxe, darrere del pack de bateries per tal d'obtenir un bon package.

L'inversor es va triar tenint en compte els objectius de pes i potència de l'equip i la seva compatibilitat amb altres components. Funciona amb control vectorial tipus FOC. La lectura de la velocitat angular del motor és du a terme mitjançant un resolver analògic, mentre que la comunicació entre la unitat principal de control (MCU) i el controlador del motor es fa digitalment a través de comunicació CAN, molt utilitzada en l'automoció.

El MCU és de desenvolupament propi amb un concepte modular i una tensió de treball de 12V subministrat per una bateria auxiliar. El MCU controla tota la seguretat elèctrica del cotxe i ha estat dissenyada per implementar la limitació de potència de 80 kW, el launch control i el selector del mapa del motor.

El launch control s'ha desenvolupat com a un control de tracció simple que pot ser desconnectat des del volant. S'executa amb quatre sensors d'efecte Hall per comparar la velocitat dels pneumàtics del darrere amb la del xassís i disminuir la resposta de potència en el cas que se superi la diferència màxima de velocitat calculada. El mapa del parell motor es desenvolupa com una variable d'entrada des del volant. Per tant, el pilot pot adaptar el consum d'energia, d'acord amb les lectures de l'estat de càrrega de les bateries així com d'altres paràmetres del LCD, modificant el parell de sortida de l'inversor a través de comunicació CAN.

Per escollir la capacitat del pack de bateries, es va desenvolupar un simulador propi amb Matlab. En aquest es tenia en compte l'eficiència global del powertrain, l'energia estimada obtinguda per la frenada regenerativa i el ritme per volta. Fent un compromís amb un objectiu de pes inferior a 55kg per al pack de bateries i un bon temps per volta, l'energia del pack és de 7,2 kWh.

Tenint en compte aquest objectiu d'energia i altres factors com la tensió del motor, l'objectiu de pes i la fiabilitat, es van estudiar diverses configuracions i diferents cel·les pel pack de bateries. Després de diversos tests i iteracions, la configuració més

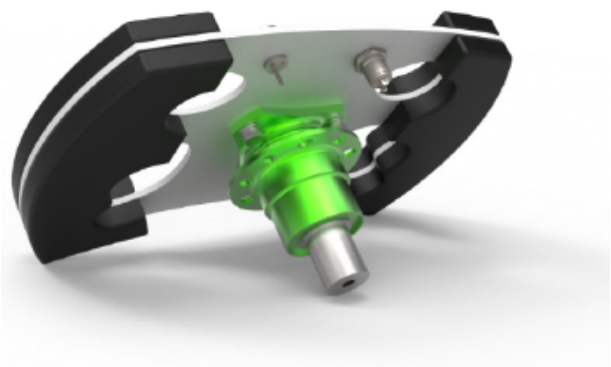
optimitzada és la de posar 3 cel•les en paral•lel i 108 en sèrie. La cel•la escollida és d'ió-liti del tipus pouch. Aquesta té una gran densitat especifica així com també una major capacitat de càrrega i descàrrega que altres opcions. Els resultats de simulacions mostren que amb la configuració seleccionada, l'energia regenerada total durant la prova de resistència serà de 0,6kWh, que és al voltant del 10% de la capacitat total de la bateria.

Les cel•les es divideixen en 12 mòduls per tal d'augmentar la possibilitat de reparació i per simplificar-ne la fabricació. Les cel•les estan soldades per ultrasons entre sí utilitzant connexions d'alumini.

Per tal de controlar i equilibrar totes les cel•les, s'ha escollit un BMS (Battery Management System) comercial, distribuït per la seva millor precisió en la mesura de la tensió i el seu baix cost en cas de que falli.

La tecnologia elèctrica és el cor del vehicle, però a més de tenir una ànima sostenible, l'ecoRZ ha estat dissenyat en tots els aspectes per a aconseguir la mínima petjada ambiental, en són clars exemples el xassís, els instruments ergonòmics i la carrosseria.

El xassís del vehicle es un multitubular d'acer. Per triar aquest tipus de xassís, es van valorar les opcions d'un monocasc de fibra de carboni, d'un monocasc d'alumini i d'una estructura multitubular d'alumini. Finalment el tubular d'acer es va escollir perquè ofereix el millor compromís entre tots els objectius fixats per la equip. Mitjançant l'ús d'anàlisis d'elements finits, podem obtenir una estructura de baix pes mantenint una bona rigidesa per a un cotxe de Formula Student, que és més de 2000 Nm / °. Aquest valor s'ha establert tenint en compte el valor de rigidesa dels xassís de diversos equips de la Formula Student del 2013 i del cotxe anterior de l'equip, l'ecoR2. D'altra banda, l'energia utilitzada per a la fabricació i el CO₂ emès són un 80% inferiors a les altres opcions considerades tant sols incrementant el pes en uns 10 kg. El material utilitzat per l'estructura és l'acer AISI 1010 (recomanat per regles FSAE) pel seu baix cost, bona soldabilitat i disponibilitat.



Imatge 4. Volant de l'ecoRZ amb disseny minimalista i sostenible

Tots els components del cockpit han estat dissenyats tenint en compte la

comoditat del pilot per tal d'obtenir-ne el millor rendiment. Atès que la majoria de components no són estructurals, el pes i la sostenibilitat han estat els factors més considerats.

El concepte del volant és una placa simple amb tall làser amb recobriments als dos costats. Tenint en compte l'esforç que ha de suportar el volant i el baix pes i cost requerits, el material escollit és l'alumini per sobre d'altres opcions de materials compostos com la fibra de carboni.



Imatge 5. Render disseny del cockpit

Després d'estudiar l'ergonomia i la visibilitat del pilot, un panell LCD, l'interruptor d'encendre el cotxe, el dial de distribució de frenada, els LEDs d'alerta i l'interruptor *ready to drive* s'han situat al tauler d'instruments. L'interruptor del sistema del *launch control* i un selector del mapa motor al volant.

El panell LCD mostra informació sobre la temperatura del sistema la refrigeració per aigua, la temperatura de les bateries, l'estat de càrrega de les bateries i les rpm del motor.

Per tal d'integrar els frens i els components electrònics, i tenint en compte el cost de fabricació i l'impacte sobre la sostenibilitat, tots els components de la caixa de pedals han estat dissenyats utilitzant perfils comercial de talls làser que ofereixen una solució econòmica i sostenible. Per acomodar a diferents conductors, els pedals es poden ajustar fàcilment.

El seient està fet de fibra de vidre amb una matriu termoplàstica degut al seu baix pes, l'alta capacitat de conformació, la sostenibilitat i el fet que és reciclable. La fibra de carboni reforçada amb polímer i amb matriu termostable es va descartar pel fet que no és reciclable i tan sols hi ha una petita diferència de pes entre la opció escollida. Després de diversos tests, també es van descartar les fibres naturals (basalt, cànem i jute) a causa de les seves baixes propietats mecàniques en relació al seu elevat pes.

Finalment, pel què fa a l'aerodinàmica, és conegut que el principal objectiu de en el cotxe és el de millorar el seu comportament dinàmic al circuit. Després d'estudiar els diferents elements aerodinàmics i amb l'objectiu d'aconseguir la millor relació entre el temps per volta i l'eficiència, el paquet aerodinàmic seleccionat està compost per un difusor. L'ús d'alerons es va descartar per la seva baixa eficiència aerodinàmica en

comparació amb el difusor. L'ús d'un difusor combinat amb una carrosseria estudiada aerodinàmicament, mostren una millora esperada de 1,5 segons per volta en un circuit típic de Formula Student en front d'un cotxe sense pack aerodinàmic, mentre que afegir un aleró suposaria una reducció del temps de 3,5 segons. No obstant això, l'energia requerida per a la prova de resistència de la competició és d'aproximadament 1,5 kWh menys que amb aleró i només 0,2 kWh més que en el mateix cotxe paquet aerodinàmic. Aquestes dades són extretes del mateix simulador utilitzat per dimensionar la bateria.

S'ha dut a terme un estudi per elements finits, amb ANSYS Fluent, del cotxe. S'ha obtingut un comportament realista en la simulació ja que el terra és mòbil, les rodes giren i s'ha implementat el model de turbulència k-ε. L'estudi mostra que les forces aerodinàmiques obtingudes a 60 km/h són de 94N de resistència (Coeficient de resistència aerodinàmica=0,73) i 274N de càrrega aerodinàmica.



Imatge 6. Carrosseria feta de material reciclable

Impacte ambiental:

L'ecologia és un punt troncal en el desenvolupament de l'associació, tant és així que està marcada a foc en el propi nom de l'equip. Tot el disseny i construcció dels prototips duts a terme per l'equip busquen reduir al mínim les emissions contaminants a l'atmosfera. Primer de tot amb l'objectiu bàsic de fabricar un vehicle "eco-friendly" i posteriorment amb la decisió dels materials i processos que comporta la fabricació del cotxe.

La primera fornada de l'associació es va fundar el 2008 amb la idea de dissenyar el primer prototip de competició universitari híbrid de l'estat, l'ecoR2. Aquell vehicle es presentava en societat l'any 2010 com una idea totalment trencadora amb el què es portava fins aquell moment, on en el món de la Formula Student imperaven els cilindres i l'olor a gasolina. L'ecoR2 obria a l'associació un període de vehicles híbrids paral·lel endollables, capaços de superar en les proves estàtiques i dinàmiques als models homòlegs de combustió, però amb un 60% menys d'emissions en tot el cicle de vida del cotxe.

Aquell revolucionari prototip no va quedar en un simple model molt interessant en el paper però poc efectiu i avorrit a la pista, sinó que va aconseguir un llarg seguit d'èxits en la majoria de proves en les que va participar, basant-se principalment en el seu propulsor *eco-friendly* i la seva gran fiabilitat. L'etapa dels híbrids endollables acabava l'any 2012 a UPC ecoRacing, amb un grapat de títols a l'esquena, que deixaven l'equip amb el millor palmarès d'un equip de Formula Student a l'estat. Tots aquests trofeus comparteixen un punt en comú: estan tacats de verd, d'ecologia.

L'any 2013 l'equip tancava una gloriosa etapa que l'havia portat a dissenyar i desenvolupar un prototip innovador i ecològicament sostenible. El procés no es podia aturar i l'associació va obrir les portes a la cerca de nous membres, tots ells estudiants de la UPC de terrassa, per formar un nou nucli ferm per a iniciar una nova etapa d'èxits. El primer que s'havia de pensar era el camí cap on volia anar l'associació. S'havia començat hibridant un vehicle de combustió i la idea no podia estancar-se, en un seguit de llargues reunions es va decidir de renunciar definitivament als combustibles fòssils, i embarcar l'associació en un projecte totalment nou, desafiant i engrescador: el vehicle 100% elèctric.

La tecnologia elèctrica per a mobilitat i transport és, avui en dia, la més eficient tenint en compte tot el procés des de l'origen de l'energia fins al vehicle final, inclòs el

transport. Apostar pel cotxe elèctric és estar a l'avantguarda de la tècnica i de la sostenibilitat mediambiental, tant important en els temps que corren. Des d'UPC ecoRacing es pretén en tot moment reduir les emissions de CO₂ a l'atmosfera tant pel què fa al propi vehicle com en els processos i materials que el confeccionen. Així, a tall d'exemple, tota la carrosseria del vehicle ha estat desenvolupada amb material termoplàstic en comptes de fibra de carboni, com és majoritari a la competició, posant èmfasi en l'enginy i el disseny per tal de contrarestar el principal desavantatge que el plàstic presenta: el pes. Per contra, s'obté un component fet de material reciclable, cosa que permet reaprofitar el material una vegada acabada la seva vida útil com a part de la carrosseria de l'ecoRZ.

Beneficis socials:

Un dels beneficis socials principals del projecte és la formació integral que reben els membres del projecte UPC ecoRacing en el àmbit de les tecnologies de mobilitat sostenible. En el panorama actual, existeix un gran dèficit d'enginyers formats en el àmbit del vehicle híbrid i elèctric, fet que alentir els desenvolupaments que es duen a terme a la indústria. Per altra banda, gràcies a la preparació rebuda, els membres que han participat en el disseny i construcció del monoplaça estan molt valorats per les empreses i la seva inserció laboral és immediata.

També cal destacar que degut a la necessitat de proveïdors de material, components i eines per la materialització del monoplaça 100% elèctric, s'ha creat una estreta col·laboració amb nombroses empreses del Vallès i la província de Barcelona enfortint d'aquesta manera el teixit Industrial de la zona i fins i tot obrint nous mercats entorn el vehicle elèctric en el cas d'algunes empreses.

Per altra banda, durant la temporada l'equip assisteix a més de 30 esdeveniments relacionats amb la mobilitat sostenible tals com l'Expoelèctric de Barcelona, l'iMobility Challenge celebrat al Camp Nou o el Saló Internacional de l'Automòbil, entre altres. En aquests esdeveniments l'equip du a terme una tasca de difusió del vehicle híbrid i elèctric, per conscienciar als milers de visitats que hi assisteixen de la importància d'apostar per aquestes tecnologies per tal d'assegurar el futur sostenible de la mobilitat, no només a nivell del vehicle comercial sinó també a nivell de competició. D'aquesta manera el projecte ajuda a trencar la barrera psicològica que relaciona un vehicle sostenible amb baixes prestacions.



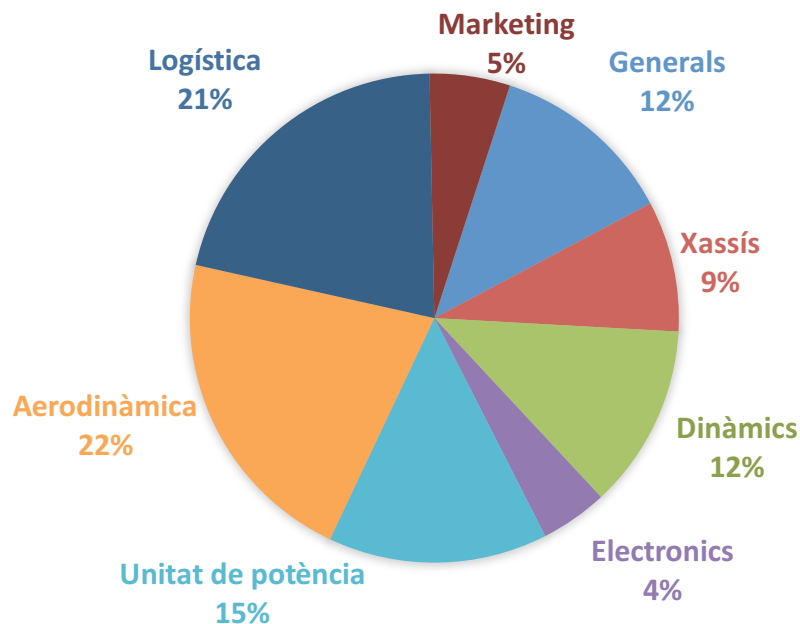
Imatge 7. Exposició iMobility Challenge Barcelona amb en Jean Todt i Sebastià Salvadó



Imatge 8. UPC Alumni: ecosistema de l'automoció 2014

Estudi econòmic i viabilitat del projecte

Abans de començar el disseny es varen marcar els objectius de cost per departament per tal d'obtenir un producte viable a nivell econòmic. D'aquesta manera s'ha estimat el cost de la Temporada 2015, que inclou la construcció del monoplaça ecoRZ i l'assistència a 3 competicions internacionals (Regne Unit, Espanya i Itàlia), en 165.000€. Al desglossar el cost per departaments, obtenim la següent gràfica:



On concretament, cada part inclou:

- **Marketing:** pòsters per les competicions, material gràfic vari per promocionar el projecte, els patrocinadors i la universitat, roll-ups, impressió documentació, vinils del cotxe, etc.
- **Generals:** eines, equipació pilot, enviament de documentació a la competició, EPIS, etc.
- **Xassís:** construcció i soldadura, pedals, cinturons, volant, pintat, etc.
- **Dinàmica:** construcció i soldadura braços de suspensió, llandes, amortidors, mecanitzat de les boixes i els eixos, etc.
- **Electrònica:** impressió plaques de la circuiteria pròpia, caixes d'alumini, sensors, cablejat, etc.
- **Unitat de potència:** motor, bateries, controlador del motor, diferencial, cablejat d'alta tensió, suports del motor i el diferencial, caixa de bateries, etc
- **Aerodinàmica:** models i motlles per fabricar la carrosseria, el difusor i el seient, fibra de carboni pre-impregnada per fabricar el difusor, resina epoxy, plàstic, procés de termoconformat per la carrosseria, foam, etc.

- **Logística:** Inscripcions a les competicions, trasllat dels 24 membres i el cotxe a Silverstone, Montmeló i Itàlia per participar a les diverses competicions, allotjament, trasllat del cotxe a més de 30 esdeveniments sobre mobilitat elèctrica, formació i automoció durant l'any, etc.

Com es pot imaginar, aconseguir el finançament per cobrir tot aquest pressupost no és gens fàcil per un grup d'estudiants i no seria possible sense el suport de les empreses que col·laboren amb el projecte i la universitat.

La major part d'aquest pressupost està cobert per empreses privades que o bé ajuden o fabriquen peces del monoplaça o financen econòmicament el projecte per comprar components necessaris per la fabricació del monoplaça i fer possible traslladar-se a les diverses competicions internacionals. Actualment UPC ecoRacing farà realitat l'ecoRZ gràcies a:

PATROCINADOR DE HONOR



PATROCINADOR



COLABORADOR



Imatge 9. Llista de patrocinadors i col·laboradors de l'equip

Aquestes empreses tan implicades en la innovació i la sostenibilitat i sensibilitzades amb la formació del futur teixit d'enginyers cobreixen més del 85% del pressupost. La part restant està coberta per la universitat i altres ajudes públiques de part de la Universitat Politècnica de Catalunya, la ETSEIAT (Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa), l'Ajuntament de Terrassa, l'AGAUR (Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca) i l'Ajuntament de Barcelona. Aquestes entitats aporten, a més, el suport institucional necessari al projecte.

Tot aquest suport de les moltes empreses i institucions adherides al projecte ecoRZ, demostren la seva viabilitat i que amb esforç, inclús un projecte de tanta envergadura pressupostaria i tècnica, es pot realitzar íntegrament per estudiants.

Per altra banda, la viabilitat tècnica està garantida, ja que després de la gran tasca de disseny durant el 2014, es va culminar amb la participació a la Formula SAE Italy on jutges enginyers de Ferrari, Lamborghini, Dallara, Maserati, Mercedes, etc. van atorgar al disseny del ecoRZ el premi al millor disseny esdevenint campions de la competició en categoria de projecte.

Actualment el projecte està en una fase avançada de la construcció de l'ecoRZ amb la intenció de finalitzar-lo el mes de maig d'enguany, per dur-lo a competir, dins del marc de la Formula Student, a Silverstone (Regne Unit), Montmeló (Espanya) i Varano de Melegari (Itàlia) durant l'estiu de 2015.

Referències

El projecte ecoRZ és un projecte viu, es pot trobar més informació i fer un seguiment del mateix a les xarxes socials i a la pàgina web de l'associació:

www.ecoracing.es

<https://www.facebook.com/UPCecoracing>

<https://twitter.com/UPCecoRacing>