



---

# COSTA BRAVA MAGLEV

---

MARC TEIXIDOR VILARRASA  
TUTOR: QUIM FARRÉS  
INSTITUT PLA DE L'ESTANY

---

9 OCTUBRE 2018

Dedico els agraïments al meu tutor de treball de recerca, Quim Farrés, per haver pogut tenir el seu suport en tot moment, l'ajuda que m'ha donat, el material que m'ha deixat i les idees que m'ha donat.

També agraeixo a la meva mare el suport i l'ajuda que m'ha donat.

Sense ells aquest treball no hagués estat possible.

## ÍNDEX

MARC TEÒRIC	7
1.1- Magnetisme	7
1.1.1- El magnetisme	7
1.1.2- L'experiment d'Ørsted i els electroimants	7
1.1.3.- Electroimants	8
1.1.4- Espectres magnètics	9
1.1.5- Levitació	10
1.1.6- Materials superconductors	10
1.2- Trens Maglev	11
1.2.1- Què és un tren Maglev?	11
1.2.2- Història	12
1.2.3- Quins trens Maglev hi ha al món?	13
1.2.4- Procés de construcció i infraestructures necessàries	14
1.2.5- Tipus de tren Maglev i funcionament de cada sistema	15
1.2.6- L'alt rendiment energètic dels Maglev	19
1.2.7- Sistemes de seguretat dels Maglev	19
1.2.8.-Impacte en el medi ambient	21
1.2.9- Avantatges i desavantatges dels trens Maglev	22
1.3- El futur dels Maglev	24
1.3.1- Tecnologies que es podrien aplicar als Maglev per millorar-lo	24
1.3.2- L'Hyperloop	26
COS PRÀCTIC	27
2.1- Càlculs de la comparativa de consums	27
2.2- L'experiment d'Ørsted	32
2.2.1- Explicació de la pràctica	32

2.2.2- Objectiu de la pràctica	32
2.2.3.- Disseny (croquis, plànols, esquemes de connexions...)	32
2.2.4- Material necessari	32
2.2.5- Pla de treball i procés de construcció	33
2.2.6- Resultat i conclusions de la pràctica	34
2.3- Construcció d'un electroimant	35
2.3.1- Explicació de la pràctica	35
2.3.2- Objectiu de la pràctica	35
2.3.3- Disseny (croquis, plànols, esquemes de connexions...)	35
2.3.4- Material necessari	35
2.3.5- Pla de treball i procés de construcció	36
2.3.6- Resultat final i conclusions	37
2.4- Experiment de Levitació (primera hipòtesi)	37
2.4.1- Explicació de la pràctica	37
2.4.2- Objectiu de la pràctica	37
2.4.3- Disseny (croquis, plànols, esquemes de connexions...)	37
2.4.4- Material necessari	38
2.4.5- Pla de treball i procés de construcció	38
2.4.6- Resultat i conclusions de la pràctica	40
2.4.7.-Resposta a la primera hipòtesi	41
2.5- Construcció d'un model de tren Maglev en funcionament	41
2.5.1- Definició del problema	41
2.5.2- Possibles solucions	41
2.5.3- Viabilitat de les idees	42
2.5.4- Proposta de solució	43
2.5.5- Pressupost econòmic	43
2.5.6- Fase de disseny	44
2.5.7- Fases de construcció	44

2.5.8- Resultat final	49
2.5.9.-Problemes que he tingut	50
2.6- Resolució de la segona hipòtesi	52
2.6.1- Notícies sobre el tema	52
2.6.2- Proposta de ruta	53
2.6.3- Estudi medioambiental	54
2.6.4- Càlcul del cost de les infraestructures	56
2.6.5-Càlcul de l'estalvi energètic	56
2.6.6-Càlculs amb el mateix recorregut	57
2.6.7- Estimació del nombre de passatgers i del preu dels bitllets	57
2.6.8- Per quins motius el Transrapid de Shanghai és rendible?	59
2.6.9- Síntesi i resposta a la hipòtesi	62
3.-Conclusions	65
3.1.-La meva opinió sobre el futur dels Maglev	65
3.2.- Aprenentatge personal	65
Annex A: Càlculs de consums	67
Annex B: Plànols de la pràctica d'Ørsted	70
Annex C: Croquis de la pràctica de l'electroimant	72
Annex D: Plànols de l'experiment de levitació	73
Annex E: Plànols del model de tren Maglev	75
Annex F: Càlculs del tren Maglev entre Girona i Barcelona	82
Bibliografia i Referències	84

## JUSTIFICACIÓ I MOTIVACIÓ PEL TEMA:

Per a la majoria de gent és difícil escollir un tema pel Treball de Recerca. A mi no m'ha costat gens; suposo que és perquè hi havia estat pensant abans de començar el batxillerat i, quan va ser el moment de triar tema, ja ho tenia clar.

Un dia a la televisió vaig veure que feien un documental, recordo que el tema em va captar l'atenció i me'l vaig mirar. **Un tren que “flota”, que pot arribar a viatjar a 600 quilòmetres per hora sense tocar el terra!** Vaig trobar que era un tema molt interessant i que hi havia molt per aprofundir. A més, té a veure amb l'enginyeria i jo sabia que volia fer un treball que fos de la branca tecnològica. També vaig trobar que el tema era fascinant, ja que el principi bàsic del funcionament del tren és el magnetisme, un tema del que no conec gaire res i que gràcies a aquest treball tindrè l'oportunitat d'aprofundir. L'altra cosa que m'agrada sobre el tema és que inclou el transport, que per la meua opinió és un dels grans avenços que ha fet la humanitat.

També miro aquest tema amb esperances pel futur, ja que crec que aquest sistema té potencial per revolucionar el món del transport, ja que reduirà el temps dels viatges, alhora disminueix el consum de combustibles fòssils i, per tant, la contaminació. Aquest serà el transport del futur!

## OBJECTIUS:

- Comprovar si les hipòtesis són certes i explicar el perquè.
- Aprendre i transmetre els principis bàsics del magnetisme, d'una manera amena, divertida amb moltes demostracions pràctiques.
- Fer que les pràctiques siguin senzilles i amb baix cost econòmic, d'aquesta manera més gent pot fer les pràctiques pel seu compte. Però que tot i ser senzilles siguin fiables.
- Donar a conèixer un transport poc conegut com els trens de levitació magnètica.
- Construir una maqueta automatitzada d'un tren Maglev en funcionament.

- Analitzar l'eficiència i l'impacte que tindria un tren de levitació magnètica entre els dos aeroports principals de Catalunya.

### HIPÒTESIS

Per aquest treball he plantejat tres hipòtesis:

- Es pot fer levitar un cos utilitzant pocs recursos i de manera fàcil.
- La implemetació d'un tren de levitació magnètica entre l'aeroport de Girona-Costa Brava i el de Barcelona seria viable econòmicament i també en termes de sostenibilitat
- Seré capaç de dissenyar, construir i programar un prototip de tren Maglev, controlat a partir d'una placa Arduino, de manera que pugui avançar suspès en l'aire i aturar-se.

### PLANIFICACIÓ DE LA RECERCA:

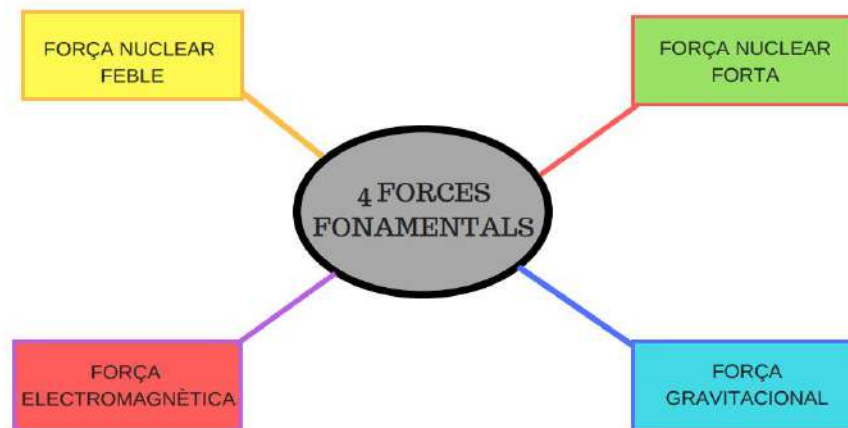
- Buscar informació a internet i bibliografia sobre el magnetisme, els trens de levitació magnètica.
- Fer recerca de diferents experiments senzills que puguin mostrar de forma pràctica els coneixements teòrics (per poder explicar els conceptes teòrics amb exemples pràctics).
- Com que el magnetisme és un tema molt ampli i amb molta informació, intentar sintetitzar els conceptes i explicar-los d'una manera amena i entretinguda.
- Incloure gran quantitat d'imatges i diagrames al treball (sobretot a la part teòrica).
- A l'hora de fer la part pràctica vull aplicar la tècnica DIY (Do It Yourself), que consisteix en construir-se un mateix les coses que es necessiten, a la part pràctica del treball.

## MARC TEÒRIC

### 1.1- Magnetisme

#### 1.1.1- El magnetisme

El magnetisme forma part de la força electromagnètica, una de les quatre forces fonamentals de la naturalesa. Aquesta força consisteix en una atracció/repulsió que hi ha entre materials ferromagnètics (ferro, cobalt, níquel...)



*Fig.1.- Esquema de les 4 forces fonamentals de la naturalesa.*

#### 1.1.2- L'experiment d'Ørsted i els electroimants

Aquest experiment el va dur a terme el físic danès Hans Christian Ørsted l'any 1820.

A través d'experimentar va poder observar que al fer passar un corrent elèctric per un circuit, s'alterava la direcció d'una brúixola que estava sota el circuit. Quan el circuit estava obert (no passava corrent) la brúixola indicava el nord natural, el del camp magnètic de la Terra. En canvi, quan tancava el circuit (passava corrent elèctric) l'agulla de la brúixola indicava una direcció diferent. Ørsted va poder intuir i demostrar que els corrents elèctrics generen camps magnètics. Aquest va ser l'inici d'una nova branca de la física: l'electromagnetisme.



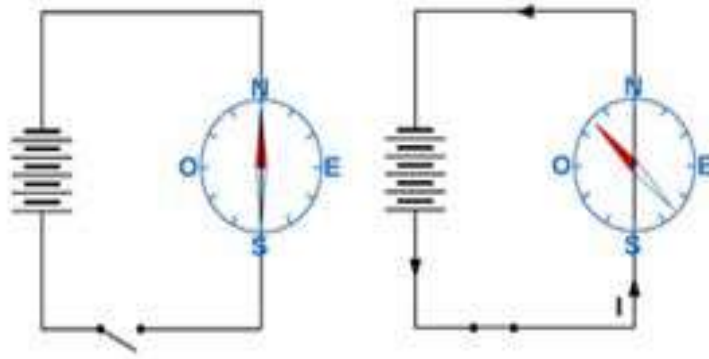


Fig. 2 <sup>[1]</sup> - Esquema de l'experiment d'Ørsted

Al cos pràctic realitzo aquest experiment, concretament a l'apartat 2.2

### 1.1.3.- Electroimants

El descobriment que va fer Ørsted va permetre que el físic William Sturgeon creés l'electroimant, un aparell fet amb una bobina de coure que al passar-hi corrent elèctric genera un camp magnètic. Aquest tipus d'imants tenen una gran potència i es poden connectar i desconnectar, cosa que amb un imant convencional no es pot fer.

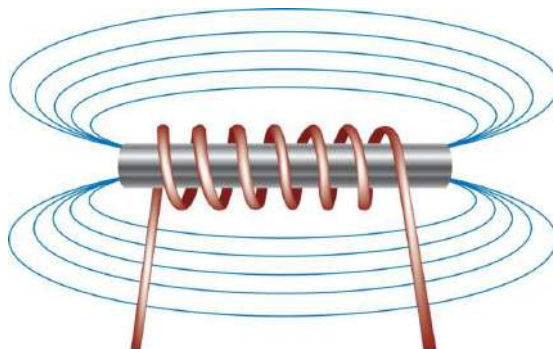


Fig. 3 <sup>[2]</sup> - Esquema gràfic d'un electroimant molt bàsic, on es pot veure el cable de coure enrotllat al voltant d'una barra de ferro i el camp magnètic que genera.

Els electroimants són molt utilitzats, més del que la gent es pensa. Per exemple s'utilitzen en motors elèctrics, reles (aparells electrònics que es troben a molts circuits elèctrics), els solenoides dels injectors de combustible (peça que es troba als motors de combustió), als altaveus, als transformadors d'electricitat...

Al cos pràctic construeixo un electroimant, a l'apartat 2.3

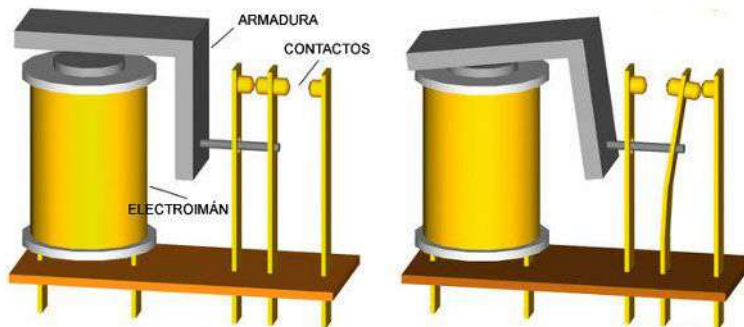


Fig. 4 <sup>[3]</sup> - Esquema gràfic del funcionament d'un relé, on la bobina fa la funció d'un electroimant i atrau a l'armadura, que a la vegada fa que canviï el contacte.

#### 1.1.4- Espectres magnètics

Un espectre magnètic és la forma i comportament d'un camp magnètic.

Aquests espectres es poden veure fent un experiment molt senzill. Aquest, consisteix en posar llimadures de ferro al voltant d'un camp magnètic (ja sigui generat per un imant, electroimant o qualsevol cos que el pugui generar). Les llimadures adopten la forma del camp magnètic ja que es veuran atretes per les forces magnètiques del camp.

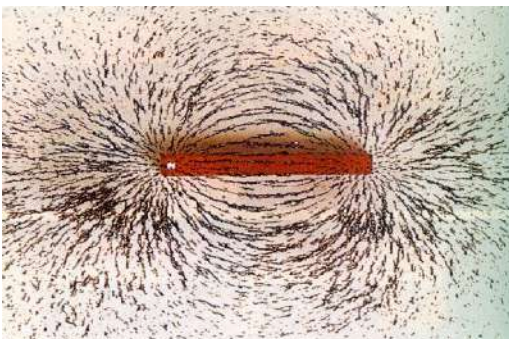


Fig. 5 <sup>[4]</sup> - Llimadures de ferro que s'adapten a la forma de l'espectre magnètic d'un imant.

### 1.1.5- Levitació

La levitació magnètica és un fet molt curiós, ja que és capaç “d’enganyar” als nostres sentits. Fent que sembli que un cos està “flotant”, sense tocar enlloc.

Aquest fet consisteix en la suspensió d’un cos en l’aire sense que hi actuï cap força visible per a nosaltres gràcies a les forces d’atracció i de repulsió dels camps magnètics produïts per imants.



*Fig. 6 <sup>[5]</sup> - Imant de neodimi levitant, sembla que floti ja els nostres ulls no poden veure les forces que fan que leviti.*

### 1.1.6- Materials superconductors

Els superconductors són uns materials amb unes característiques i qualitats magnètiques molt peculiars.

Les seves característiques les va descobrir Haike Kamerlingh Onnes l’any 1911. Va veure que en disminuir la temperatura d’un material conductor, en disminuïa la seva resistivitat. En determinades condicions poden portar un camp elèctric sense resistència ni pèrdues d’energia. A més, com que l’electricitat no pot passar pel cos, genera un camp magnètic amb unes característiques especials i alhora molt potent.

Normalment, per assolir la temperatura crítica del material superconductor s’utilitza nitrogen líquid per refrigerar-lo.

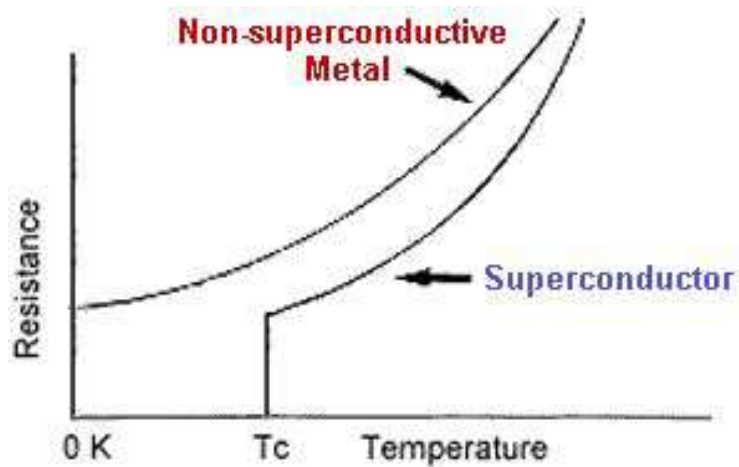


Fig. 7 <sup>[6]</sup> - Gràfic on es veu que quan la temperatura és inferior a  $T_c$  (temperatura crítica) els materials superconductors no ofereixen resistència al pas de l'electricitat ni dels camps magnètics.

## 1.2- Trens Maglev

### 1.2.1- Què és un tren Maglev?

Un Maglev és un tren que utilitza la levitació magnètica (**Magnetic levitation**) per desplaçar-se. Utilitza camps magnètics (ja siguin generats per electroimants, superconductors...) que es repel·leixin, i aquesta força de repulsió és la que genera el moviment. Són capaços de superar els 600Km/h gràcies a que la força de fregament amb el terra és nul·la.



Fig. 8 <sup>[7]</sup> - Imatge del tren Maglev anomenat Transrapid de Shanghai.

### 1.2.2- Història

Hi ha varies persones que han col·laborat en la invenció del tren Maglev. El primer va ser l'inventor alemany Alfred Zehden, que el 14 de febrer de l'any 1905, va patentar el motor lineal (*patent* US782312A).

Un altre inventor que va patentar un sistema de transport basat en l'electromagnetisme va ser F. S. Smith (la patent és US859018A), patentat el dia 2 de juliol de 1907, però en cap lloc sortia el nom de Magnetic Levitation o també anomenat Maglev.

Més endavant, entre els anys 1937 i 1941 el científic alemany Hermann Kemper va aconseguir diferents patents de varis sistemes que va inventar. Les patents són GR643316 (1937), GR44302 (1938) i GR707032 (1941). L'any 1959, G. R. Polgreen va patentar un altre sistema de transport que feia servir electroimants. La patent americana d'aquest transport va ser US3158765A.

Els primers en utilitzar el terme Maglev va ser l'empresa CPDL (Canadian Patents and Development Limited), quan el 26 de març de 1973 van patentar el "**Magnetic levitation guidance system**" (la patent és US 3858521A).

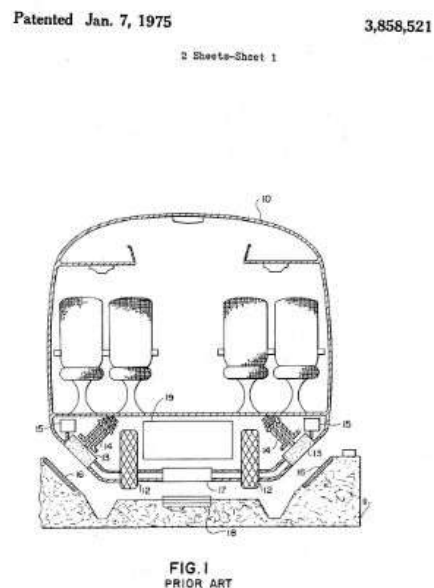


Fig. 9 <sup>[8]</sup> - Imatge d'un dels plànols de la patent US3858521A, la primera en mencionar el nom Maglev.

El primer tren Maglev va ser creat l'any 1979, l'empresa Transrapid va crear el Transrapid 05. Es va presentar en un segment de 908m de via, a Hamburg, durant l'Exhibició Internacional del Transport. Va tenir tant èxit que es va mantenir en funcionament durant 3 mesos després de l'Exhibició. Unes 50.000 persones el van provar. Després es va desmuntar i l'any 1980 es va traslladar a la ciutat alemanya de Kassel, on es va tornar a muntar.



*Fig. 10<sup>[9]</sup> - Imatge del Transrapid 05, el primer tren Maglev que va transportar a persones.*

### 1.2.3- Quins trens Maglev hi ha al món?

Actualment només n'hi ha un que doni servei a la població, el Transrapid, situat a Shanghai. En funcionament des de l'any 2003 permet fer un trajecte de 30Km que uneix la ciutat de Shanghai amb l'Aeroport i arriba a una velocitat de 430Km/h.

A Alemanya hi ha una línia de proves per trens Maglev de la companyia Transrapid i és on es va desenvolupar el que hi ha actualment a Shanghai. Allà hi han provat multitud de trens de l'empresa, entre d'altres el Transrapid 09.

I per últim, a Japó, des de fa anys, concretament l'any 1973 amb el projecte SCMaglev s'estan fent proves per fer un tren Maglev al Japó. Actualment estan desenvolupant un tren anomenat L0 que operarà a la línia Chuo, que tindrà una longitud de 285Kms. Es preveu que l'any 2027 estigui operatiu entre Tokio i Nagoya, i que el 2045 arribi a Osaka. Actualment només hi ha 43 quilòmetres construïts, que serveixen de zona de proves.

Amb aquest tren, el dia 21 d'abril de 2015 es va arribar a 603Km/h, el que suposa un rècord del món de velocitat d'un tren tripulat.



*Fig. 11 <sup>[10]</sup> - Imatge del L0, el tren japonès que va batre el rècord de velocitat.*

#### 1.2.4- Procés de construcció i infraestructures necessàries

Per fer un tren Maglev es necessiten moltes infraestructures, les quals són molt costoses. El tren circula per sobre un monorail que està situat a 8 metres del terra gràcies a uns pilars.



*Fig. 12 <sup>[11]</sup> - Imatge d'un Maglev on es poden apreciar clarament els pilars, que sostenen la via, en forma de "V" invertida*



El primer que es fa és construir els fonaments, on hi aniran els pilars que eleven la via. Després, es construeixen aquests pilars, i finalment, a sobre s'hi col·loca la via amb els imants i tot el sistema de control electrònic. També hi ha una sèrie de sensors cada escassos metres, aquests calculen la distància de separació entre la via i el tren, ho calculen milers de vegades per segon, i així el tren "s'autorregula" la potència que necessita per estar a la distancia idònia de la via.

Els revolts tenen una inclinació (peralt), això permet que es pugui agafar el revolt a alta velocitat i també ajuda a que el tren traci els revolts més suaument i no hagi de reduir tant la velocitat.

### 1.2.5- Tipus de tren Maglev i funcionament de cada sistema

De Maglev n'hi ha de 3 tipus, segons el sistema de propulsió que utilitzen.

#### **EMS (Electro Magnetic Suspension)**

El tren levita gràcies a un sistema d'electroimants. Aquest sistema té dues variants: una amb dues línies d'imants i l'altra amb tres.

La de dues línies d'imants és la que es veu a la figura 6. La via conté materials ferromagnètics (en verd a la imatge) i el vagó té electroimants. Aquests electroimants atreuen i alhora es veuen atrets pels materials de la via. Aquesta força d'atracció fa que el tren "s'aixequi" i leviti. La segona línia d'electroimants es troba al lateral i s'utilitza només per guiar el tren.

La versió de tres línies d'imants és igual a la de dos però entre el tren i la part de dalt de la via hi ha uns electroimants que repel·leixen la via, cosa que fa que el tren tingui més facilitat per levitar.

Totes les línies d'electroimants estan controlades per un sistema informàtic autònom. Aquest, utilitza les lectures de la distància entre el tren i la via que fan els sensors col·locats sota el tren, per controlar el voltatge que ha de passar als electroimants per



controlar la força d'aquests, així es pot controlar la distància entre el tren i la via, que sol ser d'uns 10-15mm.

Aquest és el sistema que utilitza el Transrapid que hi ha a Shanghai.

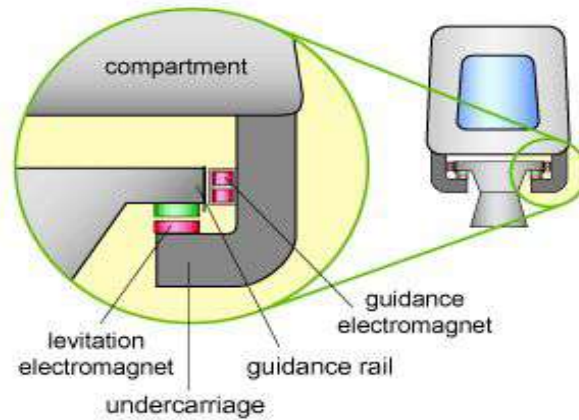


Fig. 13 <sup>[12]</sup> - Esquema de l'estructura i el funcionament del sistema EMS.

### EDS (Electrodynamic Suspension)

La via conté bobines de materials superconductors, els quals són refrigerats amb nitrogen líquid a  $-183^{\circ}\text{C}$ , per sota la seva temperatura crítica, repel·leixen qualsevol tipus de camp magnètic, evitant que el camp passi a través seu. Per tant, els tren EDS necessiten un sistema de refrigeració molt avançat i és important que funcioni fins i tot quan no hi ha electricitat, ja que sinó el tren cauria al terra de cop.

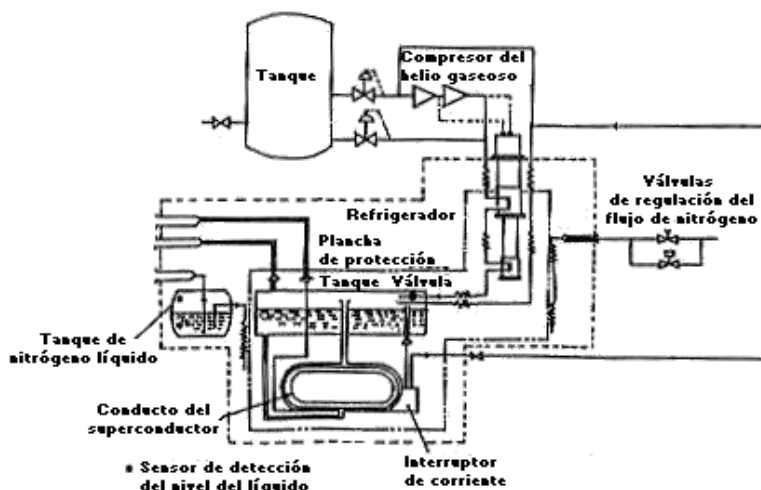


Fig. 14 <sup>[13]</sup> - Esquema del sofisticat sistema de refrigeració dels superconductors d'un tren que utilitza el sistema EDS.

Els superconductors de la via interactuen amb els electroimants que hi ha al tren. La via no es troba a sota el tren sinó als laterals. Quan els electroimants funcionen, amb la repulsió dels superconductors, el tren accelera. En aquest sistema els electroimants fan força només per accelerar el tren, tot i que aquesta força a partir de certa velocitat i certa potència fa que el tren leviti. Però no hi ha cap imant dedicat a fer levitar el tren.

Aquest sistema de levitació té poca eficiència a velocitats baixes, ja que genera poca sustentació. Per això, quan el tren viatja a una velocitat de 10Km/h o inferior, desplega unes rodes que té al seu interior quan viatja (com un avió amb el tren d'aterratge); per aquest motiu, al terra de la via hi ha unes guies on encaixen les rodes.



*Fig. 15 <sup>[14]</sup> - Imatge de les vies del sistema EDS on a cada lateral es pot apreciar una via (en vertical) i una guia al terra (una mica més elevada que el terra) per on circulen les rodes quan la velocitat és baixa.*

Aquest sistema eleva el tren a uns 15cm, per això és el millor per utilitzar en llocs amb alta activitat sísmica, ja que hi ha molta separació i fa que tingui més marge de moviment en cas de terratrèmol.

Aquest és el sistema que utilitza el LO de Japó.

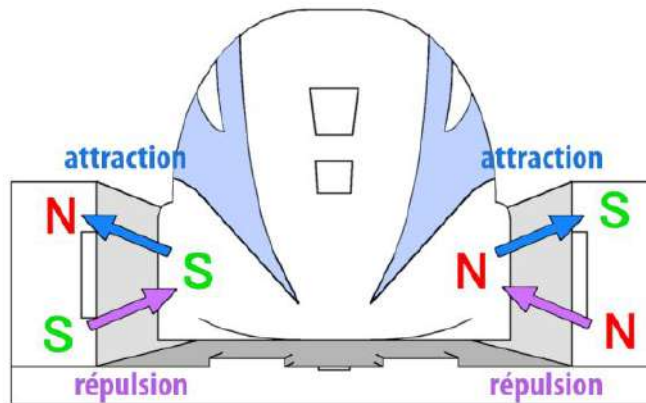


Fig. 16 <sup>[15]</sup> - Esquema que mostra el funcionament del sistema EDS.

### PMS (Permanent Magnet Suspension)

Es va provar aquest sistema els anys 1972 i 1973, però es va descartar l'ús d'aquest a causa de l'elevat cost de les vies. Aquest sistema utilitza imants convencionals, es basa en un motor lineal, o sigui, una alineació d'imants amb els pols ordenats d'una manera específica. Quan un altre cos amb imants hi passa per sobre, genera levitació. Els imants s'ordenen seguint una pauta, anomenada formació de Halbach. Aquest sistema ja no s'utilitza ja que era molt costós fer les vies.

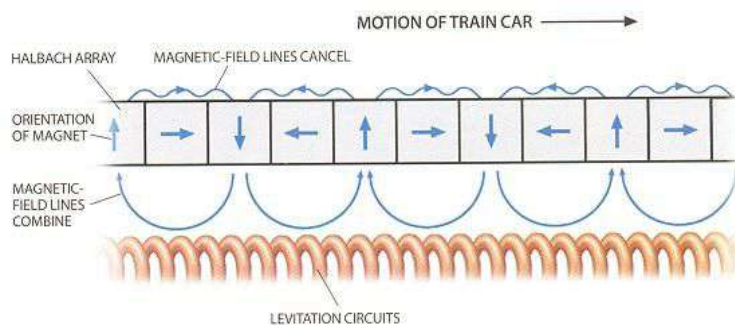


Fig. 17 <sup>[16]</sup> -Esquema de la formació de Halbach en un tren.

### 1.2.6- L'alt rendiment energètic dels Maglev

Els trens Maglev tenen un alt rendiment energètic gràcies a diferents punts forts.

- Com que el tren no està en contacte amb les vies es disminueix molt la força de fregament, ja que el que hi ha amb les vies és nul. L'únic fregament que té és amb l'aire, però la forma aerodinàmica que s'ha desenvolupat al túnel del vent permet que aquesta fricció sigui mínima.

- Tot i que la gent es pugui pensar que el sistema de propulsió elèctrica consumeix molt, no és així. A la "via" hi ha uns sensors que detecten quan passa el tren, quan aquest està a punt de passar els electroimants s'activen i un cop els sensors detecten que el tren ha passat els electroimants es desactiven, d'aquesta manera només es consumeix energia quan és necessari.

A la part pràctica, faig els càlculs de consum de diferents vehicles i la comparativa entre ells.

### 1.2.7- Sistemes de seguretat dels Maglev

Només hi ha hagut un accident en tota la història dels trens Maglev. Aquest, va passar l'any 2006 a Alemanya. A les infraestructures de l'empresa Transrapid, on es va posar el tren en marxa, a uns 300Km/h sense donar-se compte de que hi havia una vagoneta d'operaris al mig de la via. La col·lisió va generar 27 morts.

Alguns estudis corroboren que els trens Maglev son 20 vegades més segurs que els avions, 200 vegades més segurs que els trens convencionals i 700 vegades més segurs que un cotxe.

És clar que com que va molt més ràpid té molta més energia cinètica que un Tren d'Alta Velocitat. Per frenar d'una manera efectiva i reduir aquesta energia cinètica, el tren Maglev utilitza el mateix principi que fa servir per accelerar. Els imants de la via canvien la seva polaritat, d'aquesta manera fa una força contrària al moviment. En condicions normals el tren desaccelera a  $1,8m/s^2$ , ja que és una desacceleració còmode per als passatgers, en canvi, en condicions de frenada d'emergència el motor lineal pot

desaccelerar a  $3,5\text{m/s}^2$ . Alhora, el tren es pot ajudar d'uns frens aerodinàmics, que augmenten la resistència aerodinàmica i per tant, frenen el vehicle, aquest sistema de frenada és utilitzat en avions amb els "spoilers", uns "flaps" que fan que l'avió freni.



Fig. 18 <sup>[17]</sup> - Imatge dels "spoilers" d'un Airbus A320-200SL activats durant l'aterratge.

Utilitzant el motor lineal i els frens aerodinàmics per frenar (només s'utilitza en condicions d'extrema emergència) el tren pot arribar a frenar amb una desacceleració de  $12\text{m/s}^2$ .



Fig. 19 <sup>[18]</sup> - Prototip de tren Maglev utilitzant els frens aerodinàmics en una prova de frenada d'emergència extrema.

Els frens aerodinàmics de vegades es fan servir quan es necessita poca frenada i no es vol forçar el motor lineal.

Els trens que utilitzen el sistema EMS, quan arriben a una velocitat de 10Km/h o inferior, deixen de levitar, i s'activen les rodes (com en el cas d'un avió al moment d'aterrar). En el moment que les rodes toquen el terra es passen a utilitzar els frens hidràulics, com si es tractés d'un cotxe. També tenen unes rodes petites als laterals per controlar la separació lateral a baixes velocitats.

Les condicions meteorològiques no solen afectar al tren Maglev, ja que pot circular fins i tot amb petits gruixos de neu o de gel, ja que hi ha una separació d'entre 10 i 15mm entre el tren i la via, cosa que permet que els gruixos de neu puguin arribar a ser d'aquest gruix.



*Fig. 20 <sup>[19]</sup> - Imatge del Tren MLU002N on s'aprecien les rodes laterals per controlar la distància. També es poden observar les plaques dels electroimants al lateral.*

#### 1.2.8.-Impacte en el medi ambient

Segurament el major impacte és el visual, ja que l'estructura s'eleva uns 8 metres sobre el terra. A més, no contamina l'aire. Pel que fa a la contaminació acústica és pràcticament nul·la, ja que l'únic que es sent és com el tren "trenca" l'aire.

Una de les grans polèmiques és la radiació que originen els electroimants quan funcionen. Durant el maig de l'any 2007 es va crear un gran debat sobre el tema, ja que es va anunciar que la distància de separació entre la infraestructura i la població seria només

de 22,5m. La població xinesa es va enfurismar ja que el projecte original fixava una distància de 150m. Mentre a Alemanya tenen una zona de seguretat de 300m a cada banda del rail. I fins i tot degut a la pressió de la població, es va estar pensant en la suspensió del projecte, però l'ajuntament de Shanghai s'hi va negar i el va tirar endavant.



*Fig. 21 <sup>[20]</sup> - Imatge aèria on es pot veure l'impacte visual de les vies d'un tren Maglev que travessen diversos camps i boscos.*

#### 1.2.9- Avantatges i desavantatges dels trens Maglev

És clar que com tot, hi ha alguns avantatges però també alguns inconvenients.

Els punts forts dels trens Maglev són:

-L'**estalvi energètic** a altes velocitats, ja que al tenir un rendiment molt elevat i com que el fregament amb la via és nul, s'estalvia gran quantitat d'energia. A més, els electroimants de la via només s'activen quan el tren hi passa per sobre. Un cop ha passat, es desactiven, d'aquesta manera només es gasta l'energia necessària.

-El **poc manteniment** necessari, ja que al no tocar la via, la fricció és nul·la i el desgast a causa de la fricció també és nul.



-La **contaminació** és molt menor, ja que no utilitza la combustió com altres mitjans de transport. A més, si es volgués, es podria fer que només utilitzés energia elèctrica procedent de fonts renovables.

-La **seguretat**, segons els estudis que s'han fet fins ara (i el nombre d'accidents així ho demostra), és un dels grans punts forts dels Maglev.

-Clarament l'avantatge més important és la **velocitat** a la qual es pot desplaçar, ja que permet cobrir més quilòmetres en menys temps.

-Un altre avantatge és que aquest tipus de projectes fan que s'apliqui una **tecnologia molt avançada**, i que es pugui seguir desenvolupant. Si no hi haguessin aquests reptes, projectes i, òbviament, diners invertits, la tecnologia no evolucionaria, no avançaria.

Els punts negatius són els següents:

-El **preu** és clarament un dels grans inconvenients, ja que els pressupostos són de molts milions d'euros i això no ho pot fer qualsevol país ni qualsevol empresa/administració. Tot i que al final, segurament, al cap d'uns anys s'acaba guanyant gràcies a l'estalvi energètic i al poc manteniment que es necessita. Però és cert que la inversió inicial és molt gran.

-Com que el tren no s'adapta a les vies convencionals, i per tant, a les xarxes construïdes fins ara, s'han de **construir noves infraestructures**. Aquestes són molt grans i costoses (tornem a l'inconvenient del punt anterior amb el problema del preu).

-L'**impacte visual** important, ja que les torres de 8 metres generen un gran impacte visual.

-Les **radiacions electromagnètiques** que emet, no se sap fins a quin punt poden ser perjudicials i hi ha estudis que diuen que és molt perjudicial i estudis que diuen que no té efectes negatius... El que sí que s'ha comprovat és que pot afectar a la



gent amb marcapassos, a memòries USB, mòbils i els discs durs dels ordinadors, ja que queden desmagnetitzats per culpa de les altes radiacions electromagnètiques.

### **1.3- El futur dels Maglev**

#### **1.3.1- Tecnologies que es podrien aplicar als Maglev per millorar-lo**

Hi ha diferents tecnologies que es podrien aplicar als trens Maglev per reduir encara més el seu impacte mediambiental. Ja que he parlat del baix consum i la poca contaminació que té aquest sistema, es podria fer que l'energia que consumís fos verda, per tant, que provingui d'energies renovables com plaques fotovoltaïques o generadors eòlics. Això suposaria un impuls per aquests sistemes d'energia i a llarg plaç es podria aconseguir compensar la inversió inicial i fins i tot es podria estalviar diners. El sistema hauria de tenir unes bateries on s'emmagatzemés l'energia per si algun dia no es produís prou energia.

L'altra cosa que es pot millorar és el seu rendiment, tot i que ja és molt alt, aplicant noves tecnologies es podria millorar encara més.

Com que l'únic fregament que hi ha és amb l'aire, la manera de millorar el rendiment és disminuint aquesta fricció, això es pot aconseguir amb formes més aerodinàmiques amb menys fregament, a l'hora de dissenyar els trens ja s'investiga la forma aerodinàmica més eficient amb simulacions de CFD (Computational Fluid Dynamics) per ordinador (són simulacions d'ordinador per estudiar la interacció de l'aire amb objectes, d'aquesta manera es pot estudiar l'aerodinàmica del tren sense haver de fer un prototip diferent cada vegada que es fa un canvi en la forma d'aquest) i amb proves de prototips al túnel del vent.



*Fig. 22 <sup>[21]</sup> - Model a escala d'un tren (no és Maglev) al túnel del vent per analitzar-ne el comportament aerodinàmic i fer-lo més eficient.*

Una altra manera d'augmentar el rendiment és reduint el pes. D'aquesta manera es necessitaria menys energia per posar-lo a la mateixa velocitat. La reducció de pes es podria fer aplicant alguns materials amb qualitats especials. Per exemple, fent el xassís del tren amb fibra de carboni combinada amb grafè, una tecnologia que ja s'aplica a algunes indústries com la de la construcció de quadres i pneumàtics tubulars per a bicicletes de competició. El grafè és un material molt resistent i amb molt poc pes. D'aquesta manera es reduiria el pes i fins i tot augmentaria la seguretat.



*Fig. 23 <sup>[22]</sup> - Quadre de bicicleta fet de grafè, amb un pes de només 350g.*

### 1.3.2- L'Hyperloop

L'Hyperloop és un projecte impulsat pel multimilionari Elon Musk. El projecte consisteix en un sistema de transport basat en el tren Maglev però en un tub on hi ha el buit.

Al tub s'hi fa el buit, per tant, no hi ha aire. Al no haver-hi aire, el fregament és nul, ja que no hi ha força de fricció ni amb l'aire ni amb el terra.

De moment el rècord de velocitat és de 457Km/h (es va batre el 23 de Juliol de 2018).

El que vol Elon Musk és un sistema que pugui recórrer uns 600 quilòmetres en mitja hora, i així poder unir ciutats on actualment es tarda unes 5 o 6 hores per anar entre una i l'altra. Doncs amb l'hyperloop, on actualment es tarden aquestes 6 hores per anar-hi, s'hi podria anar amb mitja hora.

És clar que l'idea és molt bona. Ara s'estan fent diferents proves amb prototips. El primer hyperloop es preveu que uneixi Dubai i Abu Dhabi. També hi ha projectes per unir Mumbai amb Pune i Los Angeles amb Las Vegas.



Fig. 24 <sup>[23]</sup> - Foto del túnel de proves de l'Hyperloop One.

## PART PRÀCTICA

### 2.1- Càlculs de la comparativa de consums

Per demostrar l'estalvi energètic que suposa un tren Maglev, què millor que comparar el seu consum amb el d'altres mitjans de transport.

La primera comparació de consum serà amb els cotxes. Com que hi ha varis tipus de cotxes (diesel, gasolina, elèctrics...) faré els càlculs per cada tipus.

A més, com que per fer els càlculs faré servir la mitjana de consum de combustible del vehicle. Com que aquest consum és diferent a cada cotxe, utilitzaré només un sol model de cotxe, amb tres configuracions de motor diferents, d'aquesta manera no hi haurà tant d'error (que podria ser degut a la resistència aerodinàmica del cotxe, el rendiment de la transmissió...). He trobat un cotxe que es comercialitza amb 3 motors diferents (diesel, gasolina i elèctric).

**-Cotxe Dièsel:** Un Renault Fluence amb motor diesel 1.5 dCi 110 CV amb motor de gasoil consumeix 5,7l/100Km. Si considerem que 1l de gasoil té un poder calorífic de 35,76MJ (òbviament depèn de la composició del gasoil, per tant, depenent del gasoil que hi posem aquest valor variarà). Per tant, si consumeix 5,7l i cada litre aporta 35,76MJ, per fer 100 quilòmetres consumirà **203,83MJ**.

**-Cotxe Gasolina:** Cada litre de gasolina aporta uns 32,18MJ. El Renault Fluence de gasolina d'1.6l 110 CV, cotxe consumeix 7,6l/100Km. Per tant, per fer 100 quilòmetres consumirà **244,57 MJ**.

**-Cotxe Elèctric:** Pels vehicles elèctrics els càlculs són una mica diferents, ja que els consums es donen en KWh, que és una unitat d'energia, 1KWh equival a 3,6MJ.

El Renault Fluence Z.E (la versió elèctrica), consumeix uns 18,5KWh/100Km (aquest és el consum a 120Km/h a l'autopista). Per tant,  $18,5 \times 3,6 =$  **66,6MJ**.

**-Moto Gasolina:** Una moto de 125cc, per exemple l'Honda PCX 125i, consumeix 2,48l/100Km. Suposant que fem servir la mateixa gasolina que amb el cotxe, que té un poder calorífic de 32,18MJ, la moto consumeix **79,81MJ/100Km**.

**-Autobús Interurbà:** Les dades de consum són molt variades, però a la majoria de llocs (i els més fiables) he trobat que el consum és d'uns 0,35l/Km per tant, per 100Km consumeix uns 35l. Si multipliquem 35l x 35,76MJ/l, ens dona com a resultat **1.251,6MJ/100Km**.

**-Tren d'Alta Velocitat:** L'AVE entre Barcelona i Madrid (Serie 103 de RENFE) té un consum de 15.345kWh per fer els 614Km de via que separen les dues capitals. Recordo que 1KWh equival a 3,6MJ.

Per tant,  $15.345\text{KWh} \times 3,6\text{MJ} = 55.242\text{MJ}$  per fer un viatge. El que significa que el consum energètic és de **8.997,07MJ/100Km**.

**-Tren Maglev:** He trobat dades que diuen que el Maglev consumeix (a 480Km/h, ja que el consum depèn de la velocitat a la que vagi) 0,4 MJ per cada milla i per cada passatger. Un tren Maglev té capacitat per unes 300 persones. Un MJ/milla equival a 0.621371192MJ/Km. Per tant,  $0,4\text{MJ} \times 300 \times 0.621371192 = 74,56\text{MJ/Km}$ . Si ho multipliquem per 100Km, el consum és de **7.456,45MJ/100Km**.

**-Avió comercial:** A la pàgina oficial de Boeing s'afirma que: *"Un 747-400 en una ruta de 5.630 Km. y cargado con 56.700 Kg. de combustible consumirá una media de 19 litros por milla"*. Si canviem d'unitats aquests 19l/milla són 11,8060528 litres/km, per tant, agafaré com a dada 11,81 litres.

Els avions no utilitzen el mateix combustible que un cotxe o una moto... Fan servir derivats del querosè, aquests tenen una temperatura d'inflamació més baixa que els combustibles habituals. Per exemple, el Jet-A1 de CEPESA té el punt d'inflamació als 38°C i el de cristallització a -50°C.

El Jet-A1 té un poder calorífic de 42,8MJ/Kg i una densitat de 0,804Kg/l. Per tant, si cada quilòmetre gasta 11,81l, al passar-ho a quilos són 9,492Kg. Per tant, per fer 1Km utilitza 406,26MJ. Això significa que té un consum de **40.626,06MJ** per fer 100Km.

### CONSUM DELS MITJANS DE TRANSPORT 1 (MJ/100Km)

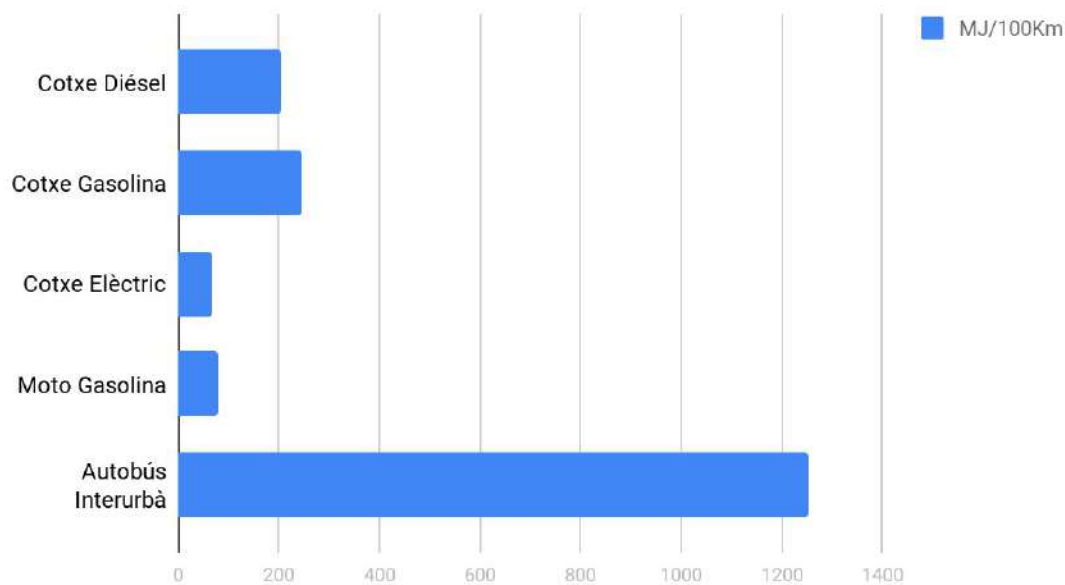


Fig. 25 - Gràfic de barres del consum de MJ cada 100Kms per part dels transports que menys consumeixen.

### CONSUM DELS MITJANS DE TRANSPORT 2 (MJ/100Km)

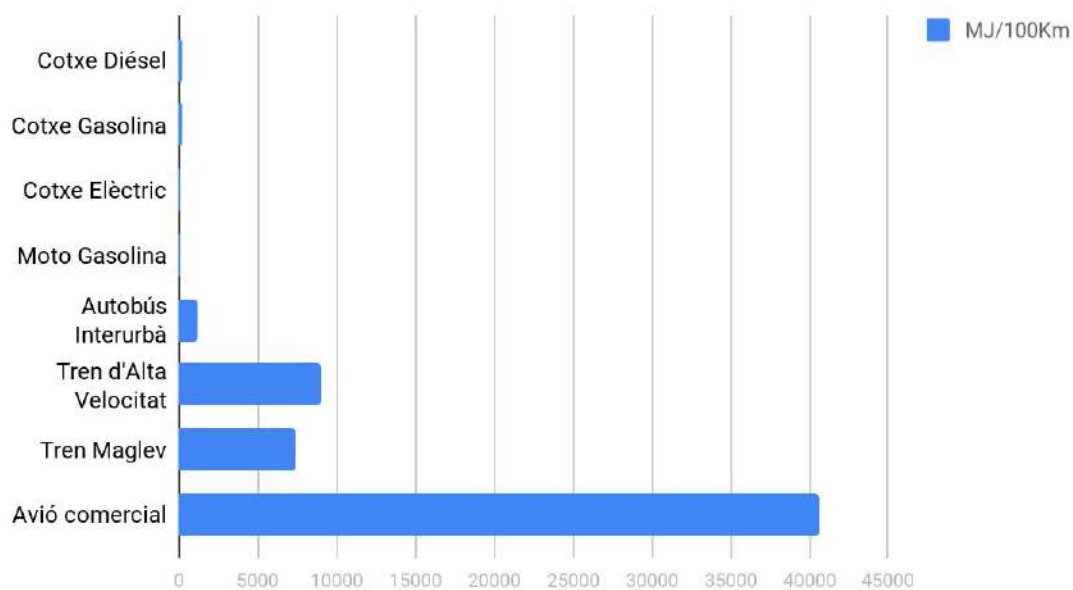


Fig. 26 - Gràfic de barres del consum de MJ cada 100Kms per part de tots els transports analitzats.

És clar, i s'ha de tenir en compte, que el nombre de passatgers que caben en un avió i els que caben en un cotxe o una moto no tenen punt de comparació. Per això els càlculs els he fet en una unitat diferent: MJ/100Km/passatger (l'energia que gasta el vehicle per fer 100 quilòmetres per cada passatger, d'aquesta manera podem tenir en compte la variable de la quantitat de passatgers, que és molt important). Per fer els càlculs suposaré que l'ocupació és del 100%, d'aquesta manera podré comparar millor el nombre de places.

El **cotxe diésel** consumeix 203,832MJ/100Km, en un cotxe hi caben 5 passatgers, per tant, el consum és de **40,77MJ/100Km/passatger**.

El de **gasolina** té un consum de 244,568 MJ/100Km, això fa que el consum sigui de **48,91MJ/100Km/passatger**.

El **cotxe elèctric** consumeix 66,6MJ/100Km, el que fa que el consum per passatger sigui de **13,32MJ/100Km/passatger**.

La **moto de gasolina** té un consum de 79,81MJ/100Km, tenint en compte que hi poden anar dos passatgers a la moto, el consum per passatger és de **39,9MJ/100Km/passatger**.

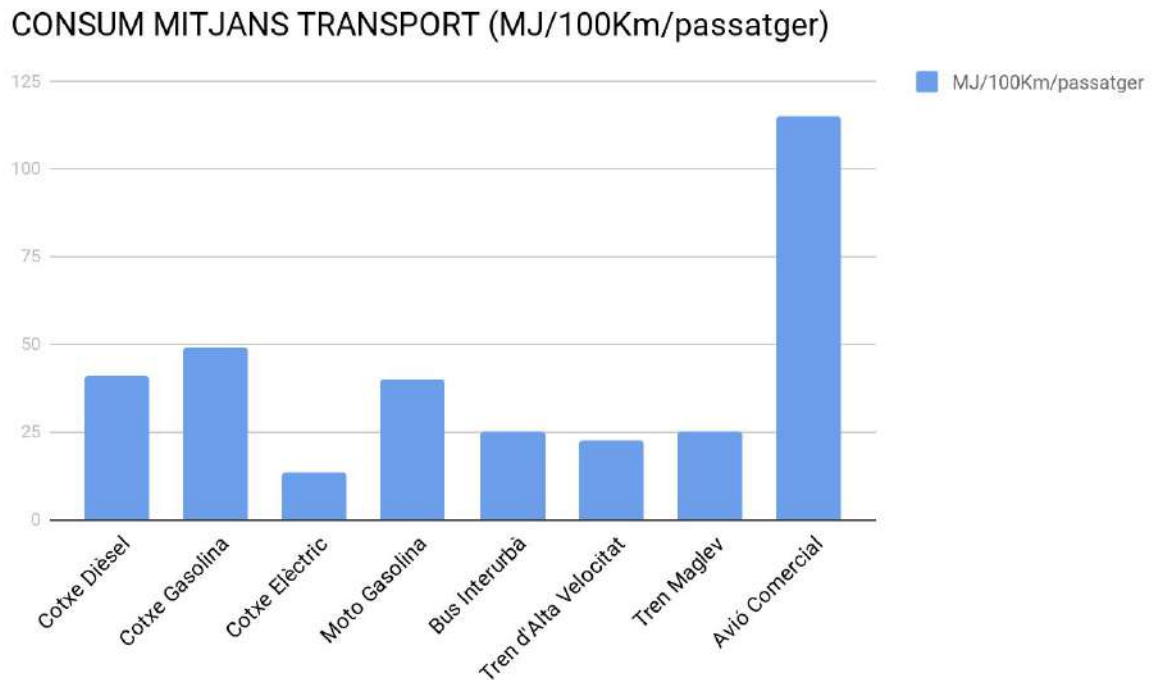
El consum del **bus interurbà** és de 1.251,6MJ/100Km, si la capacitat d'aquest és de 50 passatgers, el consum per passatger és de **25,03MJ/100Km/passatger**.

El **Tren d'Alta Velocitat** de la Serie 103 de RENFE consumeix 8.997,07MJ/100Km i té capacitat per transportar 400 passatgers, per tant, el consum per passatger és de **22,49MJ/100Km/passatger**.

El **Tren Maglev**, utilitzant les dades que he trobat a internet i he utilitzat anteriorment, consumeix 0'4MJ/milla/passatger. I he dit que l'equivalència d'1MJ/milla són 0.621371192MJ/Km. Per tant,  $0'4 \times 0.621371192 = 0,2485$  MJ/Km/passatger. S'ha de multiplicar-ho per 100Km per poder-ho tenir en la mateixa unitat que els altres casos. Són **24,86MJ/100Km/passatger**.

I l'**avió comercial** té un consum de 40.626,06MJ/100Km. L'avió que he utilitzat anteriorment per fer els càlculs és un Boeing 747-400. El seu aforament depèn de la configuració dels seients que esculli la companyia aèria. En el cas de la companyia Qantas (que és la única que he trobat informació sobre la seva configuració de seients en el

747-400), l'avió té capacitat per a 353 passatgers. Per tant, els càlculs diuen que el consum és de **115,09MJ/100Km/passatger**.



*Fig. 27 -Gràfic de columnes amb el consum per passatger. Es pot observar com al haver canviat les unitats i centrar-me més en el nombre de passatger que pot transportar cada un, algunes posicions han canviat.*

Tots els càlculs que he fet, es troben escanejats a l'Annex A.



## **2.2- L'experiment d'Ørsted**

### 2.2.1- Explicació de la pràctica

La pràctica consisteix en fer l'experiment d'Ørsted (apartat 1.1.2), on es pot observar com els corrents elèctrics produeixen camps magnètics.

L'experiment consta d'un circuit elèctric amb un interruptor i una brúixola sota el fil de coure on passa l'electricitat. D'aquesta manera es pot observar com el corrent elèctric genera un camp magnètic que altera l'orientació de la brúixola.

### 2.2.2- Objectiu de la pràctica

L'objectiu d'aquesta pràctica és fer el mateix experiment que va fer Ørsted l'any 1820 i que explico a l'apartat 1.1.2 i que funcioni tal i com li va funcionar a ell. Per aquesta manera poder demostrar que el corrent elèctric està relacionat amb els camps magnètics.

### 2.2.3.- Disseny (croquis, plànols, esquemes de connexions...)

El croquis de la pràctica es troba a l'Annex B.

### 2.2.4- Material necessari

Material
- Base de fullola
- Fil de coure
- Pila de 9V
- Brúixola
- Interruptor
- 4 claus
- 2 bagues tancades

### 2.2.5- Pla de treball i procés de construcció

**-Reunir els materials:** Aconseguir tots els materials necessaris que s'han descrit a l'apartat 2.2.2.

**-Marcar el circuit:** Marcar amb el llapis el circuit sobre la base de fullola. El circuit està especificat a l'apartat de croquis i plànols.

**-Clavar els claus:** Clavar 4 claus, tal i com està descrit a l'apartat de croquis.



*Fig. 28- Clau clavada a la base*

**-Posar les bagues:** Posar les dues bagues tancades als llocs especificats a l'apartat de croquis.



*Fig. 29- Baga cargolada a la base*

**-Posar interruptor al circuit:** Connectar l'interruptor al circuit

**-Col·locar el circuit:** Passar el fil per les bagues, col·locar-lo en la forma que s'ha indicat a l'apartat de croquis i enganxar-lo a les cantonades, d'aquesta manera queda fixe, enganxar a la base l'interruptor.



*Fig. 30 - Part del circuit de la pràctica*

**-Posar l'alimentació:** Enganxar la pila de petaca a la base i connectar el circuit a la pila.

**-Posar la brúixola:** Enganxar la brúixola a la base, just entre les dues vagues, tal i com surt al croquis.

#### 2.2.6- Resultat i conclusions de la pràctica

El resultat de la pràctica és el següent:



*Fig. 31 - Codi QR enllaçat al video que ensenya i explica la pràctica d'Ørsted un cop ja finalitzada. L'URL del video és: <https://youtu.be/lxyyFmwL6Ps>*

La conclusió de la pràctica és la següent:

És senzill comprovar que el que va experimentar Ørsted és cert: quan un corrent elèctric circula, genera un camp magnètic. En canvi, quan el circuit està obert (no hi circula electricitat), no hi ha aquesta atracció magnètica. Per aquest motiu, la brúixola (que reacciona a l'atracció magnètica) apunta a direccions diferents segons si hi ha corrent elèctric al circuit o no. Quan el circuit està tancat, la brúixola es veu alterada pel camp

magnètic que genera el corrent elèctric, en canvi, quan el circuit està obert la brúixola indica el camp magnètic de la terra, tal i com és normal.

### **2.3- Construcció d'un electroimant**

#### 2.3.1- Explicació de la pràctica

La pràctica consisteix en construir un electroimant. Serveix per aplicar el principi d'Ørsted en el magnetisme, ja que utilitza la inducció per transformar-lo en magnetisme.

#### 2.3.2- Objectiu de la pràctica

L'objectiu de la pràctica és construir un electroimant (el qual explico a l'apartat 1.1.3) d'una manera fàcil i que funcioni correctament (que sigui capaç d'atraure a cossos ferromagnètics).

#### 2.3.3- Disseny (croquis, plànols, esquemes de connexions...)

El croquis es troba a l'Annex C.

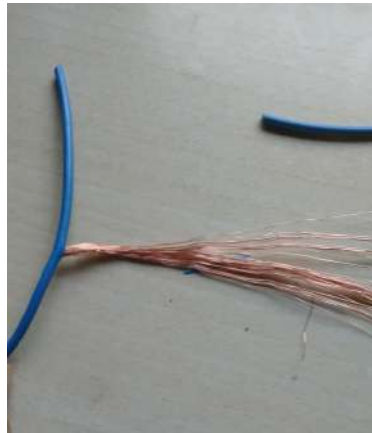
#### 2.3.4- Material necessari

Material
<ul style="list-style-type: none"><li>- Pila de petaca</li><li>- Fil de coure</li><li>- Interruptor</li><li>- 1 Cargol (o qualsevol peça metàl·lica cilíndrica)</li></ul>

### 2.3.5- Pla de treball i procés de construcció

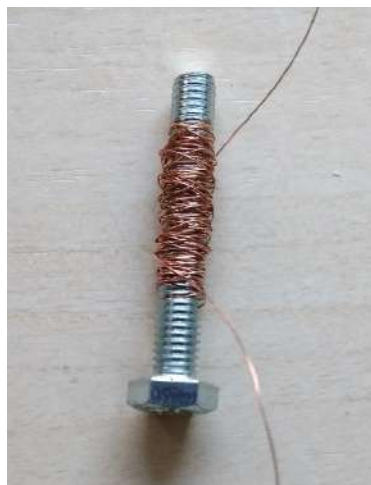
**-Reunir els materials:** Aconseguir els materials necessaris, la llista és a l'apartat de material. Si és possible, utilitzar material reciclat (obtenir-lo d'un aparell/objecte que ja no fem servir o que s'ha espatllat).

**-Treure el recobriments del cable:** Treure el plàstic que envolta el coure.



*Fig. 32 -Fils de coure trets d'un cable, del qual se n'ha tret el recobriments de plàstic.*

**-Envoltar el cargol amb el fil de coure:** Enrollar fil de coure al voltant del cargol, fer-li moltes voltes, com més millor.



*Fig. 33 -Cargol envoltat amb el fil de coure*

**-Connectar el fil de coure a l'alimentació:** Connectar el circuit a la pila.

### 2.3.6- Resultat final i conclusions

Resultat final:



*Fig. 34 -Codi QR enllaçat al video de la pràctica de l'electroimant. Enllaç del codi QR: <https://www.youtube.com/watch?v=maijxq0Ggkw&feature=youtu.be>*

Conclusió de la pràctica:

És molt senzill i ràpid fer un electroimant, els materials són molt bàsics, i es pot veure de manera molt clara la relació entre electricitat i magnetisme (fins i tot més que en la pràctica d'Ørsted).

## **2.4- Experiment de Levitació (primera hipòtesi)**

### 2.4.1- Explicació de la pràctica

L'experiment consisteix en veure l'efecte de la levitació, que consisteix en fer flotar un cos gràcies a forces no visibles pels nostres ulls, com per exemple, la força dels camps magnètics de diferents imants.

### 2.4.2- Objectiu de la pràctica

Demostrar que es pot dur a terme el fenomen de la levitació, que he descrit a l'apartat 1.1.5, de manera senzilla. Aquest és l'objectiu que planteja la primera hipòtesi.

### 2.4.3- Disseny (croquis, plànols, esquemes de connexions...)

El croquis de la pràctica es troba a l'Annex D.

#### 2.4.4- Material necessari

Material
- Base de fullola
- Làmines d'acetat per l'estructura
- 8 imants

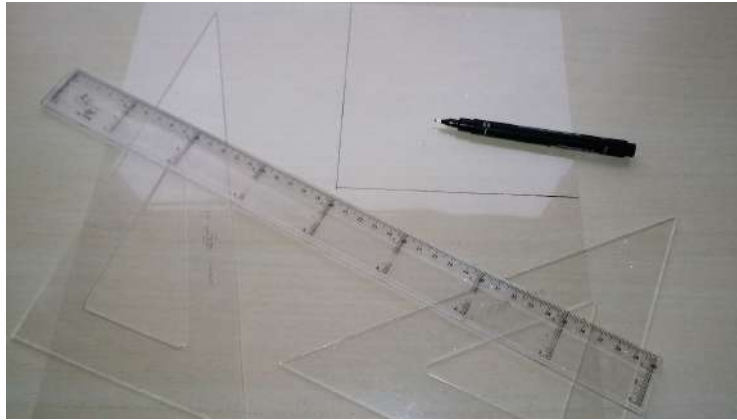
#### 2.4.5- Pla de treball i procés de construcció

- **Reunir els materials:** S'han de reunir els materials necessaris per l'experiment, aquests es poden comprar a qualsevol ferreteria. La llista del material es troba a l'apartat de pressupost.

**\*Apunt:** Al principi vaig fer la pràctica amb fullola de fusta. Vaig veure dues coses: la primera és que no s'apreciava gaire bé la levitació, ja que la fusta ho tapava, per això, el model definitiu he decidit fer-lo d'un material transparent com poden ser les làmines d'acetat. També podia haver fet servir metacrilat però l'acetat és més fàcil de treballar (per exemple, a l'hora de tallar-lo, es pot tallar amb unes simples tisores, en canvi, el metacrilat s'ha de tallar amb una serra), alhora és més barat i té les característiques perfectes per aquesta pràctica (poc pes, transparència...).

La segona cosa que he pogut veure al prototip és que no té gaire estabilitat i cal trobar l'equilibri per tal de que leviti, cosa que costa molt, per això al model final he decidit posar-hi unes peces a dos vèrtexs per tal d'estabilitzar la levitació (aquestes peces les anomenaré "estabilitzadors").

- **Marcar les mesures al metacrilat:** S'han de marcar les mesures de les peces al metacrilat, es pot fer amb un retolador (que no sigui permanent si no volem que les marques quedin visibles per sempre). Les mesures que s'han de marcar es troben a l'apartat de croquis.



*Fig. 35 - La làmina d'acetat marcada.*

- **Tallar les peces de metacrilat:** Tallar les peces que s'han marcat anteriorment. Si el construeixo amb làmines d'acetat, aquest, el podré tallar amb unes simples tisores o un "cutter". En el cas de que el construís amb metacrilat o fullola l'hauriem de tallar amb una serra.



*Fig. 36- Tallant la base amb unes tisores.*

- **Polir les peces:** AQUEST PAS NOMÉS CAL FER-LO EN CAS DE QUE UTILITZEM METACRILAT O FULLOLA. Com que els talls que s'han fet no són suaus, ja que el metacrilat no és fàcil de tallar, els polim amb paper de vidre (si pot ser que sigui fi, d'aquesta manera no es notarà tant que s'ha polit).

- **Marcar la posició dels imants:** Marcar les posicions dels imants sobre les bases, d'aquesta manera coincidirán.





*Fig. 37 -Petita marca que indica la posició d'un imant.*

-**Mirar les polaritats dels imants:** Sobretot cal vigilar les polaritats dels imants. Fent que els de la base 1 i els de la base 2 es repel·leixin. Si no fem bé aquest pas de les polaritats no funcionarà l'experiment!!!

- **Enganxar els imants:** Enganxar amb cola els imants a les seves posicions i mantenint les polaritats que he establert al pas anterior.

- **Unir les peces estabilitzadores:** Cal enganxar amb cola les peces estabilitzadores. S'enganxen de la manera que descriu l'axonometria que hi ha a l'apartat de croquis



*Fig. 38 -Un imant i un estabilitzador.*

#### 2.4.6- Resultat i conclusions de la pràctica

Fer la pràctica de levitació és senzill i alhora espectacular, ja que veus que la plataforma flota, sense que tingui contacte amb res. Trobo que ha quedat molt millor la pràctica

definitiva (feta amb acetat) que no pas el prototip, ja que era de fusta i pràcticament no es veia la levitació.



*Fig. 39 - Codi QR que enllaça al video on s'ensenya el resultat de la pràctica. Si no funciona, l'URL del video és <https://youtu.be/WF6swDFVtuw>*

#### 2.4.7.-Resposta a la primera hipòtesi

S'ha demostrat amb aquest experiment que reproduir el fenomen de la levitació és fàcil, econòmic i es pot fer amb materials molt simples.

### **2.5- Construcció d'un model de tren Maglev en funcionament**

#### 2.5.1- Definició del problema

L'objectiu de la pràctica és construir un model de tren Maglev que leviti i es desplaci. Com més fidel sigui el funcionament, millor. Tot i així, és molt difícil fer que el funcionament sigui exactament el mateix, ja que la tecnologia que s'utilitza en un tren Maglev real no està a l'abast de qualsevol persona.

#### 2.5.2- Possibles solucions

**-Propulsió amb ventilador:** La majoria de vídeos amb exemples de diferents maquetes de trens Maglev utilitzen aquest sistema. Es tracta de fer un tren que leviti gràcies a uns imants permanents a la via i a la part inferior del tren. La propulsió és gràcies a un petit ventilador darrere del tren.

**-Propulsió per cable:** Aquesta idea l'he pensat jo, consisteix en un tren levitat per imants permanents a la via i sota el tren. La propulsió és gràcies a un petit cabrestant, que estira

un fil de cuca transparent que està lligat al tren. La idea està inspirada en el sistema de propulsió de diferents muntanyes russes com el Furious Baco de Portaventura, que utilitza un cabrestant propulsat amb oli hidràulic a compressió per fer-lo girar a gran velocitat i d'aquesta manera accelerar amb el vagó amb el cable a uns 130Km/h. He pensat que un sistema semblant es podria aplicar al model, i fent que leviti amb uns imants seria suficient per que sigui un tren Maglev.

**-Propulsió amb electroimants:** És un sistema força complex. Es tracta de fer levitar el tren amb uns imants permanents, igual que als casos anteriors, però la propulsió seria gràcies a uns electroimants controlats per una placa Arduino, que anirien activant-se i desactivant-se depenent del moment, d'aquesta manera es podria fer moure el tren.

### 2.5.3- Viabilitat de les idees

-La propulsió amb ventiladors és molt viable, ja que és força senzilla de construir però alhora funcional, ja que tots els exemples que he vist funcionen correctament. Tot i així a internet hi ha molts exemples com aquest, i és molt "típic", això fa que no m'acabi de satisfer, ja que m'agradaria construir un model únic o com a mínim poc comú.

-La propulsió per cable crec que és la més viable i pot funcionar molt bé. A més m'agrada molt perquè és una idea pròpia. Tot i ser més senzilla que la de "levitació amb imants i propulsió amb electroimants", segueix essent difícil de construir, ja que s'ha de fer el cabrestant, una guia per tal que hi passi el fil... A més, el cabrestant hauria d'estar controlat per algun sistema electrònic. És cert que no és ben bé una rèplica del funcionament real del Maglev, però el principi de levitació és el mateix.

-La levitació amb imants i propulsió amb electroimants és el sistema més complex. A més, els electroimants s'haurien de controlar electrònicament d'una manera molt precisa i la potència també, cosa que és difícil ja que els electroimants serien tots diferents (ja que serien fets a mà).

Per tots aquests motius prefereixo triar la opció de propulsió per cable. La idea de propulsió amb electroimants prefereixo deixar-la per més endavant, en el cas d'un possible Treball de Final de Grau, ja que a la universitat tindrè molts més coneixements

de magnetisme, control i programació electrònica. Per això penso que la propulsió per cable és la millor opció.

#### 2.5.4- Proposta de solució

He fet uns croquis de com vull que sigui el model de tren Maglev, amb propulsió per cable. Aquests croquis es troben a l'Annex E.

#### 2.5.5- Pressupost econòmic

<b>PRODUCTE</b>	<b>QUANTITAT</b>	<b>PREU TOTAL</b>
<b>TAULÓ FUSTA 300x14x2</b>	1	12,95€
<b>TAULÓ FUSTA 200x10x2</b>	1	3,90€
<b>LLISTÓ 250x1,6x1,6</b>	1	3,99€
<b>FUSTA DE Balsa 30x10</b>	5	----
<b>FULLOLA 60X40</b>	2	---
<b>COLA PER FUSTA</b>	1	3,95€
<b>PINTURA</b>	3 (BLANCA, NEGRA, VERDA)	11,85€
<b>IMANTS PETITS</b>	115	25,50€
<b>IMANTS GRANS</b>	8	29,93€
<b>LÀMINES D'ACETAT 40x30</b>	2 paquets de 2 làmines	1,80€
<b>FIL ELÈCTRIC</b>	5 metres	2,50€
<b>MOTORS ELÈCTRICS</b>	2 motors	---

<b>PLACA ARDUINO UNO</b>	1 placa	---
<b>PLACA DE "DRIVERS" L298N</b>	1 placa	---
<b>"JUMPERS"</b>	15 jumpers	---
<b>RELÉS</b>	2 relés	---
<b>PREU TOTAL</b>		<b>96,37€</b>

Els productes en els que no hi consta preu és perquè ja els tenia o l'institut me'ls ha deixat.

#### 2.5.6- Fase de disseny

El que he fet pels plànols és passar la idea de com vull que quedi als croquis, i després als plànols amb les mesures adequades.

Els plànols es poden trobar a l'Annex E.

#### 2.5.7- Fases de construcció

**-Reunir materials:** Reunir tots els materials que s'anomenen al pressupost (2.5.5).



*Fig. 40- Imatge de les fustes quan les vaig anar a comprar.*

**-Marcar mesures a les fustes:** Marcar les fustes segons les instruccions següents:

-El tauló de 300x14x2, que serà la base (simularà el terra), cal dividir-lo en 3 peces d'1 metre. En els següents passos només n'utilitzaré dues d'aquestes peces.

-El tauló de 200x10x2, que representarà la via, cal tallar-lo per la meitat, per tant, quedaran dues peces d'un metre cadascuna. En la construcció de la maqueta utilitzaré les dues peces.

-El llistó de 250x1,6x1,6 l'utilitzaré per fer els pilars que sostenen la via. Se n'han de tallar 20 peces d' 11 cms.

-La fullola servirà per fer la caixa de connexions, on hi haurà la placa Arduino que controlarà els cabrestants. Cal tallar les parets de la caixa (2 peces de 9x2cm i 2 peces de 14x2 cm) i el sostre de la caixa (15x10cm).

També servirà per fer els estabilitzadors laterals, que n'hi ha de 2 tipus: 60x9,5 (4 peces) i de 40x9,5 (4 peces) en total 8 peces.

-La fusta de balsa servirà per fer el tren, cal tallar dos laterals, tal i com surt en els plànols de l'Annex E, una peça pel sostre i una pel terra, i diferents peces petites per tal de fer la curvatura de la part davantera.

**-Tallar les fustes:** Tallar les fustes seguint les mesures marcades anteriorment.



*Fig. 41- Tallant la fullola per la caixa de connexions amb una serra.*

**-Fer el forat a la base per la caixa de connexions:** Fer un forat de 9x14 a la base (seguint la posició marcada en els plànols de l'Annex E).

**-Polir les fustes:** Polir, utilitzant paper de vidre, les fustes (sobretot les zones on s'han fet els talls, ja que hi solen quedar estelles de fusta que es poden clavar i fer mal a algú).

**-Enganxar els pilars a la base:** Enganxar utilitzant la cola per fusta els pilars a la base. Els pilars han de seguir les mesures dels plànols (Annex E).

**-Enganxar la via als pilars:** Un cop els pilars estan ben enganxats a la base i la cola s'ha assecat i endurit, podem enganxar la via als pilars.



*Fig. 42- Imatge de la base amb els pilars i la via, ja enganxats.*

**-Fer la caixa de connexions:** Enganxar les peces de fullola que s'han tallat anteriorment, seguint els plànols de l'Annex E.

**-Enganxar la caixa de connexions a la base:** Enganxar, tapant el forat, la caixa que s'ha fet anteriorment.

**-Pintar la base, els pilars i la via:** Pintar la base de color verd i els pilars i la via de color gris.

**-Tallar estabilitzadors laterals:** Tallar la fusta de balsa que s'han marcat anteriorment per tal de fer els estabilitzadors laterals.

**-Enganxar estabilitzadors:** Enganxar els estabilitzadors laterals a la via.

**-Tallar les làmines d'acetat:** Tallar les làmines amb unes tisores i fer que tinguin la mesura adequada per poder tapar les "finestres" dels estabilitzadors laterals.

**-Enganxar les làmines d'acetat:** Enganxar les làmines que s'han tallat al pas anterior.

**-Tallar la fusta de balsa pel tren:** Tallar les diferents peces que s'han descrit i marcat en un apartat anterior, sinó també surten als plànols del tren a l'Annex E. La fusta de balsa es pot tallar amb un "cutter", d'aquesta manera el tall és més precís i net.



*Fig. 43- Imatge del "cutter" tallant una peça de fusta de balsa.*

**-Enganxar la fullola formant el tren:** Enganxar les peces tallades al pas anterior i encaixar-les fent la forma del tren (que també surt a l'Annex E).

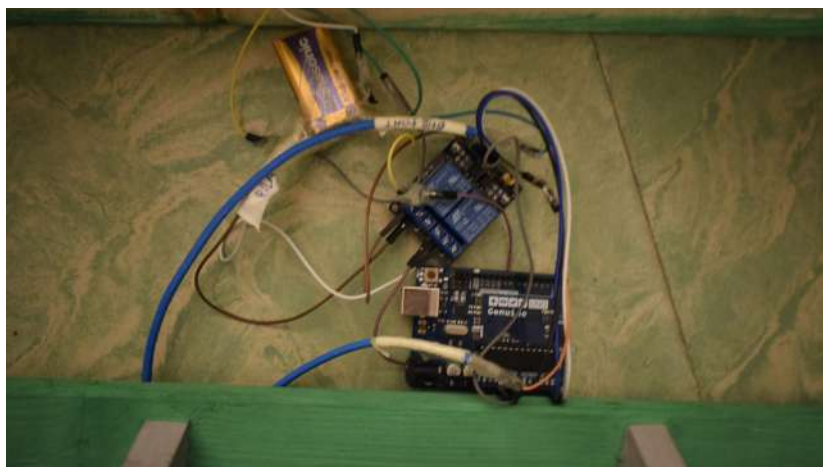
**-Pintar el tren:** Pintar el tren de color blanc i fer-li unes finestres de color gris per tal de que quedi més ben decorat.



*Fig. 44- Imatge de la primera capa de pintura blanca del tren.*



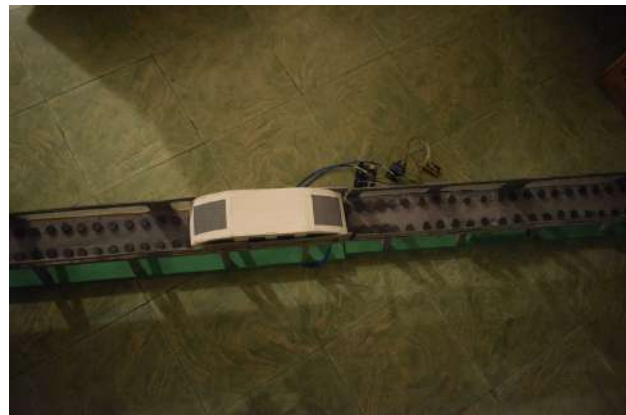
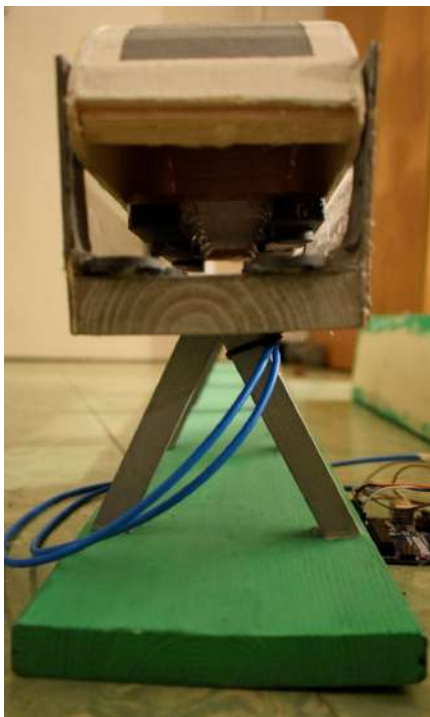
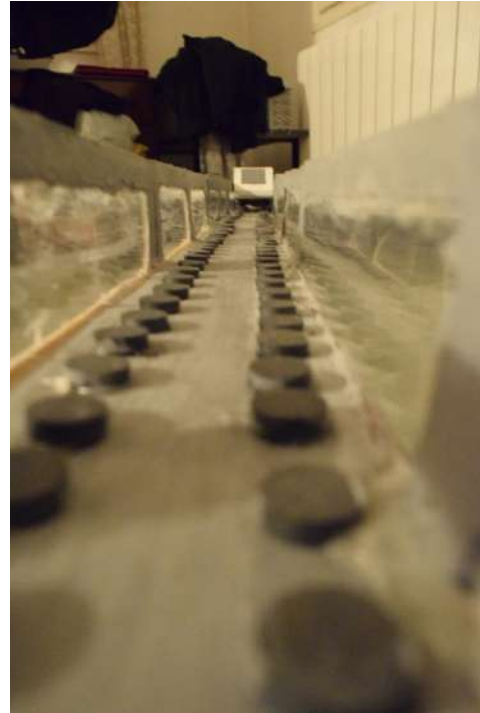
- Pintar els estabilitzadors:** Pintar els estabilitzadors del mateix color que la via i els pilars.
- Posar els imants de la via:** Posar els imants a la via, tots amb la mateixa polaritat cap amunt.
- Posar els imants del tren:** Posar els imants sota el tren, amb la mateixa polaritat dels de la via, mirant cap a ells, de forma que es repel·leixin.
- Lligar fil de cuca al tren:** Lligar un fil de cuca de 2 metres per cada banda del tren.
- Col·locar els motors als dos extrems de la via:** Enganxar un motor elèctric a cada un dels extrems de la via.
- Lligar el fil de cuca als motors:** Per tal de que quan girin, aquests estirin i enrotllin el fil de cuca i alhora desplacin el tren.
- Connectar el fil elèctric als motors:** Soldar el cable elèctric als motors per tal de procedir a fer la connexió d'aquests a les plaques controladores. Les soldadures les he recobert amb silicona per tal de que no hi hagi cap contacte entre elles ni cap desconexió durant el transport de les vies.
- Fer el circuit elèctric:** Connectar la placa Arduino a la placa de "drivers" i els motors a aquesta.



*Fig. 45- Imatge d'una de les proves que vaig fer amb el circuit elèctric.*

### 2.5.8.-Resultat final

A continuació hi ha una recopilació d'imatges del resultat final:



*Fig. 46.- Collage d'imatges del tren acabat*

### 2.5.9.-Problemes que he tingut

La construcció del tren ha estat força difícil, ja que he topat amb diferents problemes:

-El tren que havia fet inicialment era construït a partir d'un bloc massís de fusta, això feia que el seu **pes** fos molt elevat i els imants no tinguessin prou força per elevar-lo. Per tal de baixar el pes vaig decidir buidar-lo per dins amb un martell, una escarpa i l'ajuda d'un taladre per tal de buidar-lo més ràpidament. Vaig aconseguir baixar notablement el pes, però tot i així pesava més de 1250 grams. Vaig arribar a la conclusió de que no es podia baixar més el pes - vaig arribar a deixar zones amb només 3 mil·límetres d'espessor-. Per tant, vaig haver de buscar alternatives... i en vaig trobar diverses.

La primera era fer el tren de fullola - tallar diferents peces i després encaixar-les per tal de que fessin la forma del tren i que per dins estigués buit.

L'altra alternativa era fer-lo de "Porexpan", ja que és un material que pesa molt poc. El gran inconvenient del poliestirè expandit és que estèticament no quedava tant bé - estèticament parlant - com la fusta.

Finalment li vaig comentar el "dilema" a en Quim, el meu tutor de Treball de Recerca, i li vaig comentar que el volia fer de fullola. Però ell em va dir que la fusta de balsa era encara més lleugera que la fullola i que a l'hora de tallar-la es podia fer amb un "cutter", cosa que permet fer els talls amb molta més precisió, per aquests dos motius és molt utilitzada en el món de les maquetes i sobretot en l'aeromodelisme. A més, ell me'n podia donar, per tant, vaig passar durant una hora del pati pel taller de tecno i me'n va poder donar.

Per aquest motiu - i les seves avantatges- el tren no és ni de fusta massissa, ni de fullola ni de poliestirè expandit, sinó que és de fusta de balsa.

Un altre problema que vaig tenir va ser la levitació en sí. O sigui, els imants quan leviten (quan es repel·leixen entre ells) no tendeixen a ser estables, sinó tot el contrari, ja que busquen la forma d'ajuntar-se. Per aquest motiu, quan posava el tren sobre la via, aquest queia si no l'aguantava pels laterals. Per això vaig decidir fer uns suports laterals (o estabilitzadors) tal i com vaig fer a la pràctica de la levitació (apartat 2.4). Però en aquest cas, vaig decidir fer-ho amb fullola. El problema, del qual me'n vaig adonar mentre feia

les proves, era que no es veia la levitació (que òbviament era la “gràcia” de la pràctica). Per això tenia diverses alternatives:

-Fer els laterals amb làmines d'acetat, que són d'un material transparent i, per tant, es podria veure a la perfecció el fenomen de la levitació. Tot i que el problema era que són flexibles i per aquesta raó no aguantarien gaire la levitació.

-Fer els laterals amb fullola però amb uns forats per els quals es pogués veure la levitació. Té l'avantatge de que la fullola és força rígida, per tant faria la funció adequada, i que al haver-hi les “finestretes” es podria fins i tot tocar els imants i passar algun objecte entre ells (per així poder demostrar que realment no hi ha res entre el tren i la via, d'aquesta manera fer-ho encara més espectacular). Per això vaig decidir fer-ho amb fullola i amb les obertures als laterals.

Un altre punt, aquest no és un problema sinó que és per evitar-lo, és que totes les soldadures (i també els punts dèbils, com per exemple els “caps” dels “jumpers”) els vaig recobrir amb silicona, d'aquesta manera vaig fer una capa protectora per fer que fos més resistent i alhora no hi hagués perill de contacte entre les soldadures.

Tot i que aquests problemes puguin semblar una “tonteria”, m'han permés aprendre molt, tal i com comento a l'apartat 3.2.

## **2.6- Resolució de la segona hipòtesi**

La segona hipòtesi planteja si seria viable la construcció d'un tren Maglev a Catalunya.

He volgut aplicar aquesta pregunta a l'actualitat. Avui en dia a les notícies parlen de l'aeroport de Girona-Costa Brava com a una possible quarta pista de l'aeroport del Prat de Barcelona. L'altre dia vaig llegir un article on es deia que en el moment en que hi hagi una connexió d'AVE directa entre Vilobí d'Onyar (Aeroport Girona-Costa Brava) i l'aeroport de Barcelona El Prat, la pista de Girona tindria moltes més possibilitats de ser la quarta pista. Vaig pensar que si s'hi construís un tren Maglev seria molt més ràpid. I així és com he aplicat el problema actual de l'aeroport del Prat a la meva hipòtesi.

Actualment per anar d'un aeroport a l'altre es tarda més o menys 1h si no es troben retencions de trànsit a l'autopista, i s'ha de pagar el peatge, cosa que comporta pèrdues de temps i de diners per als usuaris de la via AP-7.

### **2.6.1- Notícies sobre el tema**

Hi ha forces notícies sobre el tema, ja que és d'actualitat i se n'ha parlat molt ja que és un projecte amb gent que el recolza i gent que està en contra (ja que segons un punt de vista seria molt beneficiós, i per l'altre punt de vista no és rendible i seria un malbaratament de diners). A més ja fa força anys que se'n parla però no es prenen decisions clares al respecte.

## L'estudi sobre el futur de l'aeroport de Girona conclou que el baixador del TAV és clau per ser complementari al Prat

23/06/2017 - 14:00



ACN Girona.-L'estudi que l'Ajuntament de Girona va encarregar sobre el futur de l'aeroport conclou que el baixador del TAV és clau perquè Vilobí d'Onyar (Selva) sigui complementari al Prat i s'impulsi com a quarta pista de Barcelona. L'anàlisi, que ha portat a terme la universitat anglesa de Cranfield, subratlla que la connexió amb alta velocitat doblarà l'àrea d'influència de la terminal i farà que 5,1 milions de persones, quan hagin d'agafar un avió, hi puguin arribar com a màxim en una hora. L'estudi també alerta que cal buscar alternatives al Prat, perquè l'aeroport barceloní pot arribar en pocs anys al màxim de la seva capacitat. En canvi, el Girona-Costa Brava té camp per córrer, perquè l'any passat va rebre 1,6 milions de passatgers i el seu topall es troba en 7,2.

Fig. 47 <sup>[24]</sup> - Titular del portal 324.cat, on aposta clarament pel TAV considerant-lo <<clau>>.

## El projecte «absurd» de dur el TAV a Vilobí

Una ponència elaborada per quatre economistes de la Universitat de Barcelona qualifica d'«ocurrència» el projecte de convertir l'Aeroport de Girona-Costa Brava en la quarta pista del Prat

Fig. 48 <sup>[25]</sup>- Imatge d'un titular del Diari de Girona on considera <<absurd>> el TAV. Fet que contrasta clarament amb el titular de la figura anterior.

### 2.6.2- Proposta de ruta

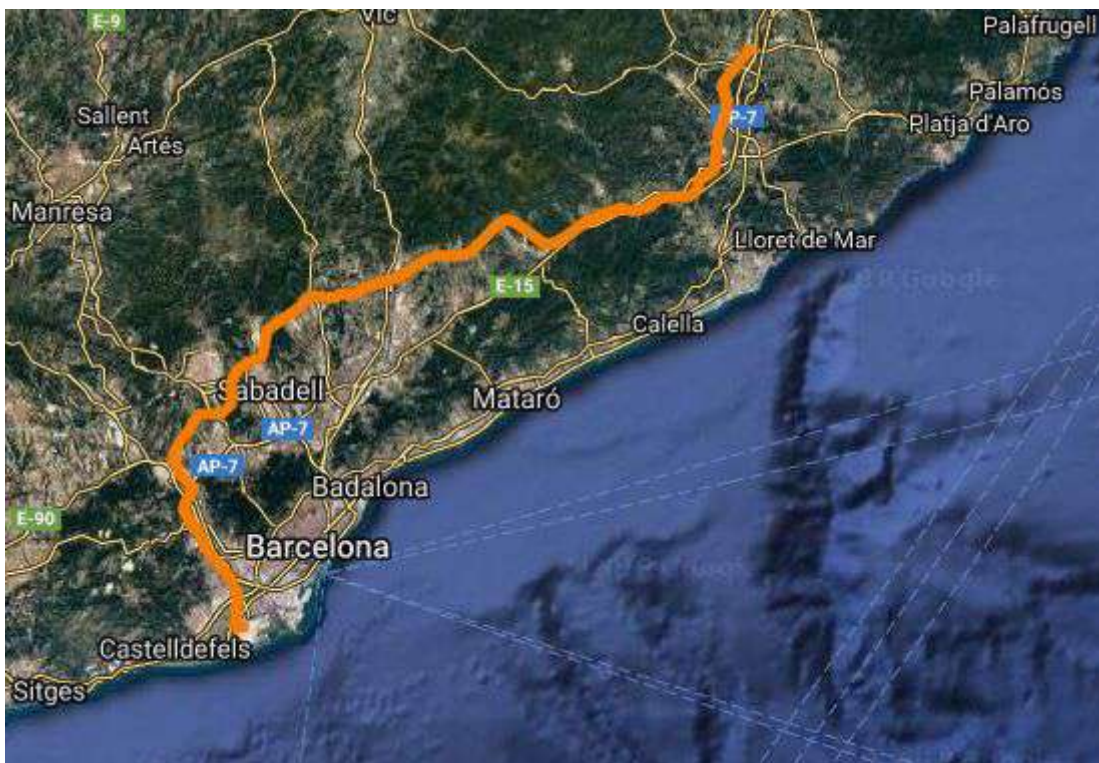
Per a l'AVE ja hi ha una ruta, el conegut com a Eix del Mediterrani, que travessa Catalunya tot resseguint la costa del Mediterrani. Seguint aquesta ruta, la distància entre l'Aeroport de Girona-Costa Brava i el de Barcelona El Prat, és de 96 quilòmetres. Les estimacions de la Generalitat són que el Tren d'Alta Velocitat podria fer el recorregut amb 30 minuts.

Pel Maglev, que no és compatible amb les infraestructures ferroviàries dels trens actuals, he dissenyat una nova ruta. Per fer el disseny del traçat de la ruta, he evitat que passi per espais naturals com el Massís del Montseny i el Parc del Montnegre i el Corredor, per



evitar danyar els parcs naturals i la fauna i flora que en forma part. Alhora evita els nuclis de població més importants, ja que fer passar el Maglev pel mig de Barcelona no és gaire bona idea. Per aquest motiu el faig passar per la zona nord-oest de Terrassa (fent que no afecti aquesta ciutat, ja que tampoc passa pel mig) i evitant que passi per Sabadell o Granollers, d'aquesta manera s'eviten les zones urbanes amb més habitats. Tot això fa que hi hagi algun quilòmetre de més però no té tants efectes sobre la població i el medi, dues coses molt importants i que s'han de tenir en compte.

En total surt una ruta de 119 quilòmetres, que calculo que el Maglev podria cobrir en uns 17-18 minuts.



*Fig. 49 - Mapa amb la ruta que he dissenyat pel tren Maglev*

### 2.6.3- Estudi medioambiental

Per veure l'impacte que pot tenir en el medi ambient, vull avaluar els principals avantatges que pot tenir, però alhora els punts negatius.

La reducció de consum energètic és un avantatge, però el principal és la nul·la emissió de CO<sub>2</sub> i gasos derivats de la combustió. A més, en cas de que tota l'energia utilitzada fos

generada per energies renovables, es reduiria a 0 l'emissió de CO<sub>2</sub> en la producció de l'energia necessària. També suposaria una gran propaganda de les energies renovables, per tant, podria ajudar a impulsar-les. En cas de que hi hagués una excedència d'energia, es podria "posar" a la xarxa elèctrica i que els particulars la utilitzessin, per tant, al vendre-la es podrien aconseguir uns ingressos extra.

Per al disseny de la ruta del tren he tingut en compte les zones amb parcs naturals per tal de que el tren tingués el mínim impacte en zones naturals. El tren suposa un avantatge respecte els convencionals. Com que les vies estan elevades permeten el pas lliure d'animals per sota sense cap efecte ni cap risc d'atropellament de la fauna autòctona. En canvi, els trens convencionals, com que passen per terra, dificulten el pas d'animals, per tal de que l'impacte sigui mínim es fan passos soterrats per als animals, però tot i així té un cert impacte en els animals, i sempre existeix la possibilitat d'atropellament d'animals. Per tant, és un punt a favor del Maglev.

Finalment, l'impacte visual. Aquest no marca diferències entre els dos models de tren. El Maglev té una infraestructura alta, que fa que es vegi de més lluny. Però té menys impacte visual que les vies d'un tren d'Alta Velocitat, que té més amplada si tenim en compte les tanques del voltant, els pals que fan passar el subministrament elèctric, la grava al costat de les vies... Per tant, és cert que la infraestructura del Maglev és alta i gran, però no es marquen tantes diferències respecte a totes les infraestructures necessàries pels trens convencionals i els d'Alta Velocitat.



*Fig. 50 <sup>[26]</sup>- Imatge de l'atropellament de dotzenes d'ovelles a causa del tren Euromed a Mont-roig.*



#### 2.6.4- Càlcul del cost de les infraestructures

Segons la informació que he trobat, el diari Nikkei de Japó anuncia que el cost del Maglev que s'ha construït al país veí, la Xina, és d'entre 200 i 300 milions de iuans cada quilòmetre. Alhora, compara el cost del Maglev (que circula per la superfície) amb el cost dels metros, que circulen per sota terra. Els metros són molt més cars, ja que s'han de fer les excavacions, el qual encareix molt el pressupost, que és d'entre 500 i 800 milions de iuans cada quilòmetre.

Si contem que un quilòmetre costa uns 250 milions de iuans, fent la conversió a euros (conversió del dia 26 de Setembre de 2018, ja que s'ha de tenir en compte que de vegades els valors monetaris canvien), són 30,925M € per quilòmetre.

Per tant, el preu de les infraestructures seria de 3.680.075.000€.

#### 2.6.5-Càlcul de l'estalvi energètic

La distància de les vies actuals de l'AVE és de 96 quilòmetres. L'AVE, segons els càlculs que he fet a l'apartat 2.1, consumeix 8.997,07MJ/100Km. Per tant, el consum total del trajecte entre els dos aeroports seria de 8.637,19 MJ.

En canvi, el tren Maglev, per les vies que he dissenyat que mesuren 119 quilòmetres, consumiria 8.873,18 MJ.

Per calcular la diferència de preu, primer s'han de passar els MJ a kWh. L'equivalència és la següent: 1 MJ són 0,2778 kWh. En kWh l'AVE tindria un consum de 2.399,41 kWh i el Maglev, amb el recorregut de 119Kms, tindria un consum de 2.464,97 kWh.

Com que en kWh no es pot veure gaire la diferència (ja que en kWh no és gaire visual), ho convertirem en Euros, d'aquesta manera s'aprecia millor la diferència.

El preu del kWh varia en funció de l'oferta i la demanda, però actualment (finals d'Agost de 2018) ronda els 12 cèntims d'Euro. El preu de l'energia que consumiria l'AVE és de 287,9€ i el Maglev 295,8€. Per tant, el tren Maglev no suposaria cap estalvi de diners, ja que consumeix més que no pas l'AVE.

Per aquest motiu, ja es pot veure clarament que la inversió no seria rendible, ja que havia previst que el cost de la inversió inicial seria recuperada gràcies a l'estalvi econòmic que suposaria l'energia estalviada.

Per aquest motiu he decidit fer el següent apartat, on es podrà comparar de manera més "justa".

#### 2.6.6-Càlculs amb el mateix recorregut

Per tal de no tenir en compte la diferència de quilòmetres, simularé que fan el mateix recorregut, com si les vies de l'AVE no estiguessin construïdes i es tractés d'un projecte nou sense haver-hi cap infraestructura existent.

El Maglev podria fer el recorregut en uns 13-14 minuts.

Per fer els 96 quilòmetres de l'AVE, la infraestructura necessària tindria un cost de 2.058.240.000€. I el consum d'aquest, tal i com he dit anteriorment, és de 8.637,19 MJ (2.399,41 kWh) per fer els 96 quilòmetres. El que suposa un cost econòmic de 287,9€ per cada viatge.

Les infraestructures del Maglev costarien 3.030.650.000 €. Això significa que les infraestructures del Maglev serien 972.410.000€ més cares que les de l'AVE. El consum del Maglev seria de 7.158,19 MJ (1988,55KWh) cada viatge, per tant, suposa un cost econòmic de 238,63€/viatge.

L'estalvi energètic entre l'AVE i el Maglev seria de 1.478,998 MJ , que suposen 410,87KWh, per tant, suposaria un estalvi de 49,3 € cada viatge.

#### 2.6.7- Estimació del nombre de passatgers i del preu dels bitllets

La Generalitat preveu que cada any unes 950.000 persones utilitzarien l'AVE en cas de que es construís una estació a l'Aeroport de Girona-Costa Brava. Per tant, els preus dels bitllets els faré a partir d'aquesta dada. Els trens Maglev poden transportar 300 persones a cada viatge, per tant, per transportar a les 950.000 persones s'haurien de fer 3.167

viatges (suposant que totes les places anessin plenes). Com que això és pràcticament impossible, suposarem que l'ocupació mitjana seria del 65% (que és la ocupació mitjana del TAV i dels trens ICE-3). Si la ocupació fos del 65%, suposaria que la mitjana de passatgers seria de 195. Amb aquesta dada podem calcular (d'una manera més semblant a la realitat) quants viatges farien falta cada any per transportar els 950.000 usuaris anuals que ha previst la Generalitat, el resultat surt 4.872 viatges.

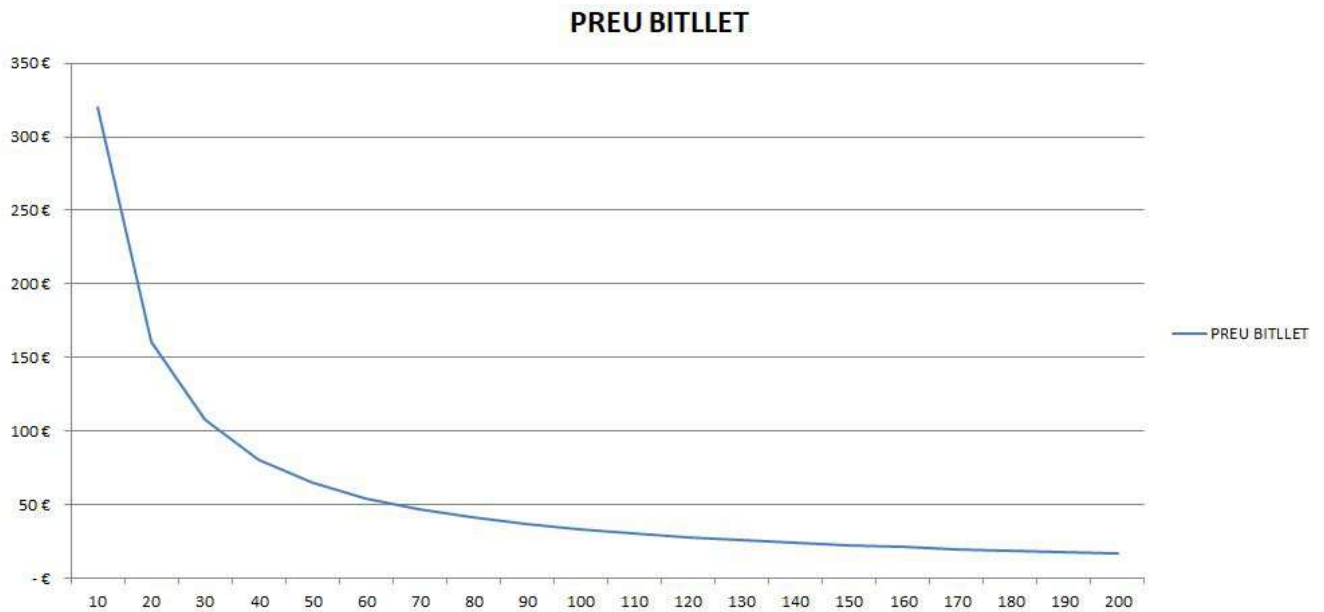
Cada viatge consumiria 238,63€ d'electricitat (ho he calculat a l'apartat anterior, 2.7.4), per tant, el cost anual en electricitat seria d'1.162.605,4€.

La hipòtesi planteja si seria viable o no fer un tren Maglev. Per tant, necessito saber en quants anys es tardaria per poder posar un preu raonable als bitllets.

Per aquest motiu he fet la següent taula:

ANYS	INVERSIÓ DE L'ESTAT	VIATGERS	PREU BITLLET
10	3.042.276.054 €	9.500.000	320 €
20	3.053.902.108 €	19.000.000	161 €
30	3.065.528.162 €	28.500.000	108 €
40	3.077.154.216 €	38.000.000	81 €
50	3.088.780.270 €	47.500.000	65 €
60	3.100.406.324 €	57.000.000	54 €
70	3.112.032.378 €	66.500.000	47 €
80	3.123.658.432 €	76.000.000	41 €
90	3.135.284.486 €	85.500.000	37 €
100	3.146.910.540 €	95.000.000	33 €
110	3.158.536.594 €	104.500.000	30 €
120	3.170.162.648 €	114.000.000	28 €
130	3.181.788.702 €	123.500.000	26 €
140	3.193.414.756 €	133.000.000	24 €
150	3.205.040.810 €	142.500.000	22 €
160	3.216.666.864 €	152.000.000	21 €
170	3.228.292.918 €	161.500.000	20 €
180	3.239.918.972 €	171.000.000	19 €
190	3.251.545.026 €	180.500.000	18 €
200	3.263.171.080 €	190.000.000	17 €

Fig. 51- Taula de valors amb el cost dels bitllets per tal de recuperar la inversió.



*Fig. 52- Gràfic on es pot apreciar la baixada del preu dels bitllets segons els anys d'amortització previstos.*

Aquí és quan arriba la conclusió de que **NO ÉS RENDIBLE**. Ja que si es volgués posar un preu raonable (per anar bé més barat o igual que l'autobús), es tardarien entre 170 i 200 anys en poder recuperar la inversió, però a més a més, amb aquest temps les infraestructures s'haurien hagut de renovar quasi completament... No és rendible.

#### 2.6.8- Per quins motius el Transrapid de Shanghai és rendible?

Hi ha diversos motius que fan que el Maglev de Shanghai sigui rendible i que en canvi el de Catalunya no.

El primer motiu és la distància, que alhora està relacionada amb el cost de les infraestructures. El recorregut que fa el Maglev de Shanghai és de 30,5 quilòmetres, que suposa un cost de construcció d'uns 943.212.500€, un cost força assequible ja que un AVE de 30,5 quilòmetres costaria 653.920.000€.

En canvi, en el cas de Catalunya, com que la distància és unes tres vegades més gran, el cost de les infraestructures del Maglev seria de 3.030.650.000€ i el de l'AVE

2.058.240.000€. Per tant, la diferència s'eixampla de manera molt considerable, uns 973.410.000€ (més que no pas el cost del Maglev de Shanghai!).

Per tant, com menys és la distància, menys diferència hi ha en el cost de les infraestructures. A continuació he fet una taula de valors i diferents gràfics per poder apreciar la diferència de costos en funció dels quilòmetres que ha de fer la via.

KMS	COST MAGLEV	COST AVE	DIFERÈNCIA	COST ENERG. MAGLEV	COST ENERG. AVE	ESTALVI ENERG.
10	€ 309.250.000,00	€ 214.400.000,00	€ 94.850.000,00	€ 24,86	€ 29,99	€ 5,14
20	€ 618.500.000,00	€ 428.800.000,00	€ 189.700.000,00	€ 49,71	€ 59,99	€ 10,27
30	€ 927.750.000,00	€ 643.200.000,00	€ 284.550.000,00	€ 74,57	€ 89,98	€ 15,41
40	€ 1.237.000.000,00	€ 857.600.000,00	€ 379.400.000,00	€ 99,43	€ 119,97	€ 20,54
50	€ 1.546.250.000,00	€ 1.072.000.000,00	€ 474.250.000,00	€ 124,28	€ 149,96	€ 25,68
60	€ 1.855.500.000,00	€ 1.286.400.000,00	€ 569.100.000,00	€ 149,14	€ 179,96	€ 30,81
70	€ 2.164.750.000,00	€ 1.500.800.000,00	€ 663.950.000,00	€ 174,00	€ 209,95	€ 35,95
80	€ 2.474.000.000,00	€ 1.715.200.000,00	€ 758.800.000,00	€ 198,85	€ 239,94	€ 41,09
90	€ 2.783.250.000,00	€ 1.929.600.000,00	€ 853.650.000,00	€ 223,71	€ 269,93	€ 46,22
100	€ 3.092.500.000,00	€ 2.144.000.000,00	€ 948.500.000,00	€ 248,57	€ 299,93	€ 51,36

*Fig. 53-Taula de valors on es pot apreciar el cost de les infraestructures (2a i 3a columna), la diferència entre les dues columnes anteriors (4a columna), el cost energètic de cada viatge (5a i 6a columna) i la diferència entre els dos costos energètics, que representa l'estalvi energètic, en €, de cada viatge (6a columna).*

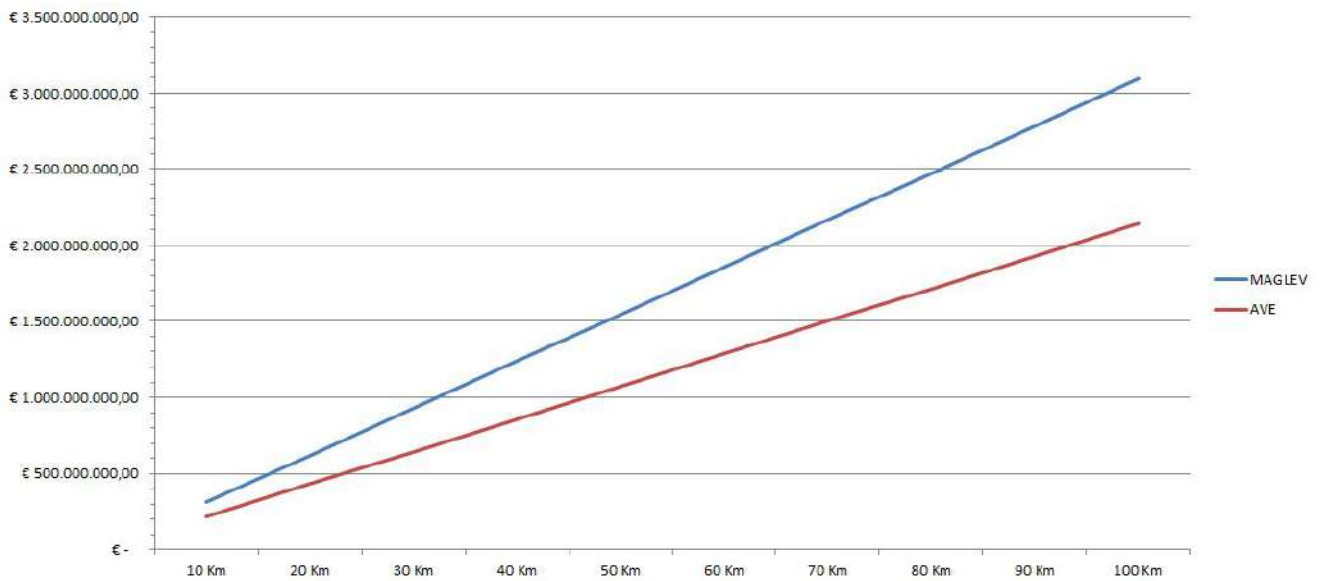


Fig. 54- Gràfic de línies del cost de les infraestructures tant de l'AVE com del Maglev, on es pot veure que la diferència de costos augmenta com més distància hagin de tenir les infraestructures.

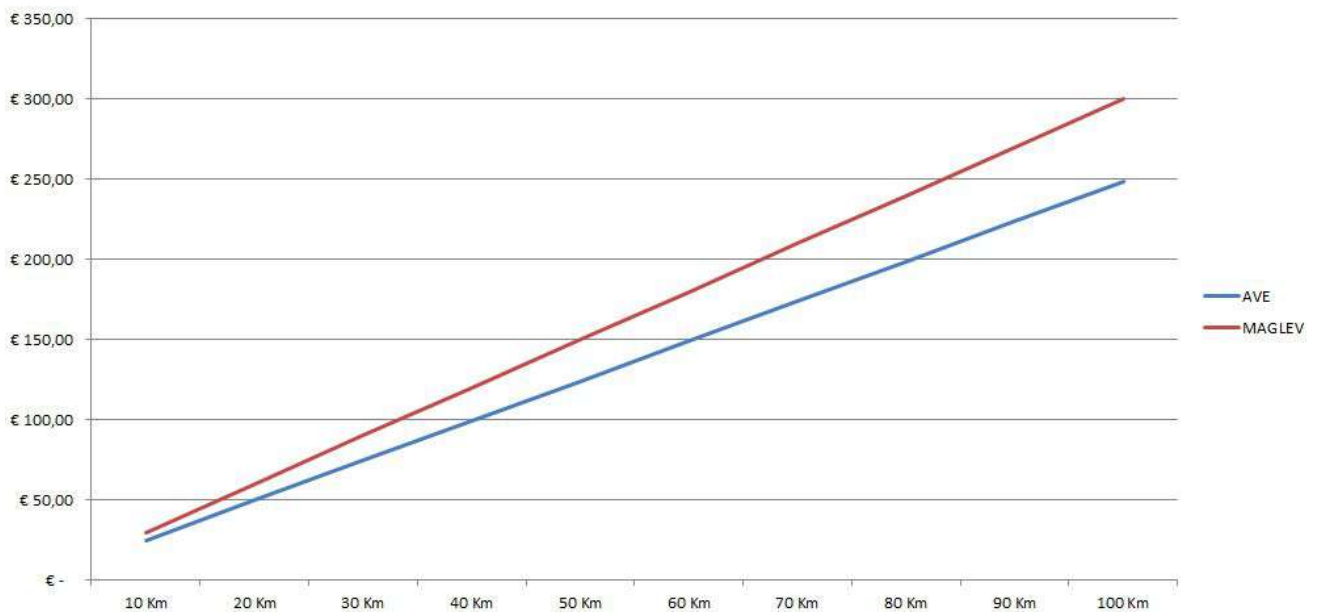


Fig. 55- Gràfic de línies on es pot apreciar el cost de l'energia utilitzada pel viatge en funció dels quilòmetres del viatge. Com més quilòmetres, major és la diferència entre les dues línies, per tant, major és l'estalvi energètic.

En aquest últim gràfic es pot apreciar que l'estalvi energètic és major com més distància hi hagi. I algú podria dir... <<si com major és la distància, major és l'estalvi, es podria fer un tren de molts quilòmetres i així l'estalvi energètic faria que fos rendible...>>. És cert que l'estalvi energètic és important, i és el que fa que es recuperi la inversió inicial, però el problema és que en comparació amb el cost de les infraestructures, un quilòmetre de recorregut és molt més car de construir que no pas l'estalvi energètic que proporcionaria, per tant, al final, com menys distància tingui la via, menys cost tindrà i més fàcil serà de recuperar la inversió.

Un altre dels motius que fan que el Maglev de Shanghai sigui econòmicament viable és el nombre de passatgers que l'utilitzen. Al 2004 la previsió de passatgers va ser de 10 milions, i es va preveure que aquesta dada augmentaria fins a 20 milions de passatgers anuals. No he aconseguit trobar dades del nombre de passatgers reals dels últims anys, sí que he trobat informació que deia que al 2006 es van superar els 25000 passatgers diaris de mitjana. Tot i així, sí que hi ha mitjans que apunten que el nombre de passatgers reals en l'actualitat és menor al que s'havia previst, i que les empreses que el van construir van perdre diners a l'inici, però que amb l'augment d'aquest nombre de persones que l'utilitzen, han aconseguit recaudar l'inversió inicial i començar a fer negoci, uns anys més tard del que es pensaven, però han aconseguit no perdre-hi diners i generar-ne ingressos.

#### 2.6.9- Síntesi i resposta a la hipòtesi

La conclusió a la que he arribat amb els càlculs és que econòmicament no seria viable fer un tren Maglev que enllacés l'Aeroport de Girona-Costa Brava amb l'Aeroport de Barcelona-El Prat. Les raons són les següents:

-**L'alt cost de les infraestructures** per poder fer-hi passar el Maglev: Com que el Maglev no pot circular per les vies convencionals, s'haurien de fer vies noves. Les vies del Maglev són especials i més costoses. A més, **les vies de l'AVE ja estan construïdes**, per tant, **seria una aberració construir totes les infraestructures per un tren Maglev si ja hi ha les vies per l'AVE**, que a sobre passen a uns 300m de l'aeroport, per tant és molt més lògic fer una connexió de 300 metres que no pas totes les infraestructures pel Maglev...

Un altre dels factors importants, és la distància, si és curta, la diferència del preu de les infraestructures és més petita. En canvi, els **119 quilòmetres del trajecte entre els dos aeroports** fan que la diferència del preu que s'hauria d'invertir canviï molt, i al ser tan gran, fa que sigui pràcticament irrecuperable.

-L'estalvi energètic és un factor que sí que va a favor del Maglev, però tot i així no és suficient per tal de que es recuperi la inversió en infraestructures.

-Si els viatges en comptes d'anar a una capacitat del 65% anés al 100% ajudaria a que fos més rendible, ja que el consum energètic disminuiria, però tot i així no canviaria gaire. Concretament, i fent els càlculs, el preu del bitllet baixaria 1€, per tant, no és suficient.

A continuació hi ha una taula amb el cost dels bitllets amb una suposada ocupació del 100%.

ANYS	INVERSIÓ DE L'ESTAT	VIATGERS	PREU BITLLET
10	3.038.207.412 €	9.500.000	320 €
20	3.045.764.824 €	19.000.000	160 €
30	3.053.322.236 €	28.500.000	107 €
40	3.060.879.648 €	38.000.000	81 €
50	3.068.437.061 €	47.500.000	65 €
60	3.075.994.473 €	57.000.000	54 €
70	3.083.551.885 €	66.500.000	46 €
80	3.091.109.297 €	76.000.000	41 €
90	3.098.666.709 €	85.500.000	36 €
100	3.106.224.121 €	95.000.000	33 €
110	3.113.781.533 €	104.500.000	30 €
120	3.121.338.945 €	114.000.000	27 €
130	3.128.896.357 €	123.500.000	25 €
140	3.136.453.769 €	133.000.000	24 €
150	3.144.011.182 €	142.500.000	22 €
160	3.151.568.594 €	152.000.000	21 €
170	3.159.126.006 €	161.500.000	20 €
180	3.166.683.418 €	171.000.000	19 €
190	3.174.240.830 €	180.500.000	18 €
200	3.181.798.242 €	190.000.000	17 €

Fig. 56- Taula de valors amb el cost dels bitllets amb una suposada ocupació del 100% per tal de recuperar la inversió al cap d' "x" anys.



Tots els càlculs que he fet es poden observar a l'Annex F.

**\*APUNT:** Als càlculs no he tingut en compte (ja que no he trobat les dades): el cost de les expropiacions de terres i compensacions pels afectats per la construcció de les infraestructures, el cost de la construcció d'una estació a l'Aeroport de Girona-Costa Brava i de les obres d'adaptació al tren Maglev a l'estació de trens de l'Aeroport de Barcelona-El Prat.

### **3.-Conclusions**

#### **3.1.-La meva opinió sobre el futur dels Maglev**

Per mi, els trens Maglev són un gran avenç tecnològic i els veig com un mitjà de transport àmpliament utilitzat en el futur.

En un món on cada dia és més important el temps, i poder fer les coses cada vegada amb menys esforç, els trens Maglev, amb la seva increïble velocitat que pràcticament dobla la dels Trens d'Alta Velocitat convencionals, redueixen considerablement el temps que s'utilitza en els desplaçaments, sobretot si aquests són llargs.

A més de ser més ràpids, consumeixen menys, ja que el seu alt rendiment és molt superior respecte a la resta de vehicles, tal i com he comprovat amb les comparatives a la part pràctica.

Per últim, els trens Maglev contaminen menys en comparació amb altres transports. Aquest punt el considero molt important, ja que, actualment, i per sort, ens hem adonat de que la contaminació està augmentant considerablement, i que hem de fer-hi alguna cosa si no volem escalfament global. Per això és molt important observar les emissions de CO2 i intentar contaminar el mínim possible.

#### **3.2.- Aprenentatge personal**

Una de les coses que més m'han fet aprendre, tal i com ja ho he comentat a l'apartat 2.5.8, és que he après molt sobre els errors i problemes que m'han sorgit durant el TdR.

Molta gent pensa que els problemes són dolents, però també són una oportunitat. Evidentment que quan has dedicat hores i esforç en fer una peça nova, la proves, i no funciona, és molt desmotivador i a ningú li agrada. Però amb aquest treball he après:

-A veure que els projectes quasi mai surten tal i com un espera, sempre sorgeixen problemes. Però l'important és solucionar-los i sortir endavant. Una bona manera és la d'assaig-error, ja que sempre et permet tirar enrere si veus que no vas pel bon camí.

-Aquests problemes m'han fet aprendre molt, ja que hi ha materials i algunes eines que he fet servir pel meu treball que no havia vist mai. Per exemple, no havia sentit a parlar mai sobre la fusta de balsa i la seva lleugeresa i facilitat de treballar. Tampoc havia fet servir mai un peu de rei per mesurar (i l'he hagut de fer servir per medir el tren i els estabilitzadors laterals, per tal de que encaixessin però deixant una mica de marge)...

-He après a que quan hi ha un problema, s'han de buscar diverses solucions, ja que d'aquesta manera tens més variabilitat per poder escollir la que es farà servir finalment. Alhora això permet veure els avantatges i inconvenients de cada una, això fa que puguis escollir la que més t'interessi.

-I finalment, estic convençut de que si no haguessin sorgit els problemes que he tingut, el resultat final no seria com el que he tingut, ja que han fet que m'hagués de "trencar el cap", he hagut de buscar solucions que mai hauria aplicat al disseny inicial, ni m'havien passat pel cap quan estava dissenyant el projecte.

## Annex A: Càlculs de consums

- COTXE DIESEL

Consum: 5,7 l/100 km  
 $P_c = 35,76 \text{ MJ/l}$   
 $E_T = 5,7 \cdot 35,76 \text{ MJ/l} = 203,832 \text{ MJ}$   
CAPACITAT: 5 passatgers  
 $E_{T/p} = 203,832 / 5 = 40,7664 \text{ MJ/100km/passatger}$

- COTXE GASOLINA

Consum: 7,6 l/100 km  
 $P_c = 32,18 \text{ MJ/l}$   
 $E_T = 7,6 \cdot 32,18 = 244,568 \text{ MJ/100km}$   
CAPACITAT = 5 passatgers  
 $E_{T/p} = 244,568 / 5 = 48,9136 \text{ MJ/100km/passatger}$

- COTXE ELÈCTRIC

1 kWh = 3,6 MJ  
Consum: 18,5 kWh/100 km  
 $E_T = 18,5 \cdot 3,6 = 66,6 \text{ MJ/100km}$   
CAPACITAT: 5 passatgers  
 $E_{T/p} = 66,6 / 5 = 13,32 \text{ MJ/100km/passatger}$

Fig. 57 - Pàgina on he fet els càlculs de consum d'alguns vehicles.

- MOTO

Consum: 2,48 l/100km

$P_c = 32,18 \text{ MJ/l}$

$$E_T = 2,48 \cdot 32,18 = 79,8064 \text{ MJ/100km}$$

CAPACITAT: 2 persones

$$E_{T/p} = 79,8064 / 2 = 39,9032 \text{ MJ/100km/passatger}$$

- AUTOBUS

Consum: 0,35 l/km = 35 l/100km

$P_c = 35,76 \text{ MJ/l}$

$$E_T = 35,76 \cdot 35 = 1.251,6 \text{ MJ/100km}$$

CAPACITAT: 50 passatgers

$$E_{T/p} = 1.251,6 / 50 = 25,032 \text{ MJ/100km/passatger}$$

- TAU

Consum: 15345 kWh per 614 km

1 kWh = 3,6 MJ

$$E_T = 15345 \cdot 3,6 = 55.242 \text{ MJ}$$

$$100 \text{ km} \cdot \frac{55.242 \text{ MJ}}{614 \text{ km}} = 8.997,068404 \text{ MJ}$$

$$E_T = 8.997,068404 \text{ MJ/100km}$$

CAPACITAT: 400 PASSATGERS

$$E_{T/p} = 8.997,068404 / 400 = 22,49267101 \text{ MJ/100km/passatger}$$

Fig. 58- Pàgina on he fet els càlculs de consum d'uns altres vehicles.

- MAGLEV

CONSUM 0,4 MJ/milla/passatger

CAPACITAT 300 passatgers

$$1 \text{ MJ/milla} = 0,621371192 \text{ MJ/km}$$

$$E_T = 0,4 \cdot 300 \cdot 0,621371192 = 74,56 \text{ MJ/km}$$

↓ x100

$$7.456,454304 \text{ MJ/100km}$$

$$E_{T/P} = 7.456,454304 / 300 = 24,85484768 \text{ MJ/100km/passatger}$$

- Avió

19 l/milla de Jet A1

⇓

11,8060528 l/km

→  $P_c = 42,8 \text{ MJ/kg}$

$\rho = 0,804 \text{ kg/l}$

$$m = v \cdot \rho = 11,8060528 \cdot 0,804 = 9,492066451 \text{ kg}$$

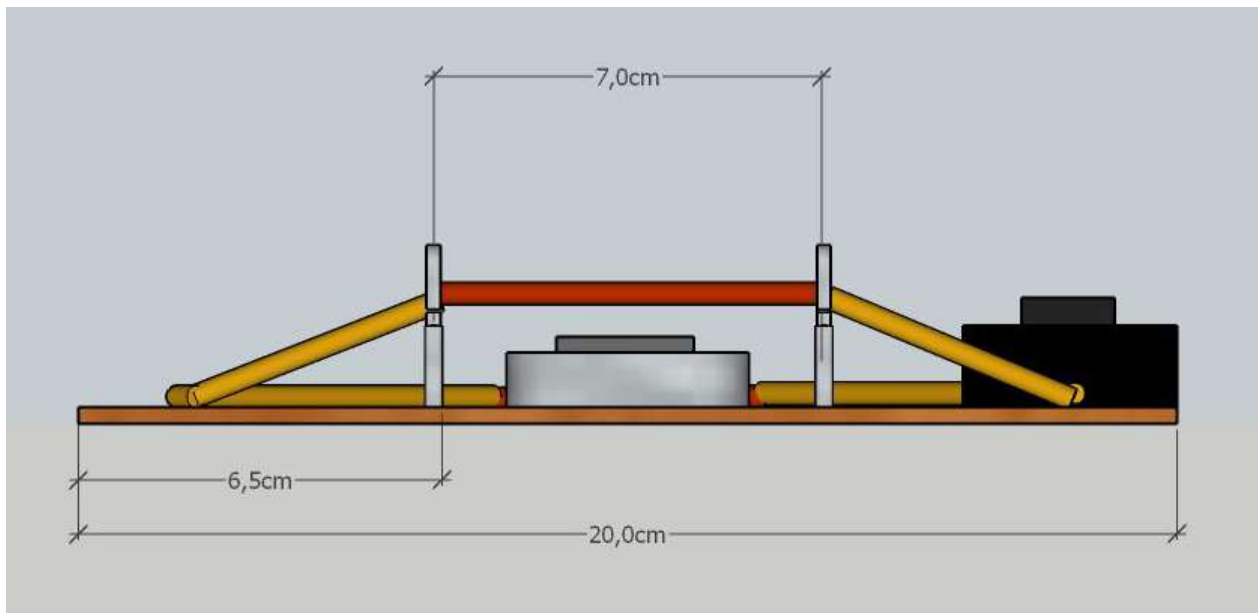
$$E_T = 100 \cdot 9,492066451 \cdot 42,8 = 40.626,04441 \text{ MJ/100km}$$

CAPACITAT: 353 passatgers

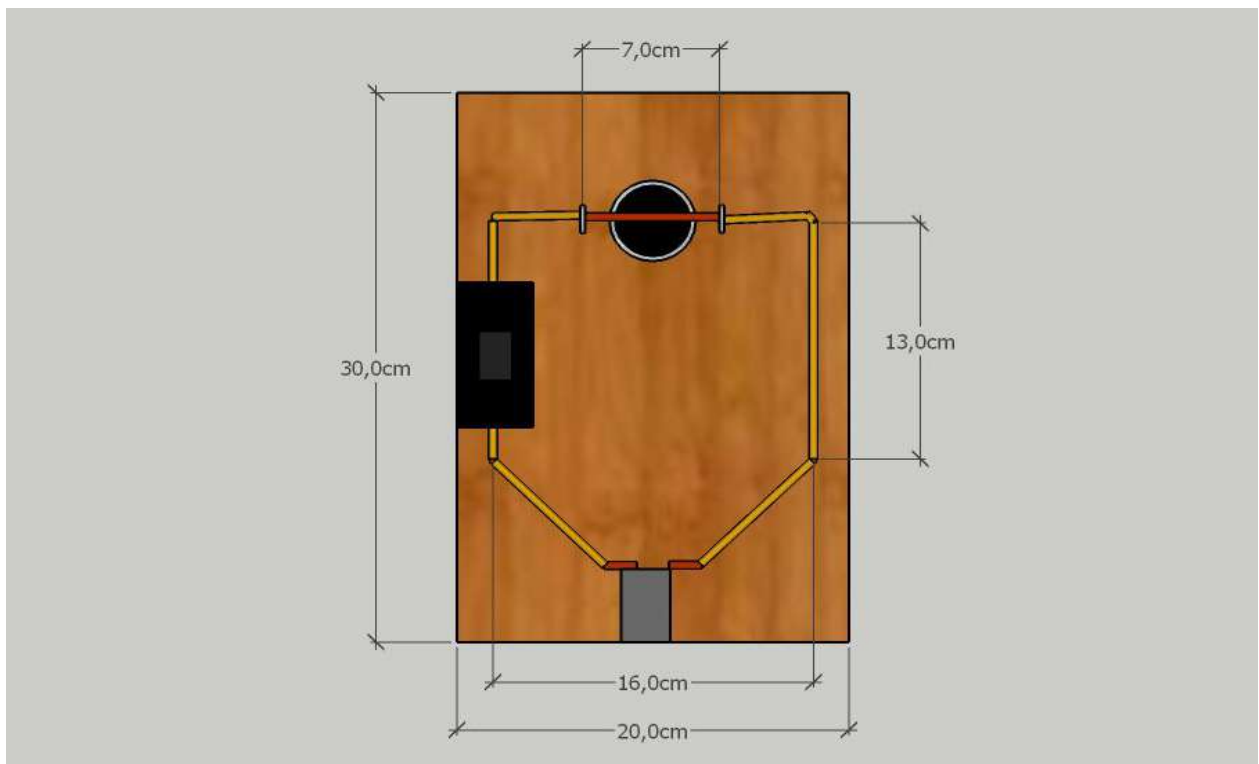
$$E_{T/P} = 40.626,04441 / 353 = 115,0879445 \text{ MJ/100km/passatger}$$

Fig. 59- Pàgina on he fet els darrers càlculs de consum.

**Annex B: Plànols de la pràctica d'Ørsted**



*Fig. 60 - Alçat de la pràctica d'Ørsted*



*Fig. 61 - Planta de la pràctica d'Ørsted*

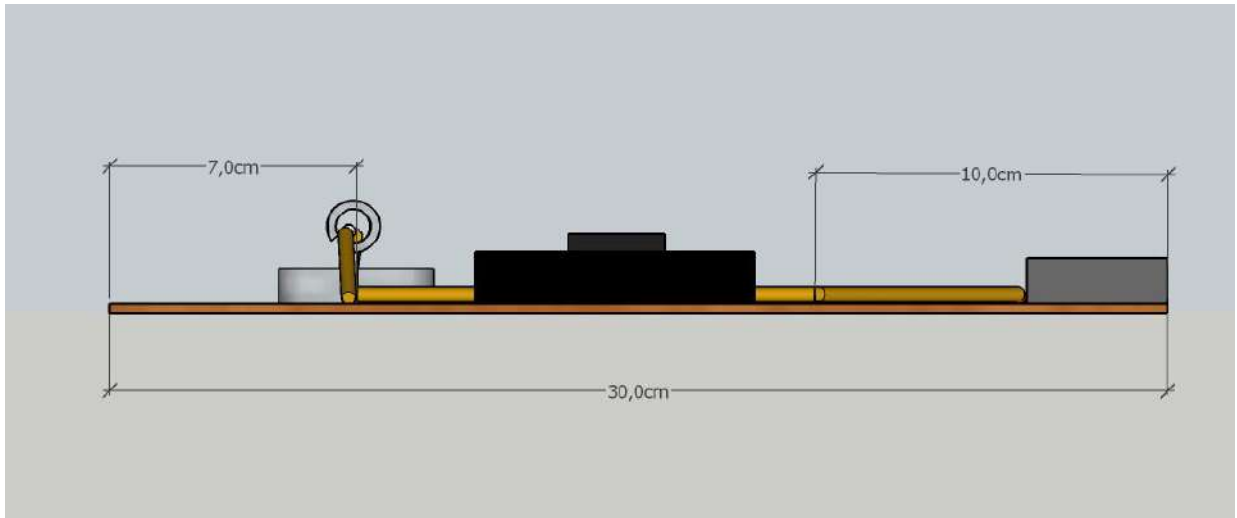


Fig. 62- Perfil de la pràctica d'Ørsted



**Annex C: Croquis de la pràctica de l'electroimant**

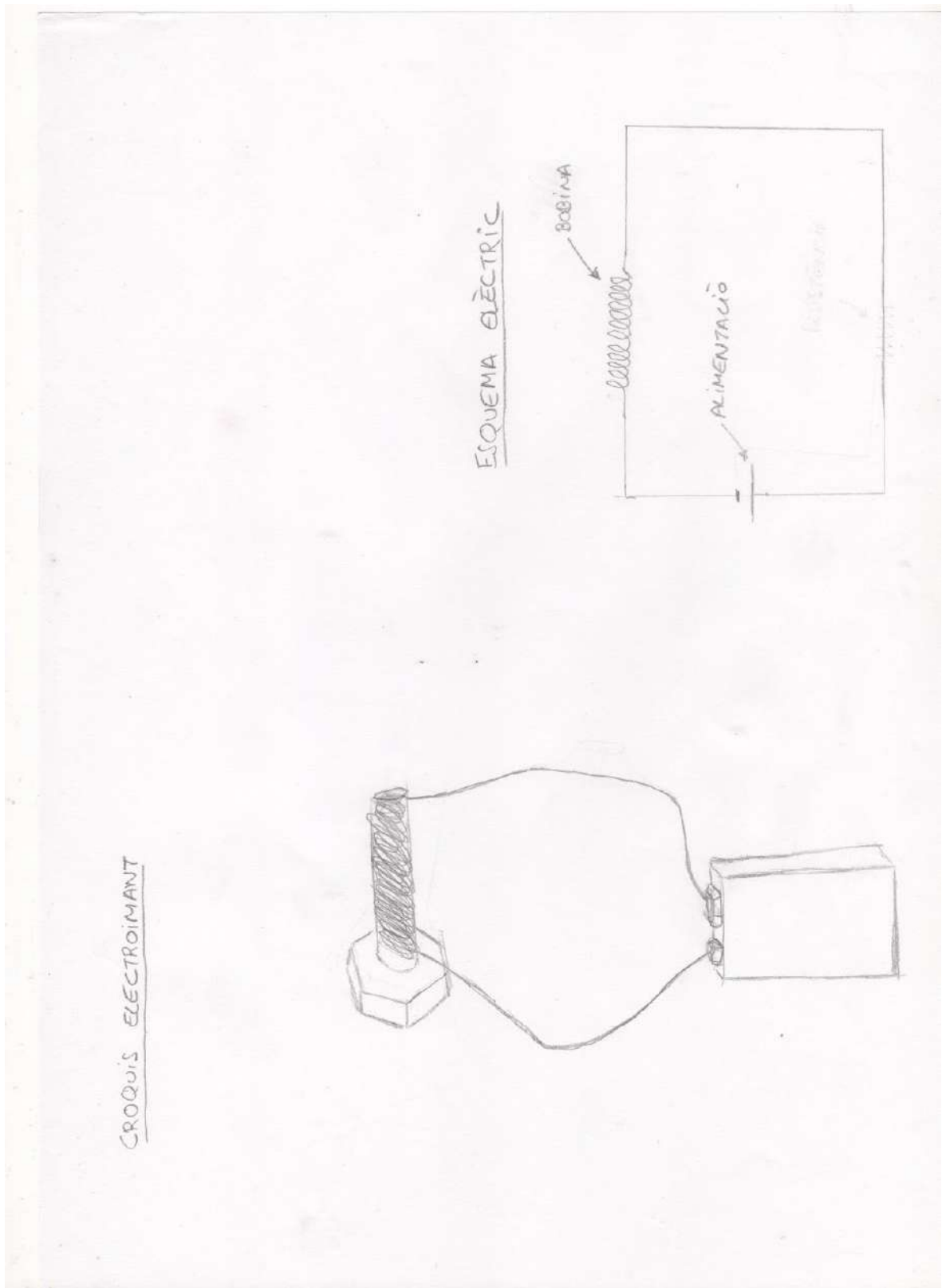
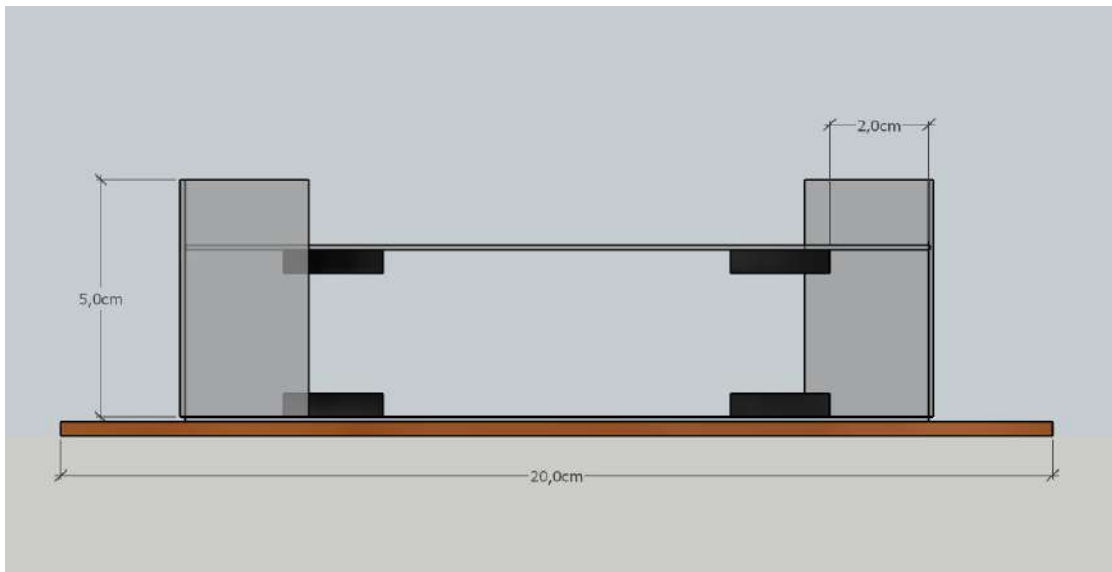
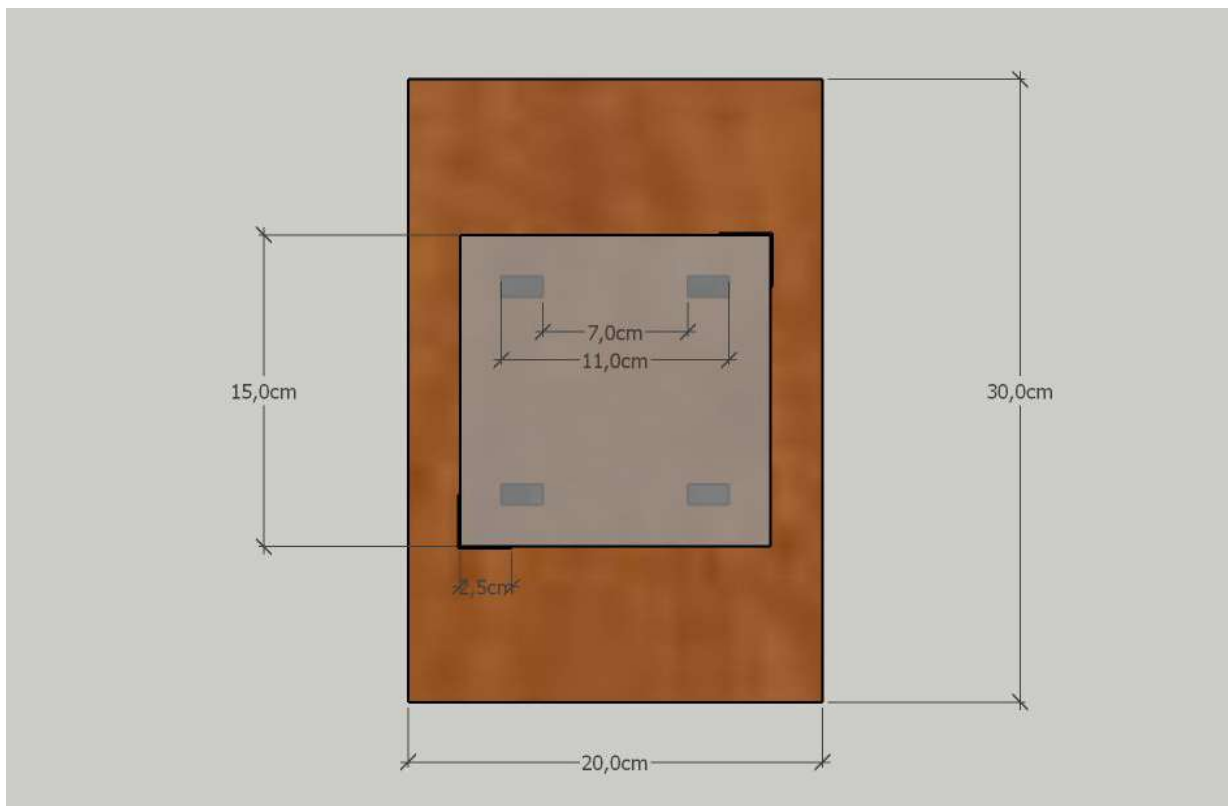


Fig. 63- Croquis de la pràctica de l'electroimant i esquema elèctric

## Annex D: Plànols de l'experiment de levitació



*Fig. 64- Alçat de la pràctica de levitació*



*Fig. 65- Planta de la pràctica de levitació.*

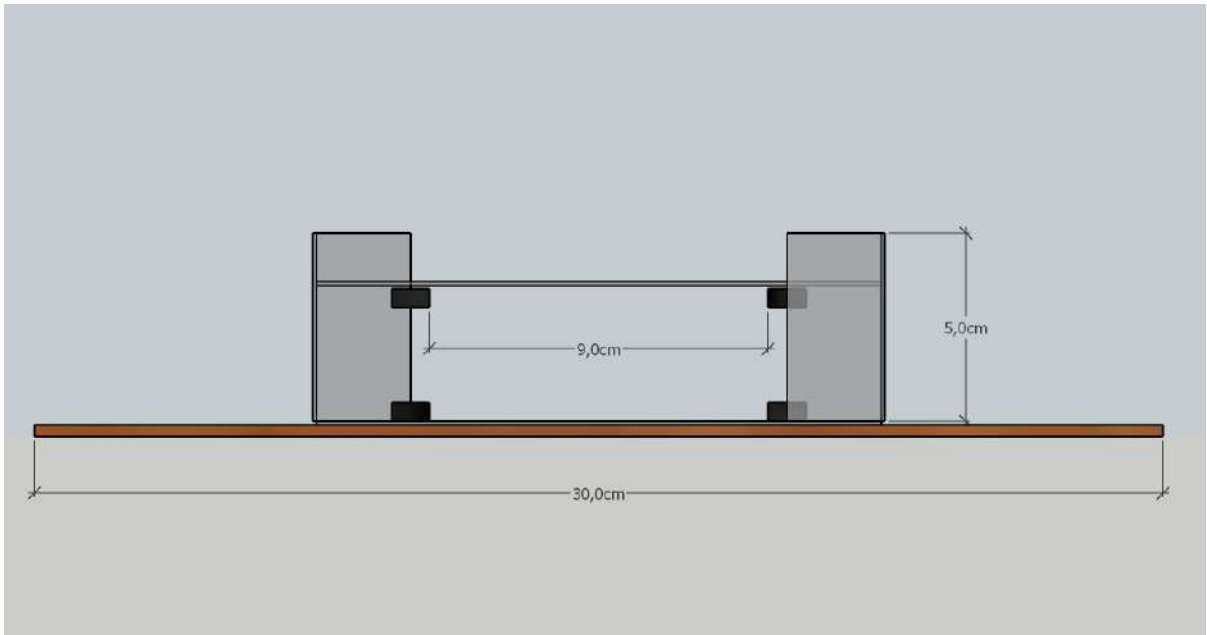
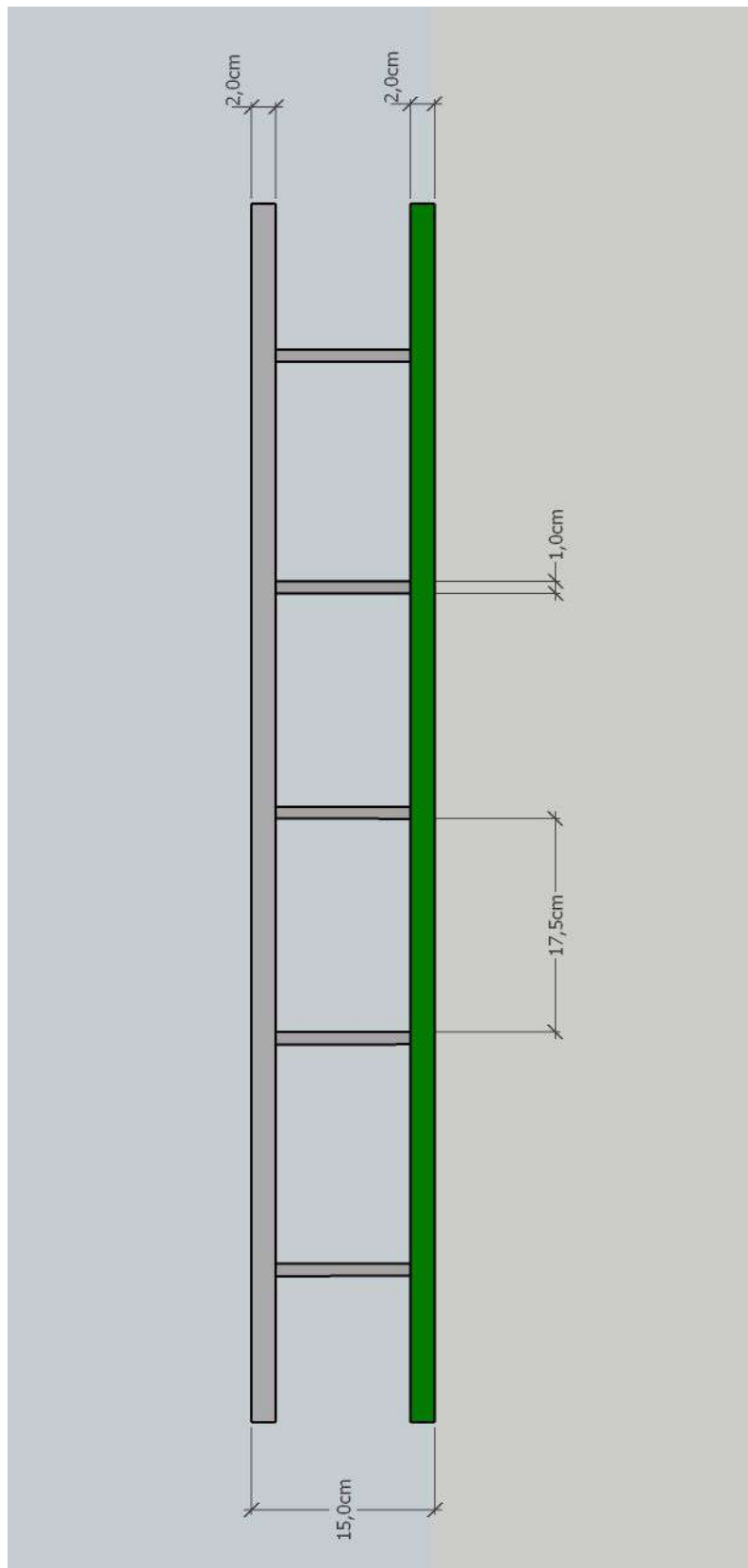


Fig. 66- Perfil de la pràctica de levitació

**Annex E: Plànols del model de tren Maglev**



*Fig. 67- Alçat de la via del tren*

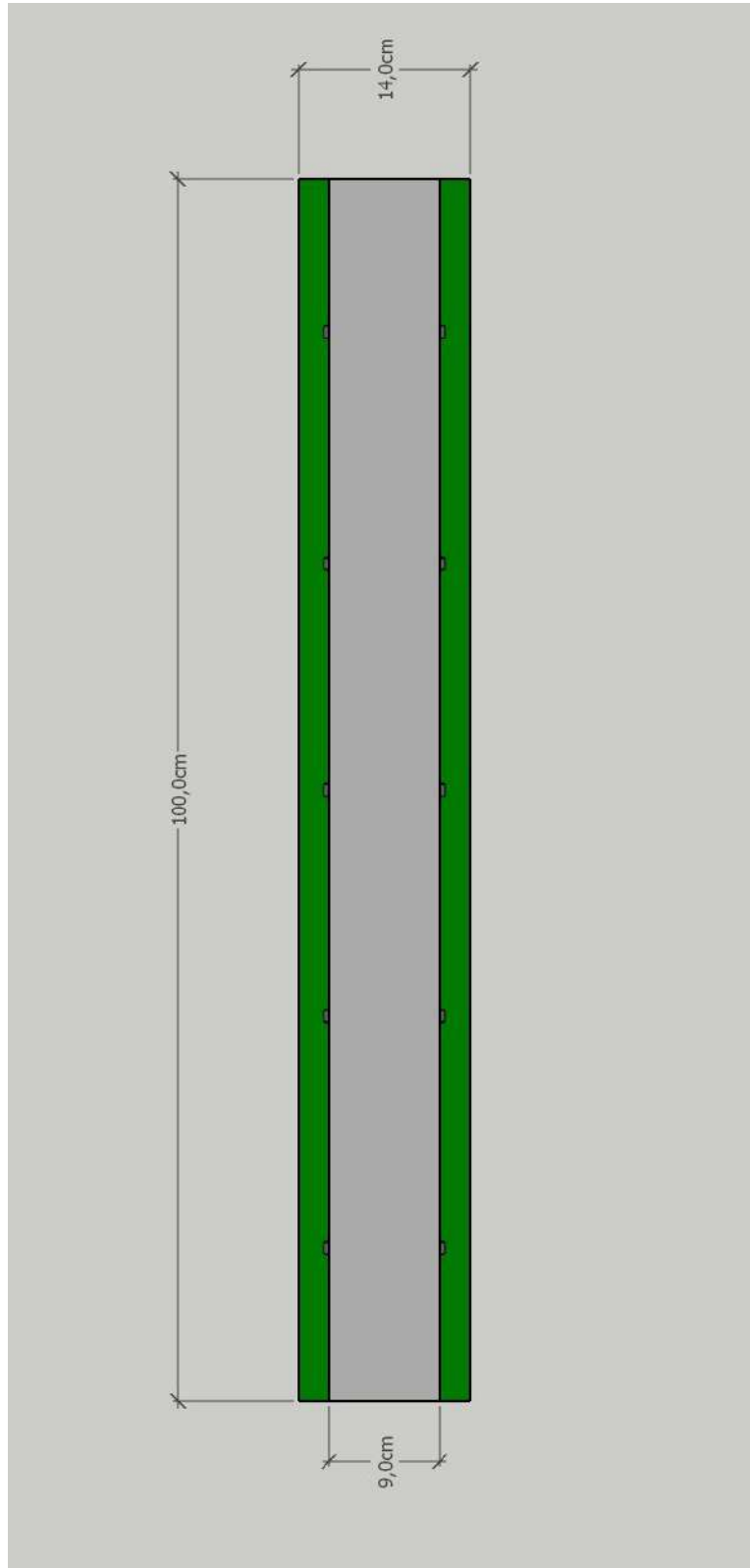


Fig. 68- Planta de la vía del tren

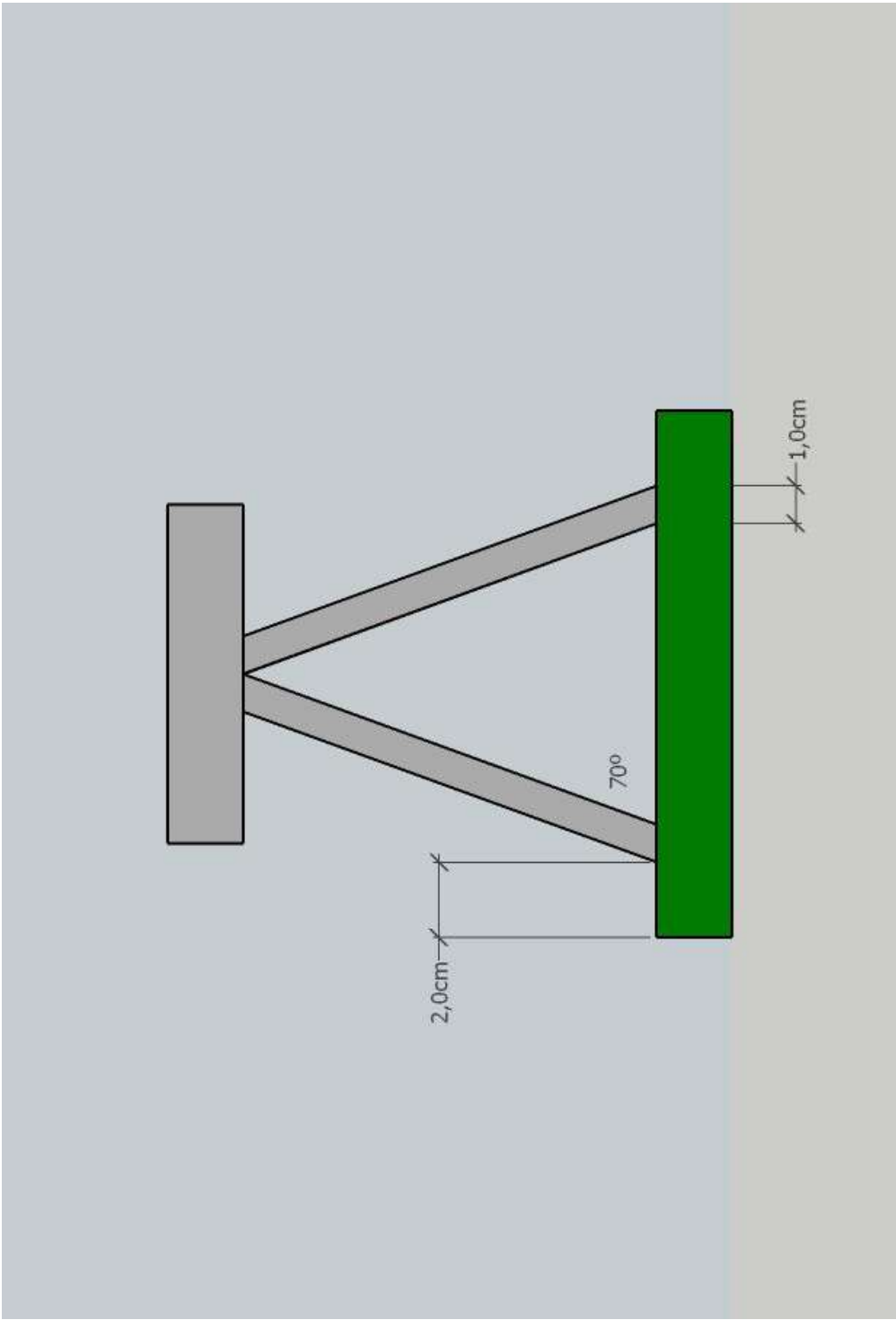


Fig. 69.- Perfil de la via del tren

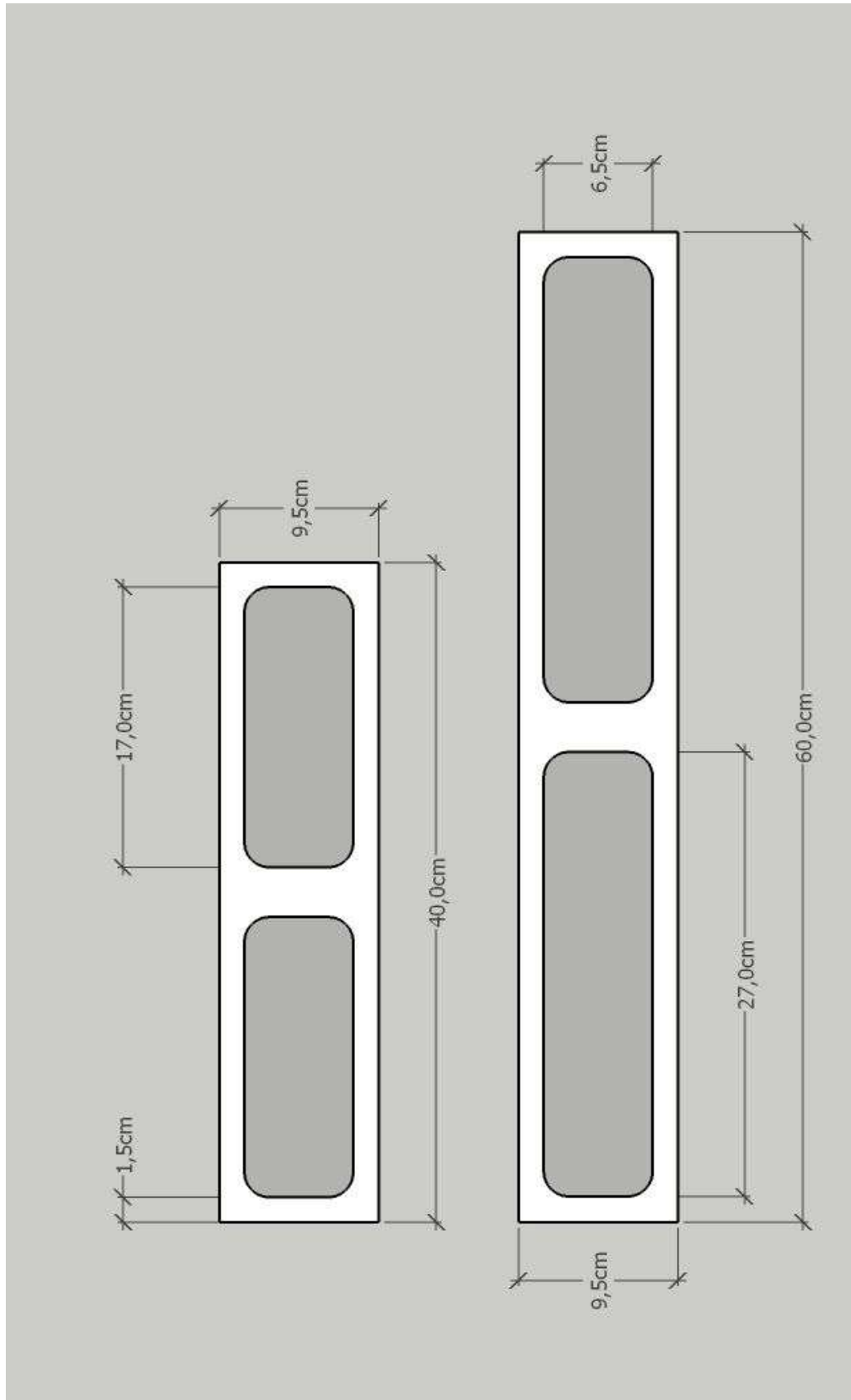


Fig.70 -Plànols dels estabilitzadors laterals.

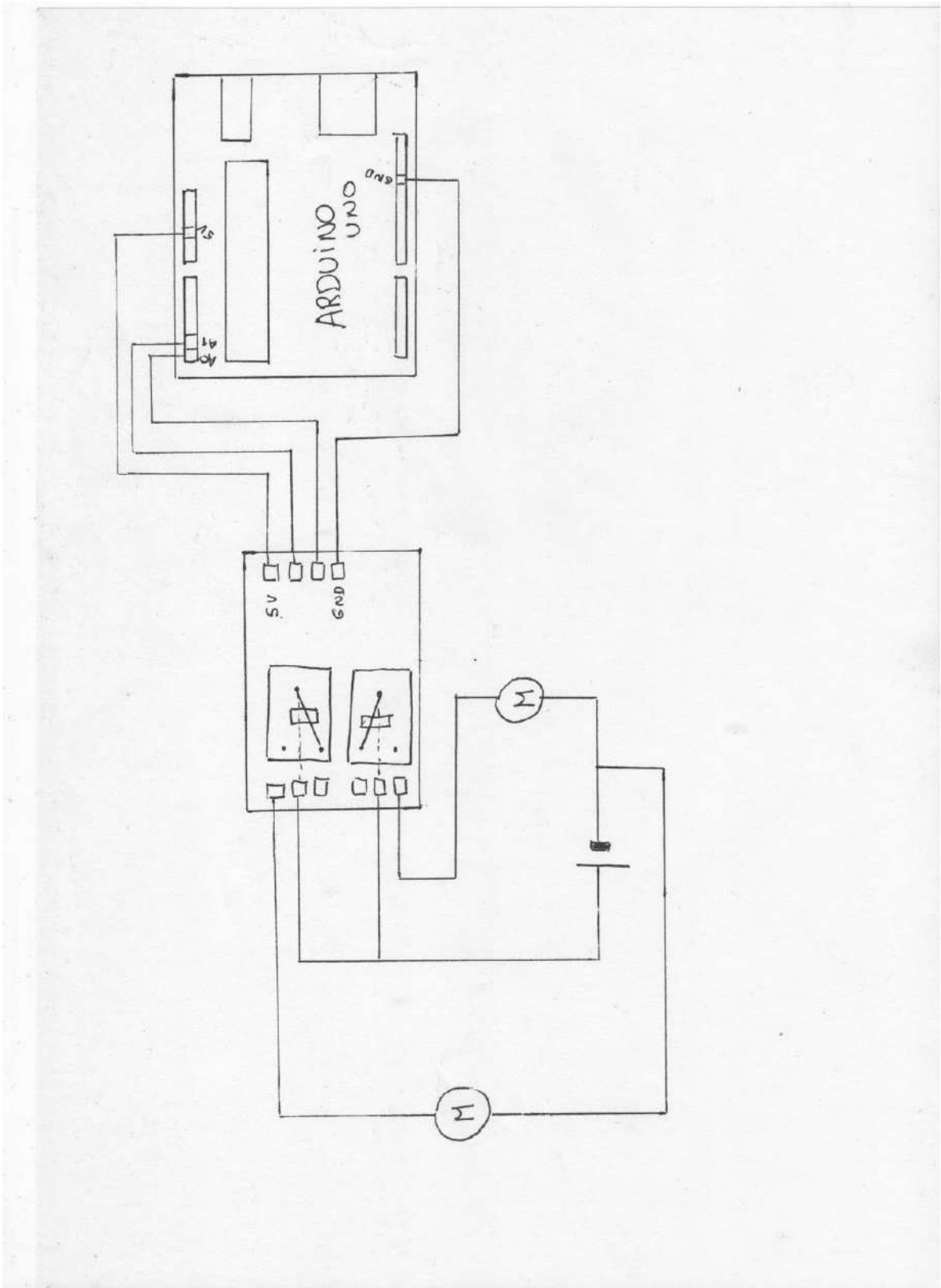


Fig. 71- Esquema elèctric de la instal·lació amb els 2 motors, la placa Arduino i la placa controladora de motors.



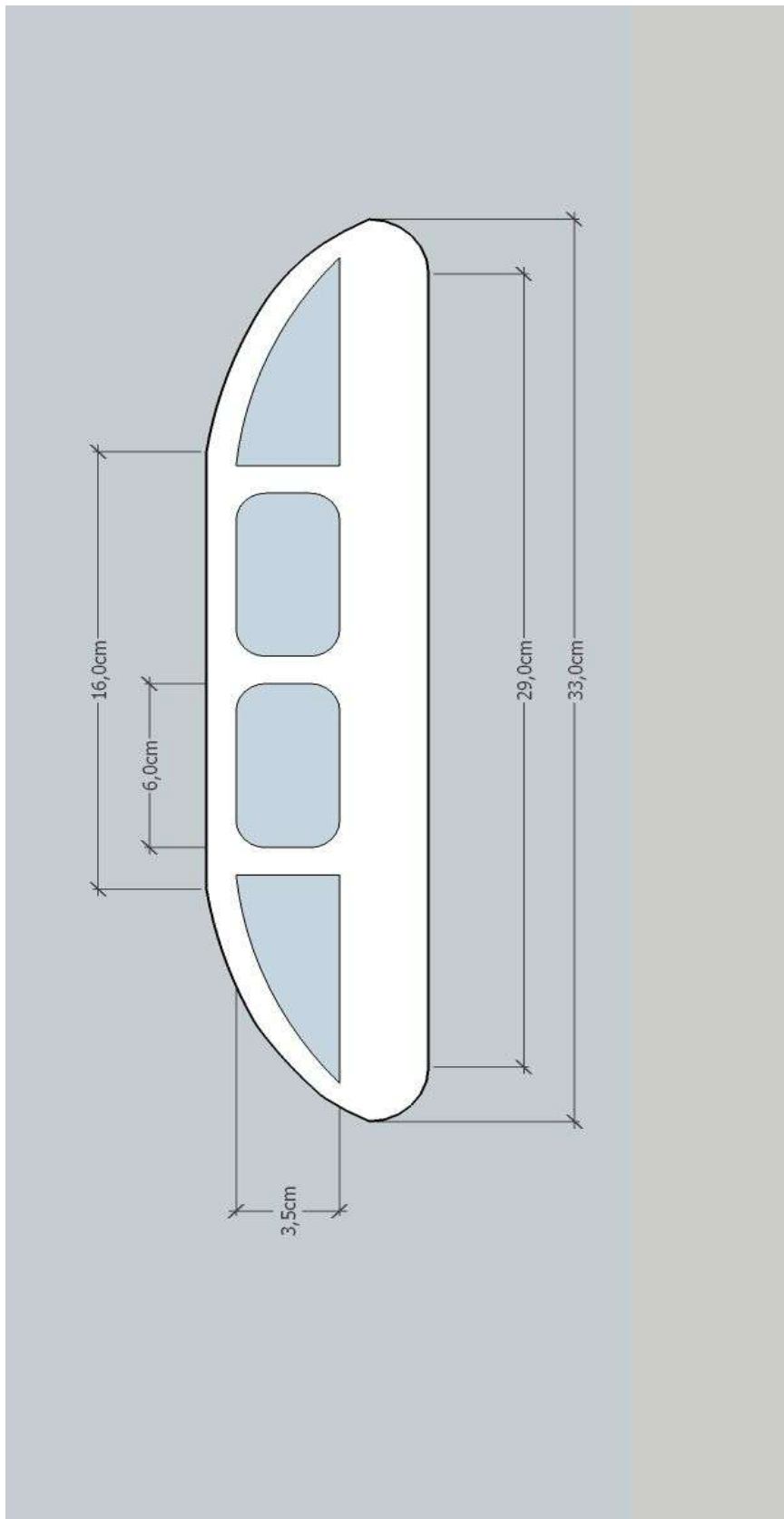
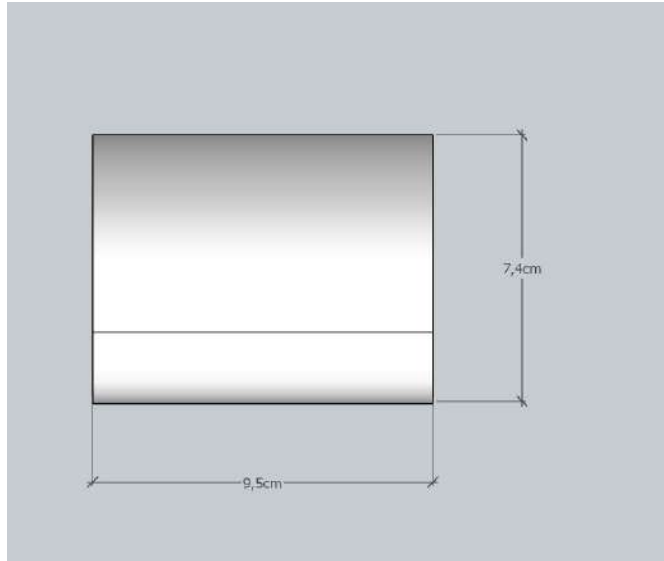


Fig. 72- Plànol del tren



*Fig. 73- Perfil del tren*

**Annex F: Càlculs del tren Maglev entre Girona i Barcelona**

TEMPS:

119 Km

17 min →  $\frac{60 \text{ min}}{17 \text{ min}} = 3,5294$

$119 \cdot 3,5294 = 420 \text{ km/h}$

COST INFRAESTRUCTURA:

$30,925,000 \text{ € / Km} \cdot 119 \text{ km} = 3,680,075,000 \text{ €}$

CONSUM AÈRIU:

AVE

$8,997,068404 \text{ MJ / 100km} \rightarrow 96 \text{ km} \rightarrow 8,637,185668 \text{ MJ / viatge}$

$\downarrow \times 0,2778$

$2,399,410,179 \text{ kWh / viatge}$

$\downarrow \times 0,12 \text{ €}$

$287,9292214 \text{ € / viatge}$

MAGLEV

$7,456,454304 \text{ MJ / 100km} \rightarrow 119 \text{ km} \rightarrow 8,873,180622 \text{ MJ / viatge}$

$\downarrow \times 0,2778$

$2,464,969577 \text{ kWh / viatge}$

$\downarrow \times 0,12 \text{ €}$

$295,7963492 \text{ € / viatge}$

CONCLUSIÓ

$287,929 \text{ €} < 295,796 \text{ €}$

→ NO ÉS RENTABLE PERQUÈ NO ET POT RECUPERAR LA INVERSIO.

Fig. 74- Pàgina, on he fet els càlculs del tren GIR, BCN.

RECORREGUT 96 km

COST INFRASTRUCTURES AVE

$$21.440.000 \text{ € / km} \times 96 \text{ km} = \underline{2.058.240.000 \text{ €}}$$

MAGCEW:

$$30.925.000 \text{ € / km} \times 96 \text{ km} = \underline{2.968.000.000 \text{ €}}$$

COST ENERGÈTIC

AVE

el mateix que abans:

$$8.637,185668 \text{ MJ}$$

$$2.399,410179 \text{ kWh}$$

$$287,9292214 \text{ €}$$

MAGCEW

$$7.456,454304 \text{ MJ / km} \times 96 \text{ km} = 7.158,196132 \text{ MJ}$$

$$\downarrow 0,278$$

$$1.988,546885 \text{ kWh}$$

$$\downarrow 0,12$$

$$238,6256263 \text{ €}$$

ESTADI ENERGÈTIC

$$8.637,185668 - 7.456,454304 = 1.180,731364 \text{ MJ}$$

$$2.399,410179 - 1.988,546885 = 410,863294 \text{ kWh}$$

$$287,9292214 - 238,6256263 = 49,3035951 \text{ €}$$

Fig. 75- Pàgina on he fet els càlculs.

## **Bibliografia i Referències**

### **Referències de les imatges**

\*Totes les imatges que no tenen una referència al seu peu d'imatge, són fetes per mi, per tant, no hi cito l'autor de manera directa amb una referència, sinó que directament no hi poso cap autor ja que l'autoria és meva.

Imatge de la portada extreta de: <https://www.scmp.com/news/china/article/1110152/shanghais-maglev-passenger-traffic-lower-expected>

[1] Imatge extreta de:

[https://www.google.com/url?q=https://ca.wikipedia.org/wiki/Experiment\\_d%2527%25C3%2598rsted%23/media/File:Oersted2.png&sa=D&ust=1533716922972000&usg=AFQjCNH-LtU9PQtLDOjHbBkGBM8UYRiGQ](https://www.google.com/url?q=https://ca.wikipedia.org/wiki/Experiment_d%2527%25C3%2598rsted%23/media/File:Oersted2.png&sa=D&ust=1533716922972000&usg=AFQjCNH-LtU9PQtLDOjHbBkGBM8UYRiGQ)

[2] Imatge extreta de: <http://www.cerrajeria-cerrajero.com/blog/electroiman>

[3] Imatge extreta de: <http://electronicaanalog.blogspot.com/2011/12/reles.html>

[4] Imatge extreta de:

<https://www.google.com/url?q=http://saeed-salas.blogspot.com/2010/09/que-es-un-espectro-magnetico.html&sa=D&ust=1537372716496000&usg=AFQjCNFhHa1IH1UWSu1HAA9mUnQSw882ug>

[5] Imatge extreta de:

<https://www.google.com/url?q=https://www.kickstarter.com/projects/jfehr/magnetic-levitation-sculpture-0&sa=D&ust=1537372716498000&usg=AFQjCNEEfUcv8yZxUwchzj8lg6kYRVHz6w>

[6] Imatge extreta de:

<https://www.google.com/url?q=https://www.monografias.com/trabajos82/materiales-superconductores/materiales-superconductores.shtml&sa=D&ust=1537372716501000&usg=AFQjCNHaqLglZhiREDKuBB0slfpV5jogGA>

[7] Imatge extreta de:

[http://www.nexans.es/eservice/Spain-es\\_ES/navigate\\_235535/Transrapid\\_Shanghai.html](http://www.nexans.es/eservice/Spain-es_ES/navigate_235535/Transrapid_Shanghai.html)

- [8] Imatge extreta de: <https://patents.google.com/patent/US3858521>
- [9] Imatge extreta de: <http://www.gleismann.de/16.schukarton/t/transrapid05.jpg>
- [10] Imatge extreta de:  
<https://phys.org/news/2015-04-kmh-japan-maglev-notches-world.html>
- [11] Imatge extreta de: <http://cienciafisiscaytecnologia.blogspot.com/2015/>
- [12] Imatge extreta de: [http://www.hk-phy.org/articles/maglev/maglev\\_e.html](http://www.hk-phy.org/articles/maglev/maglev_e.html)
- [13] Imatge extreta de: <http://trenmaglevq.blogspot.com/2015/03/>
- [14] Imatge extreta de:  
[http://tpe.maglev.free.fr/TPE.MAGLEV/Blog/Entrees/2013/2/23\\_avantages\\_et\\_inconvenients\\_files/shapeimage\\_1.png](http://tpe.maglev.free.fr/TPE.MAGLEV/Blog/Entrees/2013/2/23_avantages_et_inconvenients_files/shapeimage_1.png)
- [15] Imatge extreta de:  
<https://ajjafh.wordpress.com/2012/09/13/the-fastest-train-in-the-world/>
- [16] Imatge extreta de:  
<http://ies.camilojosecela.climantica.org/2012/02/05/inductrack-levitacion-magnetica-par-a-el-transporte/>
- [17] Imatge extreta d'una captura de pantalla d'un video de Youtube. Enllaç del video:  
<https://www.youtube.com/watch?v=COFN7nVHpD8>
- [18] Imatge extreta de:  
[http://trenmaglevq.blogspot.com/2015/03/4-mecanismo-de-frenada\\_14.html](http://trenmaglevq.blogspot.com/2015/03/4-mecanismo-de-frenada_14.html)
- [19] Imatge que ha penjat un usuari a Twitter. Extreta del següent "Tweet":  
[https://twitter.com/ltdexp\\_isokaze/status/865775211743813633](https://twitter.com/ltdexp_isokaze/status/865775211743813633)
- [20] Imatge extreta de:  
[https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/osnabrueck\\_emsland/Die-Strecke-zurueckbauen-Der-Streit-geht-weiter-,transrapid426.html](https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/osnabrueck_emsland/Die-Strecke-zurueckbauen-Der-Streit-geht-weiter-,transrapid426.html)

[21] Link imatge:

<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0167610508000202-gr16.jpg>

Que prové del treball:

J.P. HOWELL, *Aerodynamic response of maglev train models to a crosswind gust*. Juny 1986. *ScienceDirect*. 03/04/2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167610586900851#aep-abstract-id2>

[22] Imatge extreta de: <https://tuvalum.com/blog/cuadro-bicicleta-grafeno-350-gramos/>

[23] Imatge extreta de:

<https://www.thenational.ae/business/technology/exclusive-virgin-hyperloop-one-to-begin-building-first-transport-system-by-2019-ceo-says-1.671782>

[24] Captura de pantalla de:

<http://www.ccma.cat/324/lestudi-sobre-el-futur-de-laeroport-de-girona-conclou-que-el-baixador-del-tav-es-clau-per-ser-complementari-al-prat/noticia/2795946/>

[25] Captura de pantalla de:

<https://www.diaridegirona.cat/comarques/2018/05/27/projecte-absurd-dur-tav-vilobi/915992.html>

[26] Imatge extreta de:

<https://www.diaridetarragona.com/costa/Un-Euromed-masacra-un-rebano-de-ovejas-en-Mont-roig-20180102-0026.html>

### **Bibliografia/Webgrafia:**

*Magnetisme*. 23/05/2018. Viquipèdia. <https://ca.m.wikipedia.org/wiki/Magnetisme>. 27/05/2018.

*Experiment d'Ørsted*. 21/02/2018. Viquipèdia. [https://ca.wikipedia.org/wiki/Experiment\\_d%27%C3%98rsted](https://ca.wikipedia.org/wiki/Experiment_d%27%C3%98rsted). 24/07/2018.

Salas, Saeed. *¿Que es un espectro magnético?*. 14/09/2010. Blogspot. <http://saeed-salas.blogspot.com/2010/09/que-es-un-espectro-magnetico.html>. 24/07/2018.

*Usos y aplicaciones del electroimán. "Todos los días vivimos rodeados de electroimanes, sin ser conscientes"*. 18/12/2017. Imagnet Shop. <https://www.imagnetshop.com/es/aplicaciones-de-los-imanos/usos-y-aplicaciones-del-electroiman-todos-los-dias-vivimos-rodeados-de-electroimanes-sin-ser-conscientes-b13.html>. 14/08/2018.

*Magnet and compass interactive simulation*. Phet Simulations. <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/magnet-and-compass>. 20/06/2018.

*Levitació*. 01/06/2018. Viquipèdia. <https://ca.m.wikipedia.org/wiki/Levitació>. 4/8/2018.

ArnauBot. *Superconductivitat*. 27/12/2017. Viquipèdia, <https://ca.m.wikipedia.org/wiki/Superconductivitat>. 20/06/2018.

*Superconductor Information for the Beginner*. <http://www.superconductors.org>. 20/06/2018.

What is a Superconductor?.[http://ffden-2.phys.uaf.edu/113.web.stuff/travis/what\\_is.html](http://ffden-2.phys.uaf.edu/113.web.stuff/travis/what_is.html). 20/06/2018

Electro 111306. *Tecnologías de levitación: EMS y EDS*. 29/03/2016., <http://electro111306.blogspot.es/1459276006/tecnologias-de-levitacion-ems-y-eds/>. 20/08/2018

*Tren Maglev*. 04/06/2018 Viquipèdia, [https://ca.wikipedia.org/wiki/Tren\\_Maglev](https://ca.wikipedia.org/wiki/Tren_Maglev). 15/04/2018.

*China da a conocer el estudio de impacto ambiental del tren magnético entre Shanghai y Hanzghou*. 14/01/2008. Via Libre. <https://www.vialibre-ffe.com/noticias.asp?not=1296>. 15/04/2018

*Transrapid*. 27/05/2018. Viquipèdia. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Transrapid>. 16/06/2018.

*40 ejemplos de materiales superconductores*. 2017. Enciclopedia de Ejemplos. <https://www.ejemplos.co/40-ejemplos-de-materiales-superconductores/>. 20/06/2018



*Electroimán*. 19/02/2018. Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Electroim%C3%A1n>. 14/04/2018

*¿Qué es y dónde puedo usar un electroimán?*. 08/01/2014. Yale Mexico. <https://yalemexico.wordpress.com/2014/01/08/que-es-y-donde-puedo-usar-un-electroi-man/>. 14/08/2018

*¿QUÉ ES UN TREN DE LEVITACIÓN MAGNÉTICA?*. Industri. <http://www.industri-sl.com/blog/tren-levitacion-magnetica-maglev>. 14/04/2018

*Tren de levitación magnética*. 08/10/2011. Físico Matemático 2011. <http://fisicomatematico2011.blogspot.com/2011/10/tren-de-levitacion-magnetica.html>. 14/04/2018.

*Chūō Shinkansen*. 07/08/2018. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Ch%C5%AB%C5%8D\\_Shinkansen](https://en.wikipedia.org/wiki/Ch%C5%AB%C5%8D_Shinkansen). 20/08/2018.

*Discovery Max. Trenes del Futuro MagLev Documentales*. 23/08/2017. DiscoveryMax (Youtube). <https://www.youtube.com/watch?v=wIH0dYs9dzE>. 21/04/2018.

*National Geographic. El primer tren levitación magnética maglev*. 13/06/2017. National Geographic (Youtube). <https://www.youtube.com/watch?v=8cQ0HB-1iXs&t=15s>. 22/04/2018.

Rodrigo. *Antecedentes del tren de levitación magnética (maglev)*. 14/07/2009. <http://rodrigotousen.blogspot.com/> 21/04/2018.

Badillo Rodríguez. *Tren de levitación magnética*. 26/11/2012. Slideshare. <https://www.slideshare.net/BadilloRodriguez/tren-de-levitacion-magnetica-15346671/3>. 27/04/2018.

*Aerotrèn*. 14/12/2017. Viquipèdia. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Aerotr%C3%A8n>. 28/04/2018.

Lesly Balseca. *Mecanismo de frenada*. 14/03/2015. [http://trenmaglevq.blogspot.com/2015/03/4-mecanismo-de-frenada\\_14.html](http://trenmaglevq.blogspot.com/2015/03/4-mecanismo-de-frenada_14.html). 12/05/2018.

*El tren supersónico Hyperloop se moverá por levitación pasiva para ganar en seguridad.* 11/05/2016. RTVE. <http://www.rtve.es/noticias/20160511/tren-supersonico-hyperloop-se-movera-levitacion-pasiva-para-ganar-seguridad/1349582.shtml>. 21/07/2018

Pablo Javier Piacente. *Los metamateriales aumentarán la seguridad de los trenes voladores.* 09/03/2012. [https://www.tendencias21.net/Los-metamateriales-aumentaran-la-seguridad-de-los-trenes-voladores\\_a10533.html](https://www.tendencias21.net/Los-metamateriales-aumentaran-la-seguridad-de-los-trenes-voladores_a10533.html)

*Todo sobre el Grafeno.* Infografeno. <https://www.infografeno.com/>. 25/08/2018.

*Grafeno.* 28/09/2018. Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Grafeno>. 30/09/2018.

Mrkarurosu. *Trenes de Levitacion magnetica o MAGLEVS.* 17/01/2013. The side of the other side. <http://mrkarurosphysicsama.blogspot.com.es/2013/01/trenes-de-levitacion-magnetica-o.html>. 16/06/2018.

Electromagnetic suspension. 26/06/2018. Wikipedia [https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_suspension](https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_suspension). 04/08/2018,

Anna Martí. *Hyperloop: el concepto, la evolución y las dudas que aún rodean al futurista transporte de Elon Musk.* 05/08/2017. Xataka. <https://www.xataka.com/vehiculos/hyperloop-el-concepto-la-evolucion-y-las-dudas-que-aun-rodean-al-futurista-transporte-de-elon-musk>

CNN Business. *700mph in a tube: The Hyperloop experience.* 10/09/2015. CNN (Youtube). <https://www.youtube.com/watch?v=7A7GsAPR3J0>. 21/07/2018.

*Jet fuel.* 20/02/2018. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Jet\\_fuel#Jet\\_A](https://en.wikipedia.org/wiki/Jet_fuel#Jet_A). 05/08/2018.

*Distancia Madrid-Barcelona.* <https://www.distancia.co/Madrid/Barcelona>. 12/08/2018.

*Ahorro energetico del AVE.* 20/01/2012. Terra. <http://www.terra.org/categorias/articulos/ahorro-energetico-del-ave>. 12/08/2018.

*Consumo de energía del tren y de otros medios de transporte.* 20/06/2018. [https://es.wikipedia.org/wiki/Consumo\\_de\\_energ%C3%ADa\\_del\\_tren\\_y\\_de\\_otros\\_medios\\_de\\_transporte](https://es.wikipedia.org/wiki/Consumo_de_energ%C3%ADa_del_tren_y_de_otros_medios_de_transporte). 12/08/2018.

Boeing 747 . Qantas. <https://www.qantas.com/travel/airlines/aircraft-seat-map-boeing-747/global/es>.

Lesly Balseca. *¿Cómo y dónde nació la idea del Tren Maglev?*. 14/03/2015.  
<http://trenmaglevq.blogspot.com/2015/03/como-y-donde-nacio-la-idea-del-tren.html>.  
15/07/2018.

*Costos de construcción de infraestructura*. 03/01/2017. Ferropedia.  
[http://www.ferropedia.es/wiki/Costos\\_de\\_construcci%C3%B3n\\_de\\_infraestructura#LAV](http://www.ferropedia.es/wiki/Costos_de_construcci%C3%B3n_de_infraestructura#LAV).  
12/08/2018

*LAV mixta internacional Figueres-Perpignan*. 16/09/2016. Ferropedia.  
[http://www.ferropedia.es/mediawiki/index.php/LAV\\_mixta\\_internacional\\_Figueres-Perpignan](http://www.ferropedia.es/mediawiki/index.php/LAV_mixta_internacional_Figueres-Perpignan). 12/08/2018.

Physics 240. *Maglev Energy Budget*. 28/11/2018. Stanford University.  
<http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/ilonidis2/>. 19/08/2018.

Programa utilitzat per elaborar els plànols: SketchUp 2017