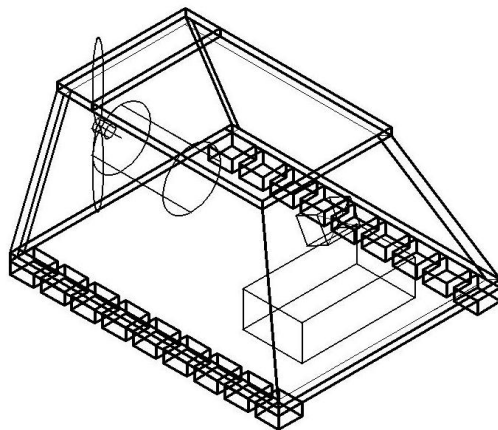


Treball de Recerca

Estudi del magnetisme i les seves propietats.
Aplicació en el transport terrestre:
Disseny i construcció d'un tren de levitació
magnètica.



Alumne: Sergio López Neila

Tutora: Esther Clotet Romeu

Col·legi Vedruna Sagrat Cor

Tarragona, gener 2014

Presentació:

Podria començar dient que aquest treball va sobre trens que volen, i no aniria molt mal encaminat. La paraula exacta és levitació, i els trens dels que parlo són els anomenats trens de levitació magnètica. Aquests trens són uns dispositius mòbils que s'aguanten i es mouen per efecte d'imants. Realment, i a grans trets, el que s'ha treballat en aquest treball ha estat el magnetisme, les seves propietats, i concretament la seva aplicació als trens de levitació magnètica.

A l'hora d'escollir el tema del treball, aquest no va ser el primer. Es van proposar altres temes, sobretot relacionats amb els cotxes i el món del motor, tot i que no va resultar en res. El tema dels trens es va presentar gairebé sense saber res, i després d'informar-me succintament, es va veure una possible via, del que ha acabat sent aquest treball.

Resum:

L'objectiu principal d'aquest treball és aconseguir construir un tren de levitació magnètica funcional.

Com que sobre el magnetisme es sabia poc, la primera part ha estat buscar informació sobre el magnetisme a partir de la qual començar el projecte. També es va dedicar una part important de la investigació al funcionament dels trens de levitació magnètica reals, els anomenats Maglev.

A aquesta recerca s'ha afegit l'experiència aconseguida a partir d'un total de set pràctiques per observar experimentalment els efectes del magnetisme, sobretot a nivell de materials. Així, per exemple, s'ha comprovat el funcionament dels imants o els efectes d'un camp magnètic en l'aigua.

Basant-se en l'estudi anterior i en els models reals de trens de levitació magnètica, es va començar a dissenyar el primer prototip de tren magnètic. L'estructura que seguia era semblant al dels trens EMS. No va arribar a funcionar.

El segon model estava basat en els trens de levitació magnètica de base EDS, tot i que no utilitzava la mateixa base física. El prototip funciona a base de repulsió. En aquest model també es va introduir la propulsió, formada per un impuls aerodinàmic basat en un motor que fa girar una hèlix.

Ja per finalitzar es va construir el tercer model, amb la mateixa física base que el segon però millorant en certs aspectes. Entre d'altres, es va aconseguir apreciar visualment, afegint parets de metacrilat en lloc de les parets de fusta que eren utilitzades abans, i es va introduir la capacitat de moure's endavant i endarrere.

Per finalitzar el treball s'ha calculat quina és la força que es crea en la levitació d'un sol imant, tot i que primera intenció era de calcular-la a partir dels imants de tot el vagó.

Índex

1.- Objectius	5
2.- Introducció	6
2.1.- Breu presentació del magnetisme	6
2.1.1.- Què és un imant?	6
2.1.2.- La brúixola	7
2.2.- Aportacions al magnetisme	8
2.2.1.- Magnetisme en el corrent elèctric	8
2.2.2.- Dinamos i electricitat a partir d'imants	8
2.2.3.- Electroimants i síntesi de conceptes	9
2.2.4 Magnetisme i electromagnetisme: Lleis conjuntes	10
2.3.- Física del magnetisme	11
2.3.1.- Origen del camp magnètic	11
2.3.2.- Camp magnètic.....	12
2.3.3.- Magnetisme en l'electricitat.....	12
2.4.- Relacions en el magnetisme	13
2.4.1.- Tipus de materials segons el seu comportament magnètic	13
2.5.- Trens Maglev	15
2.5.1.- Tipus de trens	15
2.5.2.- Comparació de sistemes.....	20
2.6.- Força de repulsió entre dos imants oposats pels pols	20
3. Metodologia:	22
3.1.- Inici del projecte, recerca d'informació	22
3.2.- Experiències prèvies	22
3.3.- Disseny i construcció: Primer prototip	28
3.4.- Disseny i construcció: Segon prototip.....	29
3.4.1.- Mètodes de Propulsió	30
3.5.- Disseny i construcció: Maqueta definitiva	32
3.6.- Elements utilitzats en la maqueta:.....	33
3.7.- Comprovació i avaluació del funcionament de la maqueta:	35
3.7.1.- Càlcul de la força magnètica entre dos imants:	35
4. Resultats	36
4.1.- Resultats de pràctiques	36
4.2.- Primer prototip.....	38

4.3.- Segon prototip.....	39
4.4.- Maqueta definitiva	40
4.5.- Comprovació i avaluació: Resultats	41
4.5.1.- Càlcul de la força: 2 imants alineats	41
4.5.2.- Càlcul de la força aproximada que exerceixen tres o més imants del rail sobre un dels imants del tren.....	42
5. Conclusions	45
6.- Valoració personal.....	48
7.- Bibliografia	49
8.- Annexos	51
8.1.-Recerca de contactes en el món de la levitació magnètica.....	51
8.2.- Recull notícies tren magnètic.....	52
8.3.- Plànols	53
8.4.- Fotografies.....	66
8.5.- Primer model.....	67
8.6.- Segon model	68
8.7.- Tercer model	69
8.8.- Pàgina web de compra dels imants:	70

1.- Objectius

La idea principal del treball, com bé mostra el títol, és el disseny i construcció d'una maqueta de tren magnètic funcional, motriu i, sobretot, estable. Així doncs, els objectius plantejats a l'hora de començar la recerca van ser els següents:

- Primerament, estudiar i comprendre els punts bàsics del magnetisme fent una recerca sobre el tema.
- Fer un estudi més a fons sobre els trens magnètics, el seu funcionament, característiques...
- Complementar la recerca d'informació amb pràctiques amb les que demostrar i ampliar els coneixements prèviament adquirits de la primera recerca.
- Dissenyar un prototip de maqueta de tren magnètic a partir dels coneixements obtinguts a partir de la recerca inicial. Completar el model amb els plànols pertinents fets amb el programa Autocad 2011.
- Després de passar pels pertinents canvis en el primer prototip, finalment construir un model final de maqueta funcional, estable i autònoma.
- Comprovar matemàticament les característiques físiques de l'imat en la maqueta, tals com les forces produïdes en la levitació.

2.- Introducció

2.1.- Breu presentació del magnetisme

El poder magnètic es coneix des del temps dels grecs. Tales de Milet (S. VI a.C.) ja parla en alguns escrits de pedres de ferro que tenen un poder atractiu per als metalls. De fet, és una de les hipòtesis que el nom de magnet, o el nom de magnetisme sigui procedent del mot Magnèsia, que es una regió de Grècia, on suposadament es devien trobar les primeres pedres magnètiques. Aquestes pedres, que Sòcrates també descriu com a pedres negres, són cossos productors de camp magnètic, base del magnetisme.

La força magnètica és la tercera gran força física després de la gravitatòria i l'elèctrica. Tot el conjunt d'efectes i aplicacions d'aquest camp és el magnetisme. Principalment es dóna pel moviment de càrregues elèctriques, com pot ser l'electricitat, però també es dóna en certs metalls per motius de configuració interna i es creen els imants.

2.1.1.- Què és un imant?

Com a definició general, un imant és qualsevol cos que té la propietat de crear camp magnètic al seu voltant. Hi ha dos tipus d'imants: naturals o artificials.

Els naturals són aquells creats per efectes de processos interns de la Terra com pot ser la pressió o la temperatura. Un exemple serien les ferrites de l'interior de la Terra, responsables del camp magnètic extern de la Terra, base de la brúixola. Els imants artificials, per contra, són aquells que l'home ha



Figura 1: A la esquerra, imant natural. A la dreta, imant artificial. Fotos extretes de <https://webs.um.es/matias/miwiki/doku.php?id=galeria> i <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nd-magnet.jpg>

fet, més poderosos que els imants naturals. Normalment són aliatges de materials ferromagnètics. Un exemple són els imants artificials permanents més poderosos, els imants de neodimi. Són aliatges de ferro, bor i neodimi metàl·lic. També són coneguts els imants de tipus alnico, formats per un aliatge d'alumini, níquel, coure i ferro. En la figura 1 es pot veure dos exemples d'imants.

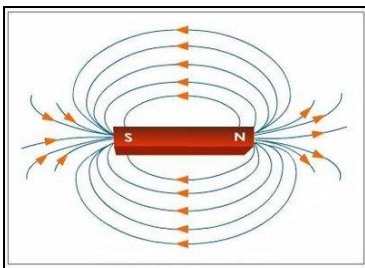


Figura 2: Línies de camp d'un imant, extreta de <http://teoria-de-la-relatividad.blogspot.com.es/2009/03/24-la-divergencia-del-tensor-t.html>

La principal característica dels imants respecte els altres generadors de camp és el fet de tenir pols. Els pols són dos punts del imant inseparables; sempre n'hi ha dos en un imant. Els pols són uns punts de l'imant per on es concentren totes les línies de camp. Totes les línies envolten l'imant per fora i el travessen per dins, però recorren trajectòries diferents. Els pols són els dos únics punts per on conflueixen totes les línies de camp. Així, en els pols és on hi ha més concentració de línies de camp, pel que és on la força de l'imant és més forta.

Els pols tenen la característica, degut al sentit de les línies del camp, que dos iguals, nord-nord o sud-sud, o bé ambdós sud o ambdós nord, es repel·leixen, mentre que dos pols diferents s'atrauen. Aquesta característica es veu en la figura 3. També s'ha de puntualitzar que un imant es compon per dos pols inseparables. Quan un imant es divideix, totes dues parts també tenen dos pols. Això vol dir que pol sud i pol nord sempre van lligats per definició. Tot i això, es va proposar una partícula hipotètica anomenada monopòl: aquesta partícula, ideada per Paul Dirac el 1931, és un productor de camp magnètic amb un sol pol magnètic. Com ja s'ha dit, és una partícula hipotètica, i per tant inexistent, però amb utilitat matemàtica per alguns teoremes físics.

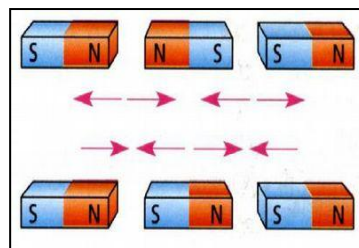


Figura 3: Forces segons la orientació d'imants, extreta de http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/iv.-electromagnetismo

2.1.2.- La brúixola

Al tractar els imants, és gairebé necessari parlar de la brúixola. La brúixola és un imant que assenyalava l'únic camp que trobaria en una situació normal, és a dir, sense cap imant al voltant, que és el de la Terra. A l'interior de la Terra hi ha una gran massa de ferrites. Aquestes ferrites són imants naturals, que creen un camp magnètic al voltant de la Terra, molt dèbil. Així, l'agulla de la brúixola imantada pel pol nord apunta al pol nord geogràfic. Si considerem pol nord magnètic el pol nord geogràfic és una incoherència respecte el que s'ha dit abans. Un pol nord no pot estar orientat cap a un pol nord de forma natural, doncs sempre es repel·leixen. Així, realment el pol nord magnètic coincideix amb el pol sud geogràfic i a la inversa. Es pot veure el funcionament de la brúixola esquematitzat en la figura 4.

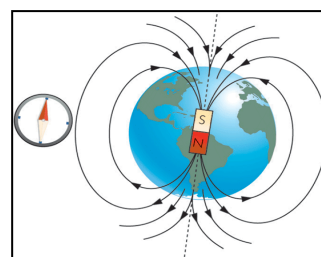


Figura 4: Camp magnètic de la Terra i funcionament brúixola; extreta de <http://mqmdenia.wordpress.com/2011/03/12/campo-magnetico-terrestre/>

2.2.- Aportacions al magnetisme

2.2.1.- Magnetisme en el corrent elèctric

Hans Christian Oersted ¹ (figura 5) es considera el descobridor de l'electromagnetisme. Va descobrir la relació entre els efectes dels imants i el corrent elèctric que travessa un fil conductor qualsevol.



Figura 5: Oersted. Extreta de <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/o/oersted.htm>

El 1820, gairebé per casualitat, Oersted va veure l'efecte que es produïa quan s'apropava una brúixola a un cable connectat a una bateria: Quan pel cable passa corrent, l'agulla de la brúixola deixa d'apuntar el nord i passa a apuntar al cable. A partir d'aquest experiment, Oersted va veure una relació entre els pols magnètics de la Terra i un camp que produïa el corrent elèctric. Així, va determinar que l'electricitat provoca un camp magnètic al voltant del seu conductor.

2.2.2.- Dinamos i electricitat a partir d'imants

Michael Faraday (figura 6)² va aprofundir en els descobriments d'Oersted, fixant així la forma del camp magnètic, descobert anys enrere per Oersted, que es produeix pel moviment de càrregues elèctriques.

Però el seu descobriment més important va ser la inducció magnètica, base de les dinamos actuals. Faraday va descobrir que si un imant es mou sobre un fil conductor, aquest obté corrent continuu; és a dir, pel moviment d'un imant es genera electricitat. També va introduir el concepte de línies de força per entendre el camp magnètic.

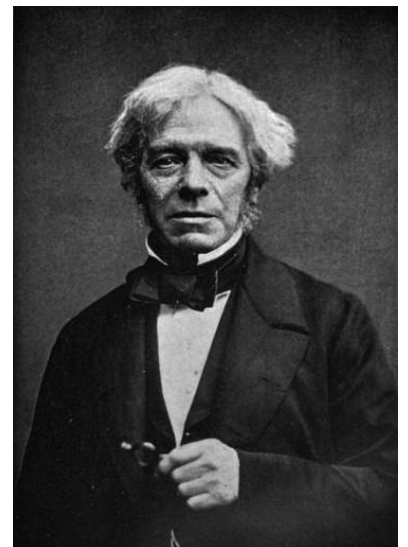


Figura 6: Faraday extreta de <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f2/Michael-faraday3.jpg>

¹ Hans Christian Oersted: Físic i Químic danès que va viure entre el 1777 i el 1851.

² Michael Faraday: Físic i químic britànic que va viure entre el 1791 i el 1867. Va fer grans avenços en l'electromagnetisme i l'electroquímica.

2.2.3.- Electroimants i síntesi de conceptes

André-Marie Ampère (figura 7)³ va ser, en el camp de la física, qui va construir el primer electroimant amb base de solenoide⁴, a més va sintetitzar els coneixements extrets de les experiències d'Oersted. Aquests resultats són:



Figura 7: André Marie Ampere extreta de <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/Ampere1.jpg>

-Entre 2 càrregues elèctriques immòbils s'estableix la relació (...) enunciada per Coulomb.

-Entre diverses càrregues en moviment s'estableix una relació magnètica, a part de la pròpiament elèctrica. Per tant hi ha una relació electromagnètica.

-Una càrrega en repòs no pot experimentar una interrelació electromagnètica.

-En un punt de l'espai hi ha camp magnètic si una càrrega elèctrica situada en aquest punt experimenta una força

(<http://www.escritoscintificos.es/apunfisi/uni07-a.htm>, pàg 2, apartat Àmpere)

³ André-Marie Ampère: Físic i matemàtic francès que va viure entre el 1775 i el 1836. En la matemàtica, va estudiar la probabilitat, i en la física va seguir l'estudi d'Oersted sobre l'electromagnetisme.

⁴ Vegeu Pràctica 4 a la metodologia.

2.2.4 Magnetisme i electromagnetisme: Lleis conjuntes

James Clerk Maxwell (figura 8)⁵, finalment, i gràcies a les aportacions dels seus predecessors, va confeccionar una teoria vàlida a nivell científic. Maxwell va unificar aquestes teories en una, que va enunciar amb quatre lleis, les conegudes com a equacions de Maxwell. Aquestes són:



Figura 8: James Clerk Maxwell, extreta de http://commons.wikimedia.org/wiki/File:James_Clerk_Maxwell_big.jpg

-Primera equació de Maxwell: Teorema de Gauss per al camp elèctric

Al voltant de la partícula productora de camp elèctric, en una superfície tancada la quantitat de línies de camp que entren és diferent a la quantitat de línies que surten. Això implica que el flux elèctric d'aquesta superfície sigui proporcional a les línies de camp, o dit d'altra manera, a la càrrega que provoca el camp. L'evidència experimental és la llei de Coulomb.

-Segona equació de Maxwell: Teorema de Gauss per al camp magnètic

Al voltant del cos productor de camp magnètic, en una superfície tancada, hi ha el mateix nombre de línies de camp que entren i que surten d'aquesta superfície, i, per tant, el flux total és 0. Això es deu a que les línies de camp del camp magnètic són tancades,

-Tercera equació de Maxwell: Llei de Faraday

Un camp magnètic variable provoca un camp elèctric al seu voltant. Aquesta llei queda palesa en la inducció electromagnètica, a partir de la qual un camp magnètic variable crea corrent elèctrica en un conductor, degut a que un canvi en el nombre de línies que travessen una certa superfície (flux) provoca un corrent elèctric induït.

⁵ James Clerk Maxwell: Físic escocès, que va viure entre 1831 i 1879, conegut per desenvolupar la teoria electromagnètica clàssica.

-Quarta equació de Maxwell: Teorema d'Ampère generalitzat

Segons el teorema d'Ampère, un camp magnètic pot ser creat per un corrent elèctric. Maxwell va generalitzar aquest concepte i va afegir-hi un camp elèctric variable com a productor de camp magnètic. Aquest efecte es veu en les experiències d'Oersted i Ampère.

2.3.- Física del magnetisme

2.3.1.- Origen del camp magnètic

Com a punt principal per entendre el magnetisme, s'ha d'entendre l'electró com a un petit imant. Cada electró provoca el més petit dels camps magnètics al seu voltant. Com a tot imant, un electró té dos pols, nord i sud, inseparables.

Principalment, el camp magnètic té dos maneres de ser originat: Per un imant o per electromagnetisme, és a dir, per un corrent elèctric.

La raó per la qual un imant és un imant i per tant té camp magnètic, és l'ordre dels seus dipols. Com, ja hem dit, cada electró és un petit imant, i per l'ordre d'aquests electrons en la molècula es generen els dipols magnètics. Normalment, en un material no productor de camp magnètic, el camp magnètic dels dipols s'anul·la degut a l'aleatorietat de col·locació respecte els altres. En el cas dels imants, aquesta aleatorietat no existeix, doncs, tot i que l'Univers tendeix a l'aleatorietat i no a la organització, que en aquest cas els seus dipols s'han ordenat degut a certes característiques de l'entorn com pressió o temperatura, o per inducció a partir d'un altre imant. Així, el que s'aconsegueix és que el camp magnètic produït per cada dipol, que és produït al seu torn per la col·locació dels electrons, es suma en tot el material.

Distintament, quan el camp magnètic és produït per un corrent elèctric és degut al moviment de càrregues. Pel moviment d'aquestes càrregues, els electrons "enfoquen" el seu camp magnètic en la mateixa direcció. Així, com en els imants, el camp de cada electró es suma i produeix un camp magnètic al voltant del conductor.

2.3.2.- Camp magnètic

El camp magnètic presenta diferències substancials respecte els dos altres tipus de camps, l'elèctric i el gravitatori. Així com entre el camp gravitatori i el camp elèctric es poden trobar certes semblances, com el fet que tots dos camps fossin centrals, amb el camp magnètic són més limitades. Per començar, el camp magnètic no és central, sinó que, depenent del cos que produeix el camp, tenen una forma o una altra: Per exemple, el camp al voltant d'un fil conductor són circumferències concèntriques, mentre que en un imant les línies surten del pol nord, envolten l'imat i tornen a entrar dins el cos pel pol sud. Tot i això es respecta que a tots els camps magnètics les línies de camp són tancades.

Tot i que el camp magnètic acostuma, com el camp gravitatori, a ser atractiu, té la dualitat del camp elèctric entre atracció i repulsió segons la propietat de cada material, a més de la qualitat que tenen alguns materials de que no els afecta el camp magnètic⁶.

A més, el camp magnètic no té, com el camp gravitatori o l'elèctric, l'equivalent al potencial gravitatori o elèctric, degut a que la força no és conservativa. Això vol dir que tampoc hi ha una energia potencial magnètica, i per tant no es pot recórrer a aquesta expressió per determinar el treball d'una partícula que es mou per dins del camp.

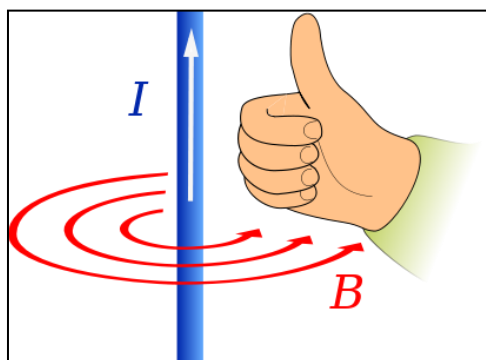
El camp magnètic es mesura en Tesles, unitat de mesura del sistema internacional per la inducció magnètica. Tot i això, la "força" d'un Tesla és molt gran, així que s'acostuma a utilitzar el Gauss, d'intensitat més baixa i per tant més assequible pels càlculs o per anotacions. La relació és $1\text{T} = 10^4 \text{ Gauss}$.

2.3.3.- Magnetisme en l'electricitat

Com ja s'ha explicat abans, el magnetisme té una forta relació amb els corrents magnètics. El moviment d'electrons per un conductor produeix camp magnètic al voltant d'aquest. Tot i això, es generen diferents "tipus" de camps segons la forma del seu conductor. Per exemple, en un fil conductor les línies de camp formen circumferències concèntriques; o en un solenoide, les línies són semblants a les d'un imant, doncs travessen el cos i el rodegen pels costats.

⁶ Vegeu Apartat 2.4.1 de la introducció, "Tipus de materials segons el seu comportament magnètic"

Per saber l'orientació del camp, en l'electromagnetisme s'utilitza l'anomenada regla de la mà dreta: és una manera molt simple i molt visual per saber com seran les línies de camp i quina direcció prendran. Agafarem com a exemple el camp magnètic generat al voltant d'un cable elèctric per on circula



corrent. Sabem que al seu voltant es generen línies de camp tancades concèntriques, però en quin sentit? Per saber-ho és suficient amb imaginar-se una mà tancada amb el polze estirat. El polze assenyala el sentit del corrent, mentre que la resta assenyala el sentit de les línies del camp magnètic (Figura 8).

Figura 8: Regla de la mà dreta, extreta de <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Manoderecha.svg>

aquest cas els dits assenyalen el sentit del corrent i el polze assenyala el sentit de les línies que surten del solenoide. En definitiva, o bé el polze o bé la resta dels dits assenyalen el sentit del corrent, i per contra, o els dits o el polze assenyalen el sentit de les línies de camp, respectivament.

En un solenoide (figura 9), el procés és molt semblant. La diferència és que en

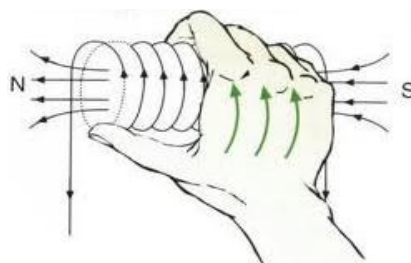
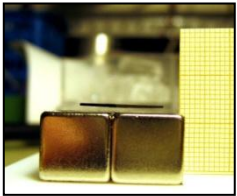


Figura 9: Regla de mà dreta en un solenoide, extreta de http://fisicaconfdefacil.blogspot.com.es/2012_06_01_archive.html

2.4.- Relacions en el magnetisme

2.4.1.- Tipus de materials segons el seu comportament magnètic

Com es pot observar a simple vista, un imant no atrau tota la matèria que l'envolta, com si fos un camp gravitatori. Això es deu a que no tots els materials es veuen atrets per l'imant. De fet alguns es veuen repel·lits per un camp magnètic, i d'altres no en tenen ni la mínima relació. A continuació es presenten els principals d'aquests tipus de materials:

Materials	Qualitats	Exemple
No magnètic	No permet el pas de línies de camp al seu voltant, no es pot crear camp en aquest tipus de medi.	El buit
Ferromagnètic	Té la capacitat de poder orientar els seus dipols en el sentit del camp magnètic, és a dir, permet el pas de les línies de camp i es crea camp, amb el que es converteix amb un imant temporal. Hi ha materials ferromagnètics com el ferro que quan actua un camp sobre ells són atrets i creen camp mentre estan en el camp magnètic, però quan surten, deixen de ser imants. Altres com l'acer, en canvi, es queden com a propi el camp, i per tant són nous imants encara fora del camp inicial. També són paramagnètics a partir d'una determinada temperatura (Temperatura Curie)	Ferrita, neodimi,  acer Foto extreta de http://www.somosotras.com/la-reflexion-de-la-noche-51/, ferro (ferromagnètic) imantat
Diamagnètic	Material dèbilment magnètic que es veu repel·lit quan és dins d'un camp magnètic, els seus dipols es situen en sentit contrari al camp magnètic, així que en lloc de ser atrets són repel·lits.	 Aigua, bismut Foto extreta de http://www14.brinkster.com/aleatoriedad/Levitacionmag11.htm, on es veu bismut levitant per diamagnetisme.

Paramagnètic	Presenta magnetisme poc significatiu, simplement deixa passar el camp magnètic, no es veu atret ni repel·lit.	Aire, alumini  Extreta de: http://www.creativamedia.com/canalgrup/cas/mostrar.asp?id=26 . Alumini en làmines
--------------	---	--

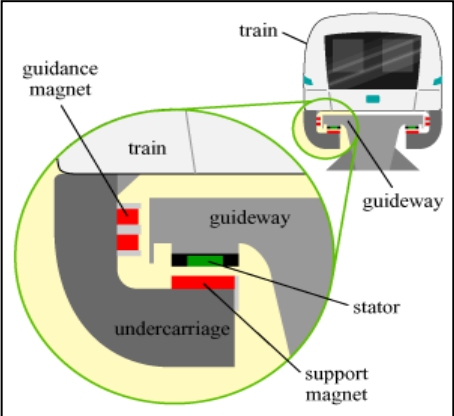
Tècnicament, hi ha més tipus de materials, però s'ha considerat convenient excloure'ls de la taula per ser subdivisions d'aquests principals segons el seu grau. Per exemple, un tipus de material són el ferrimagnètics, ferromagnètics en menor grau. També estan, per exemple, les ferrites, que són ferrimagnètics de baixa conductivitat elèctrica, utilitzats en alternadors.

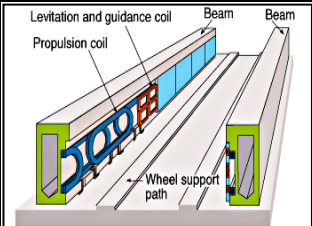
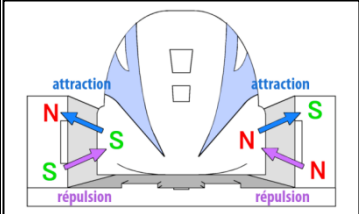
2.5.- Trens Maglev

Els trens Maglev (Magnetic Levitation Trains en anglès) són aquells trens que es basen en l'electromagnetisme com a base pel seu moviment i la seva sustentació. Són un tipus de tren molt curiosos, doncs la seva característica principal és que leviten sobre la via. S'utilitzen els camps magnètics generats per electroimants o imants molt poderosos per garantir la seva sustentació. A continuació s'explicaran les característiques pròpies de cada model de tren Maglev.

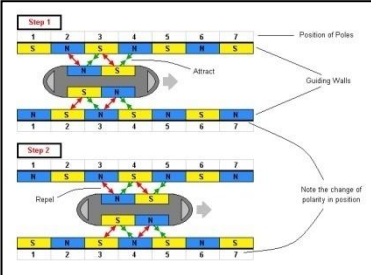
2.5.1.- Tipus de trens

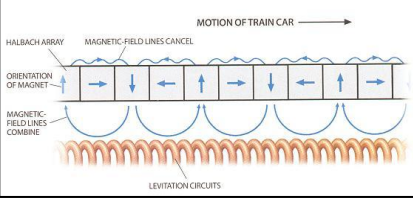
Principalment, es poden trobar tres tipus de trens, cadascun amb les seves característiques en els sistemes de propulsió i sustentació. Així trobaríem els sistemes de suspensió electromagnètica, els sistemes de suspensió electrodinàmica, i els sistemes Inductrack. Com s'ha dit abans, tots funcionen a partir de camps magnètics, però cada model els utilitza de diferent manera. A continuació s'explica la base de cada model:

EMS (Suspensió electromagnètica)	Ex. Trans rapid (Alemanya) (Figura 10)  Figura 10: Tren Maglev de sistema EMS, extreta de http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/maglev-train.htm
Base física principal: Atracció magnètica	
Sustentació EMS:	Com es pot veure en la figura 11, el sistema EMS utilitza vuit files d' electroimants, oposades dues a dues, i amb dos parells als laterals per controlar el moviment horitzontal lateral i l'estabilitat i dos a la part inferior del vagó que produeixen la força necessària per levitar.  Figura 11: Esquema de segment de via en un tren EMS, extreta de http://ninpop-physics.comuv.com/maglev/howitworks.php
Propulsió EMS:	Els trens de sistema EMS no tenen cap manera de ser empesos físicament per cap cos sense que es perdi la seva característica principal com és la no fricció amb més cos que l'aire. Per evitar aquest problema es crea el motor lineal. Sense cap sistema de suport físic, com poden ser unes rodes, utilitza només el fet de la repulsió i un motor lineal. Funciona com un motor elèctric, però enlloc de ser un circuit tancat és obert, i abasta tota la via.

EDS (Sustentació electrodinàmica)	Ex. MLX01-1, prototip japonès. (Figura 12)  Figura 12: Tren Maglev de sistema EDS, extreta de http://www.lanl.gov/orgs/mpa/stc/train.shtml
Base física principal: Repulsió a partir de la inducció magnètica.	
Sustentació EDS:	El sistema EDS utilitza un sistema d'electroimants amb materials superconductors. La característica principal d'aquests materials és que per sota de la seva temperatura crítica, no ofereixen resistència al pas de corrent. Així, un electroimant amb aquests materials sempre tindrà corrent per a temperatures molt baixes, i, per tant, crearà camp sense la necessitat de una bateria sempre connectada. Al seu torn, la via (Figura 13) té una sèrie de bobines col·locades al seu voltant. Aquestes estan preparades per crear camp magnètic quan el tren passi per sobre per la inducció magnètica. Aquest fenomen, que va descobrir Faraday⁷, es basa en la generació de corrent pel pas d'un imant sobre un conductor, en aquest cas una bobina, que, pel fet de passar corrent, crea camp magnètic al seu voltant, que el primer electroimant utilitza per la seva repulsió i per tant levitació. (Figura 14) També és remarcable que els corrents induïts són més o menys potents  Figura 13: Esquema de secció d'una via de tren EDS, extreta de http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/maglev-train1.htm  Figura 14: Esquema del sistema de suspensió EDS, extreta de http://ajjafh.wordpress.com/2012/09/13/the-fastest-train-in-the-world/

⁷ Veure Michael Faraday, punt 2.2.2 de la introducció

	depenent de la velocitat a la que es mogui l'imant que actua sobre ells. Per això, per aconseguir la repulsió completa, el tren ha de tenir una velocitat prèvia, pel que fins a arribar als 100km/h, punt en el qual es sustenta per la inducció, es necessita un sistema auxiliar de rodes que aguantin el tren fins que arriba a aquesta velocitat.	
Propulsió EDS:	El sistema EDS també utilitza un sistema de motor lineal síncron, com en el cas del sistema EMS. La única diferència que presenta respecte el motor emprat en l' EMS és que aquest utilitza l'atracció i la repulsió magnètica, de manera que un mateix electroimant és empès i atret per dos electroimants de la via diferents (Figura 15).	 <i>Figura 15: Sistema de propulsió EDS, extreta de</i> http://www.indiastudychannel.com/resources/84835-Magnetic-Levitation-MagLev-Trains.aspx

Inductrack	Prototip als Estats Units. (En procés) Figura 16  Figura 16: Prototip de tren Maglev Inductrack. Extreta de https://www.llnl.gov/str/November03/Post.html
Base física principal: Repulsió a partir d'imants permanents.	
Realment, el sistema Inductrack no és un nou sistema de suspensió, doncs és una ramificació del sistema EDS, però s'ha considerat com un nou sistema per les noves mesures que aporta.	
L'Inductrack, com hem dit, és pròpiament un sistema EDS, doncs utilitza els corrents induïts en unes bobines per l'elevació i sustentació d'un tren que genera camp magnètic. La principal diferència ve aquí, doncs, a diferència dels seus dos predecessors, el sistema Inductrack utilitza imants permanents per la seva levitació i propulsió. Presenta la principal diferència que no necessita el sistema d'energia continua que presentaven l'EMS i l'EDS convencional. El vagó del tren té imants permanents, ordenats segons la matriu de Halbach, per la qual es situen els imants variant en 90° la orientació dels seus pols respecte l'imant anterior en la matriu (Figura 17). Segons aquesta ordenació, la força magnètica augmenta en un costat de la matriu, mentre que en l'altre les línies de força pràcticament s'anul·len. Això és un gran avantatge respecte l'EDS, doncs no necessita dels grans sistemes d'aïllament magnètic per poder admetre dins del vagó persones amb sistemes electromagnètics com marcapassos, sistemes d'emmagatzematge de dades electròniques, doncs, pels camps magnètics, s'avararien. S'han fet tres sistemes d'Inductrack, l'Inductrack I, l'Inductrack II i l'Inductrack III.	 Figura 17: Matriu Halbach, extreta de http://www.motoredbikes.com/showthread.php?23955-Halbach-Axial-Flux-Motor/page8
Inductrack I	Preparat per altes velocitats, de manera que en aquestes l'eficiència és més gran. El sistema de propulsió és a base d'un motor lineal, com els altres sistemes, a causa de que és la manera més eficient energèticament de fer moure un tren magnètic.
Inductrack II	Optimitzat per viatjar a poca velocitats reduint la força de "fregament" entre camps que es donen a baixes velocitats

Inductrack III	Últim model d'Inductrack, preparat per a moure a velocitats baixes mercaderies de pes considerable. Aquest sistema està dissenyat, sobretot, per ser funcional en el port de Los Angeles, per transportar mercaderies dins del port.
----------------	--

2.5.2.- Comparació de sistemes

Com, tot i que els sistemes es basen en el mateix fenomen, cap és igual, sorgeixen diferències que fan millors o pitjors certs sistemes. A continuació, es resumeixen els avantatges i els inconvenients de cada sistema.

Sistema	Avantatges	Inconvenients
EMS	No són necessaris grans camps magnètics, poca possible repercussió en els passatgers. Més econòmic respecte els altres.	Necessitat de vigilància continuada, doncs la menor variació pot ser catastròfica. És el més inestable dels models i podria ser el més perjudicat en un terratrèmol o qualsevol variació de la via.
EDS	Permet les majors velocitats demostrades en trens Maglev. També pot portar més càrrega. És molt segur, en cas de tall de l'energia té les rodes que el permetrien de no xocar.	Molt car, pels superconductors i congelants. Crea uns camps molt forts fins i tot en el vagó, cosa que no permetria pujar gent amb marcapassos o aparells electrònics.
Inductrack	A prova de talls d'electricitat, doncs no en necessita per levitar. Més rentables que certs electroimants.	Encara en prototip. Necessitaria algun tipus de roda per parada total.

2.6.- Força de repulsió entre dos imants oposats pels pols

Com es veurà més tard en la metodologia, per a calcular les forces que es creen en la levitació magnètica cal una fórmula on es relacioni el camp dels imants amb la força que provoquen al estar a certa distància. Per això és necessari trobar l'expressió que permeti el càlcul d'aquestes forces.

Així, segons la següent expressió (eq. 1), F és la força que es crea entre dos imants alineats estables, com la situació que es dona en la levitació magnètica d'un sol imant.

$$\vec{F}(r, \vec{m}_1, \vec{m}_2) = \frac{-3 \mu_0}{2 \pi r^4} \vec{m}_1 \vec{m}_2 \quad \text{eq. 1}$$

r és la distància de levitació, m són els moments dipolars dels dos imants i μ és la permeabilitat del medi, en aquest cas el buit (gairebé igual a la de l'aire).

I el mòdul és: (eq. 2)

$$|\vec{F}|(r, |\vec{m}_1|, |\vec{m}_2|) = \frac{3 \mu_0}{2 \pi r^4} |\vec{m}_1| |\vec{m}_2| \quad \text{eq. 2}$$

3. Metodologia:

3.1.- Inici del projecte, recerca d'informació

Per començar un tipus de treball com aquest, el punt primer és la recerca d'informació. Així mateix, aquest no ha estat una excepció i el primer que s'ha fet ha estat informar-se sobre el tema a tractar i buscar informació, dades, i experiències anteriors per basar-se a l'hora de fer aquest projecte.

En el cas particular del tren magnètic, cal informació sobre el magnetisme i la base física, i, sobretot, sobre la física del tren magnètic, així com saber per què levita o com avança. També s'han buscat models de maquetes de trens magnètics, a partir de les quals es basarà la maqueta.

Quan es va començar la recerca d'informació sobre el tren, també es va intentar contactar amb persones relacionades amb el magnetisme o que n'haguessin construït un. Així, es van enviar missatges a persones amb canals a Youtube que ja haguessin fet un tren magnètic en busca d'assessorament i consell⁸. Així mateix es van buscar notícies relacionades amb els trens de levitació magnètica en busca de més informació a l'hora de començar a dissenyar la maqueta⁹.

3.2.- Experiències prèvies¹⁰

Amb la intenció d'apropar-se més al camp a estudiar, es proposen una sèrie de pràctiques enfocades a ampliar, contrastar i suportar les dades abans obtingudes.

La intenció d'aquestes pràctiques és la obtenció empírica de coneixements a partir d'aquestes. Aquestes experiències ajuden a l'hora d'entendre els conceptes, així que són un suport pràctic de la teoria.

Aquestes pràctiques van consistir, per exemple, a comprovar empíricament com funciona el camp magnètic d'un solenoide o el funcionament d'una brúixola, entre d'altres. A continuació es va procedir a fer un llistat de les pràctiques i a exposar quin objectiu es va plantejar per a cadascuna.

⁸ Veieu a l'annex 8.1 els missatges enviats

⁹ Veieu a l'annex 8.2 les notícies recollides

¹⁰ Trobareu fotografies tant del procés de les pràctiques com de la construcció dels models a l'annex 8.4.

Pràctica:	Què és vol demostrar?
Pràctica 1: Forces del camp magnètic	Què és un imant? Demostració pràctica d'algunes de les seves qualitats. Amb aquesta pràctica es vol veure quina és la principal característica d'un imant: la seva capacitat de crear camp magnètic. Això quedarà demostrat al introduir objectes ferromagnètics en l'interior del camp magnètic, que sofriran l'efecte d'aquest, essent atrets cap al imant.
Pràctica 2: Camp magnètic	Com fa la força un imant? Com és el camp magnètic? Quina forma té? Amb aquesta pràctica es vol comprovar empíricament quin és el comportament de les llimadures de ferro en un camp magnètic, de manera que per la seva posició es puguin intuir com serien les línies de camp del camp magnètic.
Pràctica 3: Interaccions entre imants	Què passa quan dos camps magnètics coincideixen? Quines forces resulten? La intenció d'aquest senzill experiment és observar a simple vista què passa quan dos camps magnètics coincideixen en l'espai i quines reaccions es donen entre ells.
Pràctica 4: Electricitat i magnetisme	Com es dona aquesta relació? Què implica? A partir de què es forma? Amb aquests dos exemples pràctics es volen observar dues aplicacions de l'electricitat en el magnetisme, a més d'observar com realment l'electricitat és una part del magnetisme, en certa manera.
Pràctica 5: Construcció d'una brúixola	Com funciona la brúixola? En què es basa? En aquesta pràctica es veurà experimentalment com funciona una brúixola a partir de la seva construcció. Veurem també com actua el dèbil camp magnètic de la Terra, base del funcionament de la brúixola.
Pràctica 6: Efecte Curie	Què és l'efecte Curie? Què comporta en aquest en el magnetisme? Com a breu introducció, l'efecte Curie és la característica dels materials ferromagnètics de perdre aquestes característiques magnètiques en un cert punt de temperatura. Amb aquesta experiència es veurà de manera pràctica aquest efecte.

Pràctica 7: Diamagnetisme de l'aigua	Tots els materials reaccionen igual en un camp magnètic? Com ho fa l'aigua? Amb aquesta pràctica es vol observar la repulsió "material" dels materials diamagnètics davant el camp magnètic. Per provar aquest fet, el material a comprovar és l'aigua, que és un material magnètic.
--	--

Pràctica 1 : Forces del camp magnètic

Objectius:

Observar les forces atractives del camp magnètic.

Material:

-Imant

-Ferro o semblant

Procediment:

Apropar el ferro i l'imat. Observar les forces que es donen.

Pràctica 2: Camp magnètic

Objectiu:

Observar experimentalment com actua el camp magnètic

Material:

-Imant

-Full de paper

-Llimadures de ferro

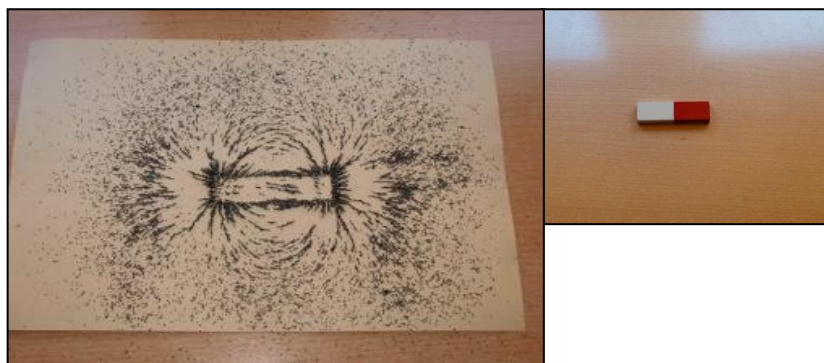


Fig 18: Visió de les línies de camp obtingudes a partir les llimadures de ferro en el camp de l'imat.

Font: Pròpia

Procediment:

Col·locar l'imat sota el paper.

Després, escampar suaument les llimadures per sobre del paper.

Pràctica 3: Interaccions entre imants

Objectiu:

Observar què passa quan en lloc de tenir un focus de magnetisme són dos.

Material:

-2 imants

-fil, per sostenir un imant

Procediment¹¹:

Acostar els imants pol a pol

Variar els pols a apropar.

Pràctica 4: Magnetisme i electricitat.

Pràctica 4.1: Construcció d'un electroimant

Objectius:

Demostrar experimentalment que electricitat i magnetisme van estretament lligats amb la construcció d'un electroimant.

Material:

-Pila de petaca

-Cable de coure

-Clau de ferro (millor gran)

-Agulla de ferro (val qualsevol metall capaç de ser imantat)

Procediment:

Enrotllar sobre un clau de ferro un cable de coure, intentant fer el màxim nombre de voltes possibles¹²

¹¹ Link a la demostració en vídeo als resultats

¹² Videodemostració: link als resultats

Pràctica 4.2: Corrent elèctric i una brúixola

Objectiu: Veure l'efecte d'un camp magnètic sobre una brúixola (Experiència d'Oersted)

Material:

- Material elèctric bàsic (pila i cables)
- Brúixola

Procediment:

Amb un circuit de cable connectat als dos borns de la pila tancat, apropar a la brúixola fins a notar una variació en la mateixa. Vegeu figura 19 per veure el funcionament.

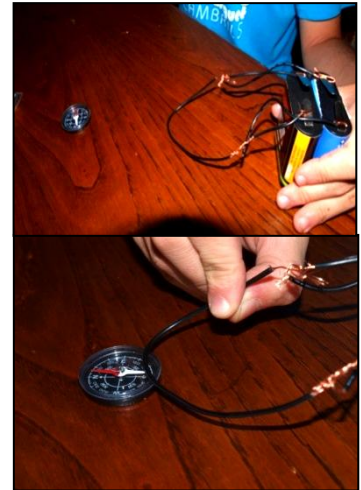


Fig 19: Força magnètica del corrent elèctric.

Font: Pròpia

Pràctica 5: Construcció d'una brúixola

Objectiu:

Veure la imantació de metalls de forma pràctica construint una brúixola. Veure també la propietat magnètica de la Terra.

Material (Figura 20):

- Agulla
- Imant
- Recipient amb aigua
- Tros de paper



Fig. 20: Material

Font: Pròpia

Procediment:

Fregar l'agulla contra l'imat de manera que sobre la meitat estigui el canvi de pol. Deixar surar l'agulla imantada sobre l'aigua enganxada al paper. Veure detalladament a la figura 21.



Fig 21 :Procés de l'experiment.

Font: Pròpia

Pràctica 6: Efecte Curie

Objectius:

Veure una característica del camp magnètic per la qual quan un metall arriba a un cert punt de temperatura es perd l'atracció del camp magnètic al que hauria d'estar adherit.

Material:

- Imant
- Vela
- Suport
- fil de coure
- anella de ferro
- Subjecció

Procediment:

Muntar una estructura de subjecció de la qual penguin el fil de coure i l'anella del seu extrem. Col·locar un imant suficientment a prop de l'anella com per ser una mica atreta. Sota l'imant es col·loca una espelma encesa. Observar.

Pràctica 7: Diamagnetisme de l'aigua

Objectius:

Observar els efectes que produeix un camp magnètic en un gra de raïm.

Material:

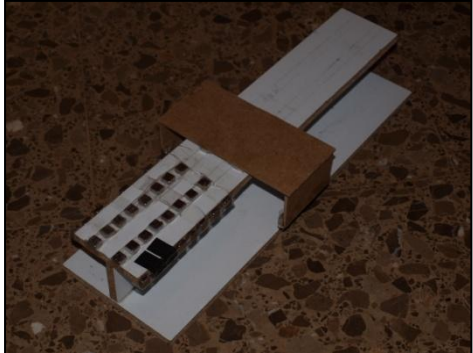
- Gra de raïm
- Fil
- Imant de neodimi
- Escuradents

Procediment:

Per fer estable el conjunt, punxar dos grans de raïm en un escuradents, i cordar-lo d'un fil. Sostenir el fil en l'aire i apropar un imant. Observar.

3.3.- Disseny i construcció: Primer prototip¹³

A partir d'aquest moment en el treball es comença a buscar completar l'objectiu principal del treball: Dissenyar i construir¹⁴ la maqueta de tren de levitació magnètica. A partir d'aquest punt es comença a dissenyar.

Primer prototip		
Base física	Repulsió magnètica	
Model d'inspiració	Trens EMS	
Sustentació	Repulsió magnètica vertical	
Estabilització	Repulsió magnètica horitzontal	
Propulsió	No introduïda encara	

Font: Pròpia

Així, després d'adquirir el coneixement suficient, el següent pas és la construcció del primer model de tren. La idea inicial era un carril en forma de T amb quatre files d'imants, dos per sobre i dos als costats. Per sobre, un vagó amb també quatre files d'imants, dos per sota i dos als costats per l'interior. La idea principal era que les quatre files d'imants laterals estabilitzessin el moviment lateral, centrant i immobilitzant el vagó.



Figura 22: Comparativa d'amplades en el primer model.

Font: Pròpia

Un cop acabada la construcció del primer prototip, es va observar que el vagó era incapaç d'encaixar en la via. Es va procedir a modificar-lo i fer-lo més ample per que encaixés; entenent que el problema era del vagó. Com es pot veure en la figura 22, l'amplada del carril i del vagó són relativament semblants, i tenint en compte que el camp magnètic generat entre tots dos per repulsió és bastant gran, l'amplada del vagó queda massa estreta per poder encaixar. Tot i això, aquest error no es va detectar fins a l'etapa de proves del prototip.

¹³ La maqueta és l'annex 8.5

¹⁴ Podeu veure tots els materials utilitzats en la construcció en l'apartat 3.6 de la metodologia

Després del petit infortuni, es va procedir a construir el segon model de vagó.

Tot i això, amb aquest model, més ample, seguia sent molt inestable. En aquest punt, es va intentar fer un tercer model de vagó, variant-ne l'amplada per tal que assegurés l'estabilitat al vagó. El intent va ser infructuós, i no es va aconseguir la levitació estable segons aquesta disposició.

3.4.- Disseny i construcció: Segon prototip¹⁵

Segon prototip		
Base física	Repulsió	
Model d'inspiració	Tren EDS	
Sustentació	Repulsió magnètica vertical	
Estabilització	Barreres laterals	
Propulsió	Impuls aerodinàmic	

Font: Pròpia

Com a base del segon prototip es va canviar de base: es va deixar enrere els imants com a mètode de estabilitat lateral per passar a objectes sòlids com a delimitants de la via, en aquest cas llistons de fusta.

Es va variar el model per passar a dues files d'imants en la via més separades que permeten la levitació del vagó amb quatre imants en la seva part inferior. Podreu veure els plànols en l'annex 8.3, on consta l'alçat, la planta i el perfil tant del vagó com de la via.

Després d'introduir el sistema de propulsió¹⁶ es va veure que el primer vagó no era suficientment potent per sostenir el sistema de propulsió. Només amb la pila, el tren es desequilibrava molt, doncs els imants del vagó, pel pes, arribaven gairebé a tocar amb els imants de la via, on l'atracció o repulsió dels pols es difumina i l'equilibri de la repulsió dels imants es fa més inestable. A partir d'un cert punt els imants deixen de fer repulsió per fer una força d'atracció. Així,

¹⁵ La maqueta és l'annex 8.6

¹⁶ Vegeu punt 3.6 de la metodologia.

degut al pes de la pila el vagó quedava enganxat a la via. Per suposat, es va haver de canviar el disseny del vagó.

El nou disseny té les mateixes dimensions que el seu predecessor, però en lloc de quatre imants a la seva part inferior en té deu. Va precedir aquest prototip un model intermedi amb vuit imants, amb el que es va comprovar, conjuntament amb el final, que més imants al carril donen més "uniformitat" en el camp creat pel vagó, i per tant, hi ha més camp per la sustentació i alhora, degut a la distància entre els imants, no hi ha la possibilitat de que un imant de la via entri entre ells; per tant, no existeix la possibilitat de que el tren quedi enganxat a la via.

3.4.1.- Mètodes de Propulsió

Davant l'èxit en la sustentació del tren, la idea de la capacitat pròpia de moviment va semblar atractiva.

-Sistema elèctric de propulsió aerodinàmica

En un principi, era simplement un circuit elèctric que accionava un motor, que al seu torn feia girar un hèlix, que donava el impuls suficient per propulsar el vagó al llarg de la via.

Com l'altre sistema, presenta certs avantatges i certs inconvenients:

Avantatges:

- Simplicitat del circuit elèctric
- Eficàcia demostrada en altres maquetes, trobades a la web

Inconvenients:

- Pes al vagó, doncs tot l'equip va muntat al vagó
- Crea la necessitat d'agafar el vagó per modificar el comportament del motor.

-Motor lineal síncron

Aquest mètode es basa en un circuit elèctric, que canvia el sentit del corrent cada cert interval de temps. Així, el que s'aconsegueix és variar la polaritat d'uns electroimants connectats al corrent, que exercint força sobre un imant o material ferromagnètic del vagó, produeix el moviment a través d'atracció i repulsió del mateix.

Avantatges:

- Fiabilitat en el resultats: comprovats en altes maquetes
- Capacitat "ràdio control": no es necessita tocar el vagó per encendre'l o apagar-lo.

Inconvenients:

- Preu, necessita un suport electrònic gran, a part dels electroimants, que és un fort inconvenient econòmic.
- Complexitat a l'hora de la construcció, doncs es necessita uns mínims de coneixement sobre el tema de l'electrònica, a més de la dificultat de muntar els circuits elèctrics necessaris.

Els trens Maglev reals, com ja s'ha explicat¹⁷, utilitzen un sistema de motor lineal síncron, amb uns electroimants molt poderosos, que fan levitar i impulsen el tren. Lògicament, en una maqueta d'aquestes dimensions era impossible recrear aquest sistema de manera exacta.

Així doncs, la millor manera que es va trobar per la propulsió horitzontal frontal de la maqueta va ser un circuit elèctric senzill compost per un pila que alimenta un motor que fa moure una hèlix, que li dóna la propulsió necessària per avançar.

¹⁷ Vegeu el punt 2.5 per veure més detalladament com funcionen els trens Maglev

3.5.- Disseny i construcció: Maqueta definitiva¹⁸

Tercer prototip		
Base física	Repulsió magnètica	
Model d'inspiració	Trens EDS	
Sustentació	Repulsió magnètica vertical	
Estabilització	Barreres laterals	
Propulsió	Impuls aerodinàmic	
		Font: Pròpia

Davant l'èxit aconseguit en el segon prototip, es va veure que, tot i que el model funcionava, es veien certs errors o imperfeccions, que d'una altra manera, es podrien haver estalviat. Principalment, aquests errors serien: l'ús de la cinta americana per assegurar els imants al carril i el pes del vagó.

Així, amb aquestes pautes al cap, es va proposar un nou model per la maqueta: tècnicament no afegia res de nou, però es solucionen els problemes del pes en el vagó, substituint el contraxapat per fusta de balsa. També es va buscar algun tipus de pega o cola més forta que el "superglue" utilitzat en el primer prototip, amb el qual al poc temps s'havien desenganxats uns quants. Aquesta nova pega es va trobar en una tenda especialitzada en maquetisme.

Aprofitant la nova construcció, també es va introduir una millora visual respecte el primer, de manera que els llistons de fusta utilitzats en el segon model són substituïts per dos llistons de metacrilat. Així, es pot veure clarament la levitació del vagó, qualitat que en el l'anterior prototip quedava reduïda només a la visibilitat frontal, degut a l'opacitat pròpia de la fusta utilitzada.

També, com a detall final, es va intentar amagar el circuit elèctric que fa moure l'hèlix. Per fer-ho es va proposar un disseny semblant al que podria tenir un tren Maglev EMS, com a millora visual. Es pot veure a l'annex 8.3 els plànols del model amb les vistes d'alçat, planta i perfil.

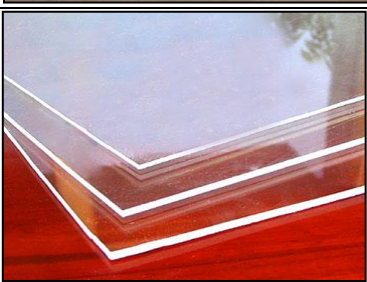
¹⁸ La maqueta és l'annex 8.7

3.6.- Elements utilitzats en la maqueta:

Per a la construcció de la maqueta, es van haver d'aconseguir certs materials, triant-los entre tots els possibles. A continuació es mostra la llista dels elements utilitzats.

Material	Ús	Foto:
Imants de neodimi:	Descripció: Mides: 10*10*5 mm Pes:4g Gauss en superfície: 4320 G S'han escollit aquests imants, pels següents motius: -Ràpida arribada, doncs venien des de Madrid, no com altres webs que els enviaven des d'Amèrica. -Relació mida-força. Pel seu volum, i la seva força en comparació amb altres imants, es va creure convenient escollir aquests imants. Els imants són de la pàgina web: http://demacmotor.net¹⁹.	 
Llistó de fusta	Per la maqueta, s'ha utilitzat dos tipus de llistó. Gairebé iguals en grandària i composició, la principal diferència és que un és de conglomerat i l'altre és fusta refinada. La utilitat en tots dos casos és la mateixa, són utilitzats com a carril doncs degut a la seva duresa i composició són perfectes per fer de suport.	

¹⁹ Captures de pantalla de la web a l'annex 8.8

Fullola	Utilitzada en el vagó, degut al seu pes, sobretot. Al ser un material lleuger però resistent va ser la primera i la millor opció per construir la base del tren, on després anirien els circuits elèctrics dels sistemes de propulsió. Més tard va ser substituïda per fusta de balsa, més lleugera i igualment robusta.	
Motor	Motor elèctric bàsic, de 9V. És la base principal, junt amb l'hèlix, del sistema de propulsió. Van ser necessaris dos pels dos vagons construïts.	
Pila de 9V i material elèctric	Pila seca, de 9V, utilitzada com a sistema d'alimentació. Cables de connexió al motor.	
Hèlix d'avió radio control	Utilitzada per la propulsió aerodinàmica del tren. Hèlix senzilla extreta d'un avió ràdio control avariàt. Es va haver de comprar una segona hèlix, que es pogués col·locar en l'entrada del segon motor.	
Metacrilat	Utilitzat com a barreres en la via del tercer model.	 Font: Imatge extreta de la pàgina http://www.comercioindustrial.net/productos.php?id=acr1&mt=acrilico

3.7.- Comprovació i avaluació del funcionament de la maqueta:

3.7.1.- Càlcul de la força magnètica entre dos imants:

Amb la fórmula exposada en la introducció²⁰, es va calcular la força que es crea sobre un imant en la levitació de la maqueta, reduint, hipotèticament, el tren a un sol imant, sobre una via suposadament infinita, de manera que l'únic sentit de la força sigui vertical al anul·lar-se els components horitzontals de cada costat, que seran iguals i de sentit contrari. Trobareu els càlculs a l'apartat dels resultats

4.5.- Comprovació i avaluació: resultats.

²⁰ Veieu apartat 2.6.- *Força de repulsió entre dos imants oposats pels pols* en la introducció

4. Resultats

4.1.- Resultats de pràctiques

Pràctica 1: Forces del camp magnètic

Com era d'esperar, l'imant atrau un cos de ferro quan està suficientment a prop. També es va observar que quan un cos ferromagnètic és amb contacte amb l'imant, passa també a imantar, de manera que també pot atreure objectes ferromagnètics, com es pot veure a la fotografia (Figura 23). Això es deu a que aquests són materials ferromagnètics, que augmenten la intensitat d'un camp magnètic dins del que hi són.

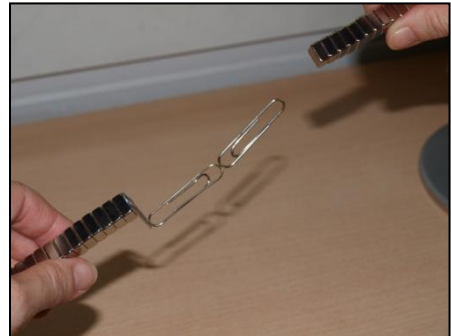


Figura 23: Resultat pràctica 1, clips sent atrets per dos imants.

Font: Pròpia

Pràctica 2: Camp magnètic

Segons la forma que creen les llimadures al ser dispersades sobre el camp magnètic, veiem certes corbes que van d'un pol a l'altre del imant, dibuixades per les llimadures (Figura 24). Aquestes es donen perquè les llimadures, ferromagnètiques, alineen els seus pols segons les línies del camp. D'aquesta manera tenim tots els imants amb la mateixa polaritat, i degut a l'atracció entre ells i el seu contacte, s'atreuen. Les línies de camp són només un concepte, i queden mostrades quan diverses llimadures en distàncies on hi ha el mateix camp magnètic queden unides.



Figura 24: Línies de camp en el camp magnètic, resultat pràctica 2

Font: Pròpia

En l'experiment, es pot veure com aquestes línies formades per les llimadures descriuen una forma semblant a una el·lipse. També es pot veure com aquestes el·lipses es fan més grans a mesura que augmenta la distància respecte l'imant, i que els punts on coincideixen aquestes formes són els pols. Això és perquè als pols conflueixen totes les línies de camp, i per tant és on el camp és més fort.

Pràctica 3: Interaccions entre imants:

Amb aquesta pràctica hem comprovat com dos pols oposats s'atreuen, mentre que dos pols iguals es repelen. Això es deu a que les línies de camp es combinen quan els pols són diferents degut a que van en el mateix sentit. Quan els pols són iguals, en canvi, no es poden combinar, sinó que s'oposen, creant una força repulsiva entre ells. Trobareu el resultat de la pràctica al següent link: <https://www.youtube.com/watch?v=nI2K8aN9hoU>

Pràctica 4: Magnetisme i electricitat

Com s'ha pogut comprovar en aquesta pràctica, l'electricitat està fortament relacionada amb el magnetisme, doncs ja sigui a partir de solenoides o del propi corrent en el conductor, es va comprovar que cossos amb corrent elèctric produeixen camp magnètic al seu voltant. Trobareu el resultat de la pràctica 4.1 al següent link:

<https://www.youtube.com/watch?v=ocgRtZFzuao>

Pràctica 5: Construcció d'una brúixola

Es va comprovar, per un costat, que qualsevol cos imantat sofreix una força molt dèbil per la Terra, que té camp magnètic degut a la quantitat de ferrita que té al seu nucli. Aquests cossos imantats tendiran sempre a alinear-se amb el camp, per dèbil que sigui. Així, un objecte imantat com l'agulla fregada amb l'imant, al no tenir gaire fregament ni forces que el subjectin pel fet de surar en l'aigua, s'alinea amb el camp de la Terra.



Figura 25: Comparació entre les agulles, totes dues apunten en la mateixa direcció. Resultat pràctica 5

Font: Pròpia

Pràctica 6: Efecte Curie

Amb aquesta pràctica es va observar l'efecte Curie, veient que, quan un objecte ferromagnètic arriba a certa temperatura, perd aquestes característiques. Així, quan el ferro s'escalfava suficient, deixava de ser atret per l'imant. Perdia les seves característiques ferromagnètiques, passant a adquirir les característiques paramagnètiques. Trobareu el resultat de la pràctica al següent link: <https://www.youtube.com/watch?v=KKT-ZVg9s74>

Pràctica 7: Diamagnetisme de l'aigua

Degut al diamagnetisme de l'aigua continguda en el raïm, molt sutilment el raïm s'anava allunyant del imant. Això es deu, efectivament al diamagnetisme de l'aigua, segons el qual, en lloc de sentir-se atret per l'imant, es sent repel·lit. Aquest efecte succeeix a causa de l'alta concentració d'aigua en el raïm. Trobareu el resultat de la pràctica al següent link: <https://www.youtube.com/watch?v=fOiWnAzhosc>

4.2.- Primer prototip

Com a primer prototip que era, tenia moltes possibilitats de tenir molts problemes només començar; només pel fet de ser el primer i per la falta d'experiència, i així va ser.

Es van fer diverses proves amb el primer model, però en cap va ser funcional. El vagó no va aconseguir cap cop la levitació estable sobre el carril, de manera que sempre acabava enganxant-se al carril, per la desestabilització del propi carril, tot i crear tres vagons diferents.

Es van intentar ajustar les dimensions dels vagons fins a dues vegades a partir de l'original, i tot i així no es va aconseguir l'equilibri.

Principalment, el problema venia donat per les mesures inadequades de la via: la via era massa petita pel camp generat pels imants, de manera que els camps es solapaven fortament en els punts que havien d'estar els imants del vagó, de manera que fins i tot si s'hagués trobat l'equilibri, el mateix camp l'hauria trencat pel més mínim moviment, de manera que era molt difícil trobar aquest equilibri.

Així, una possible solució al problema hagués estat canviar tota la via, i reconstruir-la des de zero. Malgrat la possibilitat, no es va considerar com a efectiva, per diversos motius. Principalment, per la inestabilitat pròpia dels imants, que feia que, tot i tenir la distància adequada, no tenia la seguretat que el vagó levités estable.

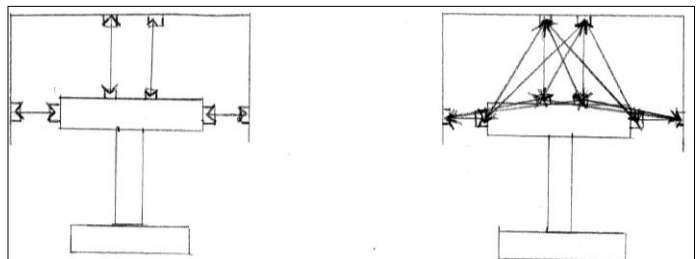


Figura 26: A l'esquerra, forces esperades inicialment en el primer prototip. A la dreta, forces reals més tard percebudes, també en el primer prototip.

Font: Pròpia

També es va veure que el disseny, a gran escala, utilitzava molts imants, i que hi havia models més estables amb menys imants. Així, la solució per la que es va optar va ser la construcció des de zero d'un nou model de via.

4.3.- Segon prototip

El segon prototip ja presentava millores substancials respecte el primer, principalment per la levitació estable. El primer model de vagó ja era funcional, doncs, tot i que a estrebades, levitava a certa altura.

En el intent de fer-lo motoritzat es van trobar certes limitacions: principalment, que el vagó no tenia suficient força per mantenir levitant només el pes del motor, sense intentar-ho amb la pila, l'interruptor i la resta del circuit. Això provocava un desequilibri, que provocava que el vagó quedés enganxat a la via pels laterals dels imants, on els la força pol-pol és menys forta.

En el segon model de vagó, el problema del pes es va arreglar afegint-hi més imants al vagó de manera que el camp magnètic generat era més uniforme. Així, a més, hi ha més forces de repulsió, que fan que el vagó leviti a més altura. Aquestes forces també van servir per assegurar la levitació amb el sistema d'impuls, que era pes afegit.

Les mancances del prototip eren, principalment, el fet de les estrebades durant el moviment, produïdes pel pes del vagó, i un problema simplement visual, doncs, si no es mirava frontalment, pels materials amb els que estava feta la via, no s'apreciava la levitació.

Per aquestes petites deficiències es va proposar un tercer prototip, on es veiés bé la levitació, doncs en el segon no es distingia. També es volia, amb aquesta mentalitat, evitar l'excés de pes que provocava que el vagó no avancés fluidament, i per això es va veure oportú intentar disminuir el pes del vagó.

4.4.- Maqueta definitiva

Primerament, i com a millora, es va introduir un sistema de propulsió capaç d'anar en tots dos sentits. Així, a través d'un doble commutador, podem canviar el sentit del corrent que travessa un motor. Per tant, tenim una hèlix capaç de girar en tots dos sentits i, per tant, moure l'aire en tots dos sentits per impulsar el vagó endavant i endarrere.

El primer disseny que es va fer del carro no va ser funcional. Es va intentar que tingués forma semblant a un tren EMS, però en l'intent no es va considerar el flux d'aire que mou el tren i no va funcionar. A més, degut al pes desigualment distribuït sobre el vagó, el tren era molt difícil d'estabilitzar, produint que necessités més pes, que produïa que el tren no pogués levitar estable i que donés bots.

Aquest conflicte va provocar que es necessités una modificació del vagó prototip. Tenia les mateixes característiques magnètiques, però la forma del vagó era diferent, el model d'inspiració van ser els trens EDS. Aquest segon vagó respectava més el flux d'aire, de manera que, tot i que es notava canvi entre un sentit i l'altre, el vagó es desplaçava en tots dos sentits.

Tot i això, el vagó donava molts problemes a causa dels bots que donava, produïts pel pes. Quan els imants estaven alineats i feien la màxima força levitava a l'altura necessària per moure's, però quan començava a moure's els imants deixaven d'estar alineats i no feien la mateixa força, cosa que feia que el vagó botés sobre la via. Aquets bots provocaven que la part del motor es mogués contínuament, i feia que l'hèlix toqués el terra i es desenganxés. Per suposat, no es va considerar com a vàlid el model.

La solució que es va trobar era la més evident però la més costosa: per reduir les baixades, omplir els forats amb imants crearia un altre camp sobre el que es sostindria el vagó. El problema és que les forces que es creen entre imants són molt potents, i per enganxar-los al vagó es necessita molta força, igual que per aguantar-los. Tot i això, la cola va servir.

També va haver-hi un altre problema que no s'havia detectat en el primer vagó: la cola que sobresortia del vagó fregava amb la paret, de manera que

frenava el vagó si tocava la paret. El problema no va ser detectat de primeres, doncs segons el sentit del vagó tocava en una paret o una altra, i observant el comportament del vagó sobre la via es va observar els punts de contacte. Aquest problema es va solucionar retirant tota la cola sobrant de la vora del vagó.

Així, finalment, es va considerar com a vàlid el tercer model, funcional, motriu i estable.

4.5.- Comprovació i avaluació: Resultats

4.5.1.- Càlcul de la força: 2 imants alineats

Es suposa un imant del tren i un alineat del carril. A partir de l'expressió que s'exposa a la introducció, i com que tots dos imants són iguals, i no importa la orientació, podem dir que tenen el mateix moment dipolar $|\vec{m}|$. (eq. 3)

$$|\vec{m}_1| = |\vec{m}_2| = m \quad \text{eq. 3}$$

I així, la equació queda:(eq. 4)

$$|\vec{F}| = \frac{3 \mu_0}{2 \pi r^4} m^2 \quad \text{eq. 4}$$

Segons la segona llei de Newton, i com l'imat (de massa m_i) al levitar està en equilibri, podem dir que la força produïda és la mateixa que la que produeix la massa de l'imat. Així, la força tindrà el mateix mòdul que el pes de l'imat que levita. Així tenim $|\vec{F}| = m_i \times g$. I l'equació final queda: (eq. 5)

$$m_i \times g = \frac{3 \mu_0}{2 \pi r^4} m^2 \quad \text{eq. 5}$$

Amb aquesta expressió podrem trobar m , a partir de la qual podrem tornar a la equació del mòdul de la força i trobar-ne el valor. El procés és el següent: (eq.6)

$$m = \sqrt{\frac{m_i g 2 \pi r^4}{3 \mu_0}} \quad \text{eq.6}$$

Sabent que l'imant pesa 4g. S'ha comprovat que un imant levita a 5.2 cm de l'imant que té per sota. Sabem també que la permeabilitat magnètica en el buit és de $4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/a}$. Sabent també que la gravetat és 9.8 m/s^2 , es dedueix el valor del moment dipolar: (eq. 7)

$$m = \sqrt{\frac{0.004 \times 9.81 \times 2 \times \pi \times 0.052^4}{3 \times 4 \times \pi \times 10^{-7}}} = 0.6915 \text{ A m}^2 \quad \text{eq. 7}$$

Traslladant totes les dades a l'equació 4 es troba el mòdul de la força que exerceix un imant del rail sobre un dels imants que leviten. eq.8

$$|\vec{F}| = \frac{3 \times 4 \times \pi \times 10^{-7}}{2 \pi \times (0.052)^4} \times (0.6912)^2 = 0.03921 \text{ N} \quad \text{eq.8}$$

Comprovem si els càlculs són correctes: segons la segon llei de Newton, el pes de l'imant hauria de ser el mateix que la força que s'exerceix contra ell per estar en equilibri: (eq. 9)

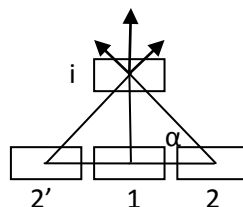
$$P = m \times g = 0.004 \times 9.8 = 0.0392 \text{ N} \rightarrow P \cong |\vec{F}| \quad \text{eq.9}$$

Per tant, queda comprovat que com era d'esperar en l'equilibri el pes de l'imant que levita és igual a la força magnètica que s'exerceix sobre ell.

4.5.2.- Càlcul de la força aproximada que exerceixen tres o més imants del rail sobre un dels imants del tren

A continuació, es vol tenir en compte que l'imant al levitar està sobre la via, i existeixen altres imants que també fan força sobre el que levita. Aquesta força és menor, doncs estan més lluny i no exactament alineats.

Per tant es suposa que es tenen 3 imants a la via, tal com es mostra a l'esquema següent:



La força que exerceix l'imat 1 sobre l'imat i, que està levitant, ja s'ha calculat anteriorment i és F_1 . De l'equació 8 es tenia que el mòdul de la força era $F_1 = 0.03921N$

Per veure com afecten els altres dos imants caldria descomposar la força que exerceix l'imat 2 sobre i, així com la força que exerceix l'imat 2' sobre i, on s'haurà de tenir en compte que la distàncies han canviat.

S'anomena:

r_1 : distància de l'imat i a l'imat 1

r_2 : distància de l'imat i a l'imat 2

$r_{2'}$: distància de l'imat i a l'imat 2'

Per geometria les components horitzontals de la Força s'anul·len, per tenir el mateix mòdul i sentit contrari i només s'haurien de sumar les components verticals és a dir:

$$F_T = F_1 + F_2 \sin \alpha + F_2 \sin \alpha \quad \text{eq.10}$$

Per simetria del problema $r_2 = r_{2'}$ i la relació entre r_1 i r_2 és la següent:

$$r_2 = \frac{r_1}{\sin \alpha} \quad \text{eq.11}$$

$$\text{Així } F_1 = \frac{3\mu_0}{2\pi r_1^4} m^2 \text{ i } F_2 = \frac{3\mu_0}{2\pi r_2^4} m^2 \quad \text{eq.12 i 13}$$

Si es substitueix la relació entre r_1 i r_2 , es té:

$$F_2 = \frac{3\mu_0}{2\pi r_2^4} m^2 = \frac{3\mu_0}{2\pi \left(\frac{r_1}{\sin \alpha}\right)^4} m^2 = F_1 \sin^4 \alpha \quad \text{eq.14}$$

$$\text{Per tant, } F_T = F_1 + F_1 \sin^5 \alpha + F_1 \sin^5 \alpha = F_1 + 2F_1 \sin^5 \alpha \quad \text{eq.15}$$

Si es mesura sobre la via la distància entre l'imat (i) i l'imat (1) tenim r_1

Si es mesura la distància entre (1) i (2) i a continuació utilitzem el Teorema de Pitàgores s'obté r_2 .

$$r_1 = 5.2 \text{ cm}$$

$$r_2 = \sqrt{(5.2)^2 + (1.5)^2} = 5.4 \text{ cm}$$

$$\text{Per l'equació 11: } \sin \alpha = \frac{5.2}{5.4} \rightarrow \alpha = 74.4^\circ$$

I aleshores, utilitzant l'expressió de l'equació 14 la força total produïda per tres imants de la via sobre l'imat que levita és:

$$F_T = 0.03921 + 2 \times 0.03921 \times \left(\frac{5.2}{5.4}\right)^5 = 0.10414 N$$

I si es vol generalitzar, per calcular la força que exerceix una filera de 5 imants sobre un imant del tren seria:

$$F_T = F_1 + 2F_1 \sin^5 \alpha_2 + 2F_1 \sin^5 \alpha_3 \quad \text{eq.15}$$

I sumant cada cop més components es podria anar veient com afecten els imants successius i s'observaria com cada cop la força que exerceixen és més menyspreable.

$$F_T = F_1 + 2F_1 \sin^5 \alpha_2 + 2F_1 \sin^5 \alpha_3 + 2F_1 \sin^5 \alpha_4 + 2F_1 \sin^5 \alpha_5 + \dots \quad \text{eq.16}$$

De fet, és important destacar que sempre es tindria una component vertical de força magnètica responsable de la levitació de l'imant.

Lògicament per la complexitat del càlcul només es considera un imant del tren i es té en compte una única filera dels rails.

5. Conclusions

Els primers objectius d'aquest projecte eren aprendre sobre els punts bàsics del magnetisme i els trens de levitació magnètica, cosa que s'ha fet durant l'elaboració de la introducció. S'ha assolit una idea molt ampla del que és el magnetisme i també amb aquesta recerca s'ha obtingut una idea més general de què són i com funcionen els trens Maglev.

A partir de l'estudi dels trens magnètics, s'ha pogut veure que són un mètode de transport modern, molt eficient, ofereixen una velocitat alta i consum menor d'energia perquè redueixen el fregament. A més, teòricament són més segurs, doncs la forma de la via no permet els descarrilaments, i també són menys propensos a errors humans, degut a que gairebé tots els processos són controlats per màquines.

També s'ha pogut comprovar que el tren Maglev presenta millores substancials respecte els seus predecessors convencionals. I, aleshores, com és que no s'implementen a tot arreu com a substitut de ferrocarril actual?. Doncs bé, com tot allò nou i diferent, necessiten una infraestructura capaç de suportar el nou tipus de sistemes. I, és clar, aquesta infraestructura és cara. Calen força recursos i això té un cost energètic, que no es resol a curt termini, cosa que fa que les possibles empreses que el poguessin introduir no tirin endavant aquests projectes.

S'han comparat els diferents sistemes EMS, EDS i Inductrack i s'ha realitzat una taula amb els principals avantatges i inconvenients que presenten.

Pel que fa a les pràctiques, s'ha completat la recerca d'informació amb l'experiència extreta de les diferents pràctiques realitzades, que mostraven, principalment, els efectes del magnetisme o d'un camp magnètic en la matèria i la seva relació amb l'electricitat.

Un dels principals objectius del treball era el disseny i la construcció d'una maqueta de tren de levitació magnètica. S'han construït fins a tres maquetes de tren magnètic i s'han realitzat plànols amb Autocad 2011 dels 2 models funcionals. En cadascuna d'elles s'ha justificat la seva base física, el model d'inspiració, el tipus de sustentació, l'estabilització i el sistema de propulsió. A

partir de la idea inicial s'han millorat o canviat els diferents prototips fins al definitiu.

El primer model no va funcionar degut a la inestabilitat de la repulsió magnètica. Es confiava en aquesta força per mantenir l'equilibri, i degut a aquesta inestabilitat no funcionava. S'hagués necessitat un sistema d'electroimants per un camp magnètic variable per ajustar la força i mantenir el vagó estable, sistema fora de les possibilitats.

Ja en el segon model, es va prescindir del sistema d'estabilització magnètic proposat, mostrant millors resultats. Quan es va veure que funcionava, es va proposar un sistema per que el tren tingués la capacitat de moviment. Es va introduir i els resultats van ser satisfactoris.

Finalment, amb el tercer prototip es va aconseguir el propòsit d'un tren tancat amb una levitació estable i propulsat. El problema que aleshores va sorgir va ser el pes. Amb l'estructura de la coberta i el motor amb tot el circuit elèctric, hi havia un augment de pes important respecte l'anterior vagó. De fet, aquest va ser un dels motius pels quals no es va tirar endavant el primer vagó del tercer model, pel pes del plàstic amb tota l'estructura que el sostenia, més gran que la del següent. Es va arribar a la conclusió que per solucionar el problema calien més imants, tot i que era molt difícil enganxar-los per les forces tan fortes que es creen entre ells.

S'ha comprovat principalment en aquest darrer model, el rol que juga el fregament en els trens magnètics. Malgrat la maqueta no és perfecta, ni tècnicament ni físicament el fregament que es produeix frena bastant el tren, fent que no avanci tot el que podria si no existís fregament. Podria haver estat més eficient amb un sistema de motor lineal síncron, però era un mètode fora de l'abast per la quantitat de recursos i coneixements que requeria. També es podrien haver utilitzat materials superconductors però eren exageradament cars i per tant inaccessibles.

Finalment, s'ha calculat de forma simplificada la magnitud de la força magnètica que exerceix un dels imants de la via sobre un dels imants del tren i s'ha comprovat que quan levita, en l'equilibri, coincideix amb el seu pes 0.0392 N. Així com també s'ha justificat com seria el càlcul si es tinguessin en compte més

imants, però per falta de coneixements matemàtics no s'ha continuat. De fet s'observa que l'expressió depèn de la potència cinquena del sinus (valor que oscil·la entre -1 i 1) i per tant a mesura que ens allunyem de l'imant que levita, i sigui menor l'angle, també serà menor la contribució a la força total i per tant menyspreable.

6.- Valoració personal

Tot i que el projecte ha estat un èxit, doncs s'ha aconseguit un tren levitant, autopropulsat i estable, aquest no és el final de les maquetes de tren de levitació magnètica. Hi ha molts punts a millorar.

Es poden reduir el nombre d'imants utilitzats si s'aconsegueix muntar un circuit amb superconductors. També es pot introduir el sistema de motor lineal síncron per millorar la propulsió.

Fins hi tot es podria canviar el mètode d'estabilitat lateral per un que no ofereixi (tanta, com a mínim) resistència.

Per tal de comprovar la seva eficiència, es podria comparar la velocitat assolida en el carril per un tren tradicional amb rodes i el tren de levitació magnètica.

A partir d'un petit projecte de construcció d'una maqueta podríem acabar en una forma més eficient de transport real.

7.- Bibliografía

ESCRITOS CIENTÍFICOS. Apuntes física

<http://www.esritoscientificos.es/apunfisi/inicio>

PROGRAMA EXPLORA. ¿Puede un tren volar?

http://www.explora.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=577:ipuede-un-tren-volar&catid=203:ciencias-fisicas-y-matematica&Itemid=1090

EL PAÍS. Japón tendrá tren de super alta velocidad por levitación magnética en 2027

http://economia.elpais.com/economia/2013/09/18/agencias/1379482891_771149

WEBACADEMIA. CONOCEMOS TODO. Suspensión electrodinámica, Tipos, Utiliza, Principios, Estabilidad

http://centrodeartigos.com/articulos-utiles/article_121334.html

ENCIGA. Ensinantes de Ciencias de Galicia. PRACTICAS Y EXPERIMENTOS DE FISICA. Electricidad y Magnetismo.

<http://www.enciga.org/taylor/pr/practicas.html>

FIERAS DE LA INGENIERIA. JR-Maglev, el tren más rápido del mundo.

<http://www.fierasdelaingenieria.com/jr-maglev-el-tren-mas-rapido-del-mundo/>

ESTUDIO DE LAS APLICACIONES PRÁCTICAS DE LA LEVITACIÓN MAGNÉTICA. (TRENES MAGLEV). Gabriel Perren

<http://www.fceia.unr.edu.ar/~fisica3/MagLev.pdf>

SLIDESHARES. Camp Magnetic. Lurdes Morral

<http://www.slideshare.net/lumorral/camp-magntic-5778368>

Regulator Cetrisa. Separación de Metales. El Magnetismo. Tipos de materiales.

<http://www.regulator-cetrisa.com/esp/magnetism.php?section=materials>

ESSORTMENT. How Maglev Trains Work.

<http://www.essortment.com/maglev-trains-work-40054.html>

NINPOPE-PHYSICS. MAGNETIC LEVITATION TRAINS. Alex Landovskis and Veronique Rondeau.

<http://ninpope-physics.comuv.com/maglev/howitworks.php>

WIKIMAGLEV. Tren de Levitación Magnética

(Maglev). http://es.maglev.wikia.com/wiki/Wiki_Maglev

QUEVEDO LÓPEZ. ROGELIO, Experimentos, Perea Ediciones. 1992

VANCLEAVE, JANICA. Física para niños y jóvenes, 101 experimentos superdivertidos. Noriega Editores. Cinquena impressió, 2000.

GARRIDO LÓPEZ, ANTONI. Física II. Editorial Edebè, Edició de 2009.

A. TIPLER, PAUL. Física, títol original: Physics, second edition. Segona edició. Editorial Reverté S.A. 1989. Tom II.

8.- Annexos

8.1.-Recerca de contactes en el món de la levitació magnètica

Enviados

Eliminar

1-1

☐ Para	Asunto	Fecha
☐  Andrea Cruz	Tren Magnético Hola Andrea, Verás, soy un estudiante de Bachiller y tengo que hacer un proyecto y he elegido hacerlo sobre el magnetismo, y como práctica voy a hacer una maqueta de tren magnético. He buscado y he encontrado tu video en youtube, que me va a ser de utilidad. Pero una pregunta, pones los imanes del rail a esa distancia por algo, o por que has calculado la distancia de alguna manera, por que tiene que ser esa?. Es que soy bastante nuevo en esto del magnetismo y no lo entiendo todo bien. Tiene alguna razón los 4.5 cm entre los imanes del rail o es por que tu decidiste hacerlo así? Espero tu respuesta y gracias por las molestias. Sergio Enviado a: Andrea Cruz Eliminar	28/06/13

8.2.- Recull notícies tren magnètic

<http://www.abc.es/economia/20130605/abci-japon-tren-magnetico-201306051522.html>

La companyia Japan Railwai Co (JR Tokai) va provar aquest dimarts un nou prototip de tren d'alta velocitat capaç d'aconseguir els 500 km / h gràcies a la tecnologia maglev. Planeja que entri en servei a l'any 2027 per cobrir la ruta Tòquio-Nagoya reduint a la meitat el temps que triguen els trens bala actuals: de 90 a 40 minuts.

<http://www.vanguardia.com.mx/japonapuestaalfuturodelostrenesdelevitacionmagnetica-1899554.html>

El tren bala de Shincansen, iconografia del Japó, després de 50 anys necessita una actualització davant la rivalitat de les noves tecnologies. Però un ambiciós projecte a molt llarg termini es troba amb problemes econòmics (falta d'inversors, economia en descens) i de demanda del servei per descens de la demografia a llarg termini. Malgrat tot busquen exportar aquesta tecnologia als EUA per connectar Nova York i Washington DC en menys d'una hora.

<http://www.oem.com.mx/eloccidental/notas/n3246668.htm>

Quatre holandesos majors de 60 anys són els creadors del projecte "Suyzer" que consisteix a construir una xarxa de túnels pels que viatjaran "bombolles", sense motor, amb sis rodes (4 baix i 2 dalt) que es mouen gràcies als camps magnètics dels tubs. Aposten per un transport econòmic, ecològic i ràpid.

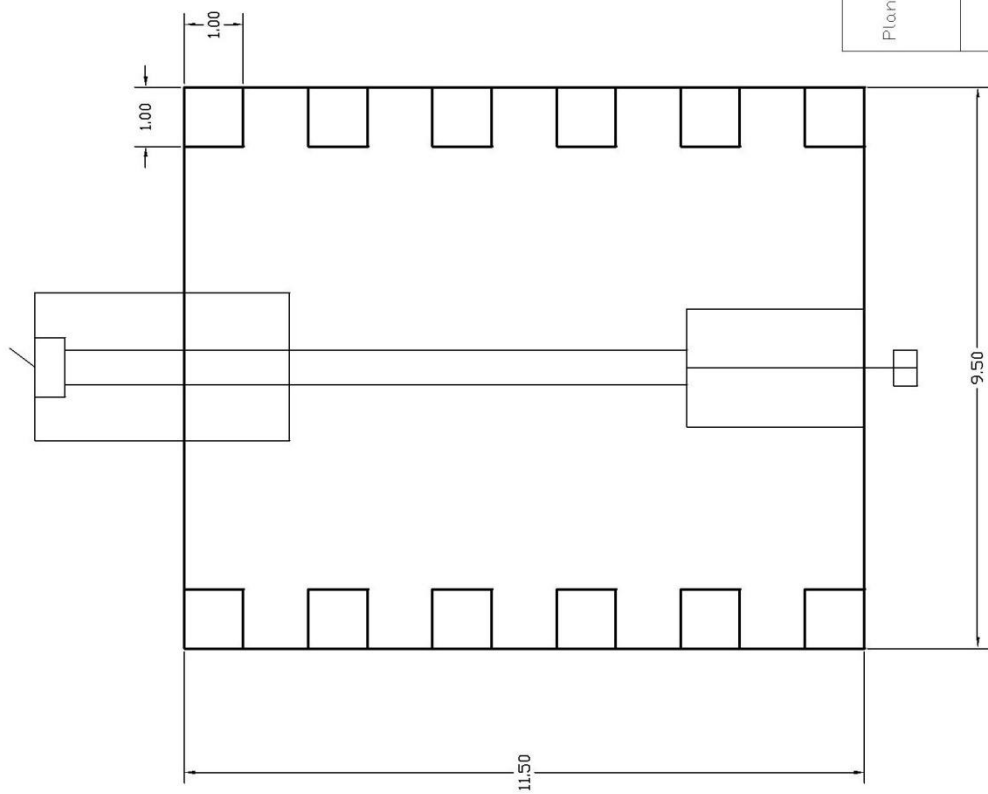
Tot i no parlar exactament del tren de levitació magnètica, sí que fa referència a una altra possible aplicació del magnetisme en els transports.

8.3.- Plànols

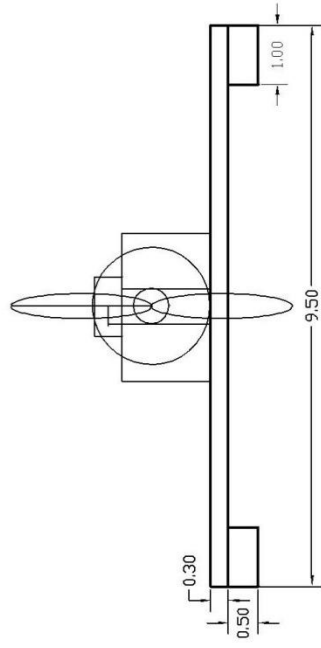
Llistat de plànols:

Vagó Segon Model	
8.3.1.- Planta vagó 2	Planta vagó segon model
8.3.2.- Alçat vagó 2	Alçat vagó segon model
8.3.3.- Perfil vagó 2	Perfil vagó segon model
Via Segon Model	
8.3.4.- Planta via 2	Planta via segon model
8.3.5.- Alçat via 2	Alçat via segon model
8.3.6.- Perfil via 2	Perfil via segon model
Vagó Tercer Model	
8.3.7.- Planta vagó 3	Planta vagó tercer model
8.3.8.- Alçat vagó 3	Alçat vagó tercer model
8.3.9.- Perfil vagó 3	Perfil vagó tercer model
Via Tercer Model	
8.3.10.- Planta via 3	Planta via tercer model
8.3.11.- Alçat via 3	Alçat via tercer model
8.3.12.- Perfil via 3	Perfil via tercer model

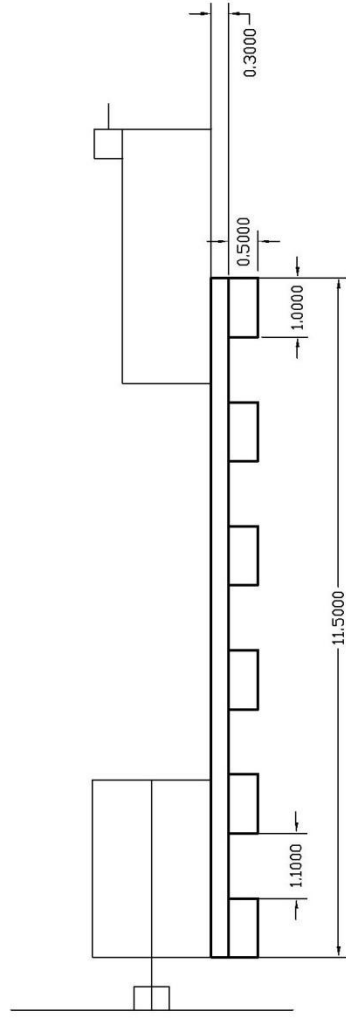
Puntualitzar que pot ser que les mesures i l'escala dels plànols quedin lleugerament modificades o escalades al ser incorporades al treball. Tot i això, en els plànols realitzats amb Autocad 2011, les mesures són les correctes.



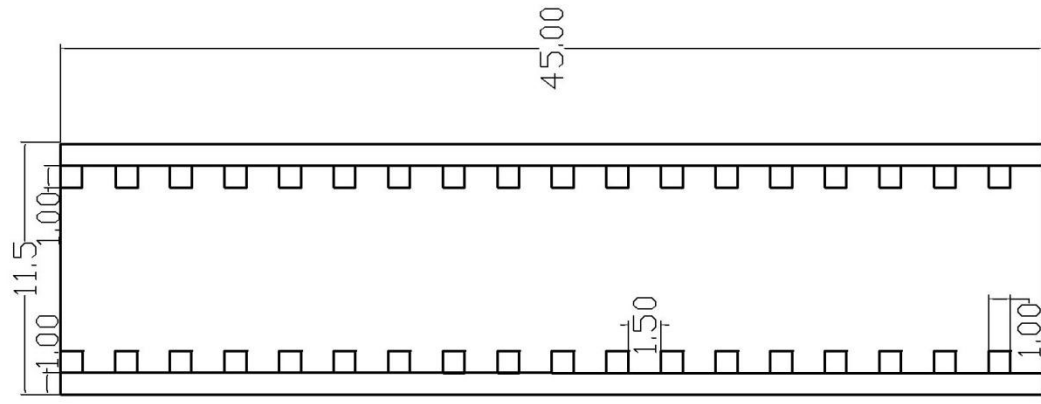
Planta del tren 2		Plànol 1	Col·legi Sagrat Cor de Tarragona
Escola 1:1	Treball de recerca: Maqueta Tren Magnètic		



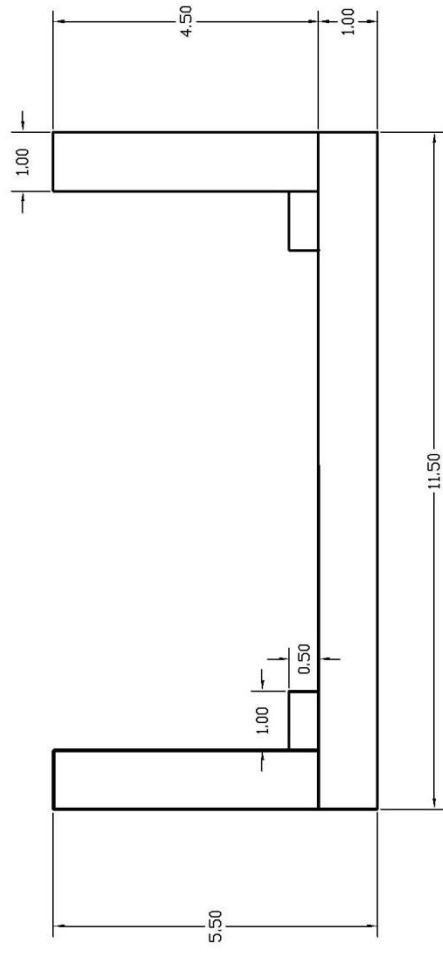
Alçat del tren 2	Plànot 2	
Escola 111	Treball de recerca: Maqueta Tren Magnètic	Col·legi Sagrat Cor de Tarragona



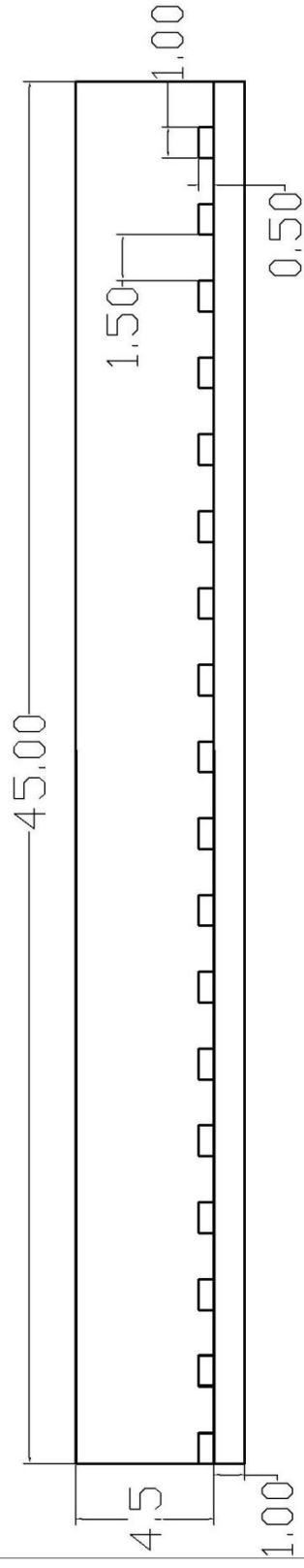
Planta del tren 2		Plànol 3	
Escola 1:1	Treball de recerca: Maqueta Tren Magnètic	Col·legi Sagrat Cor de Tarragona	



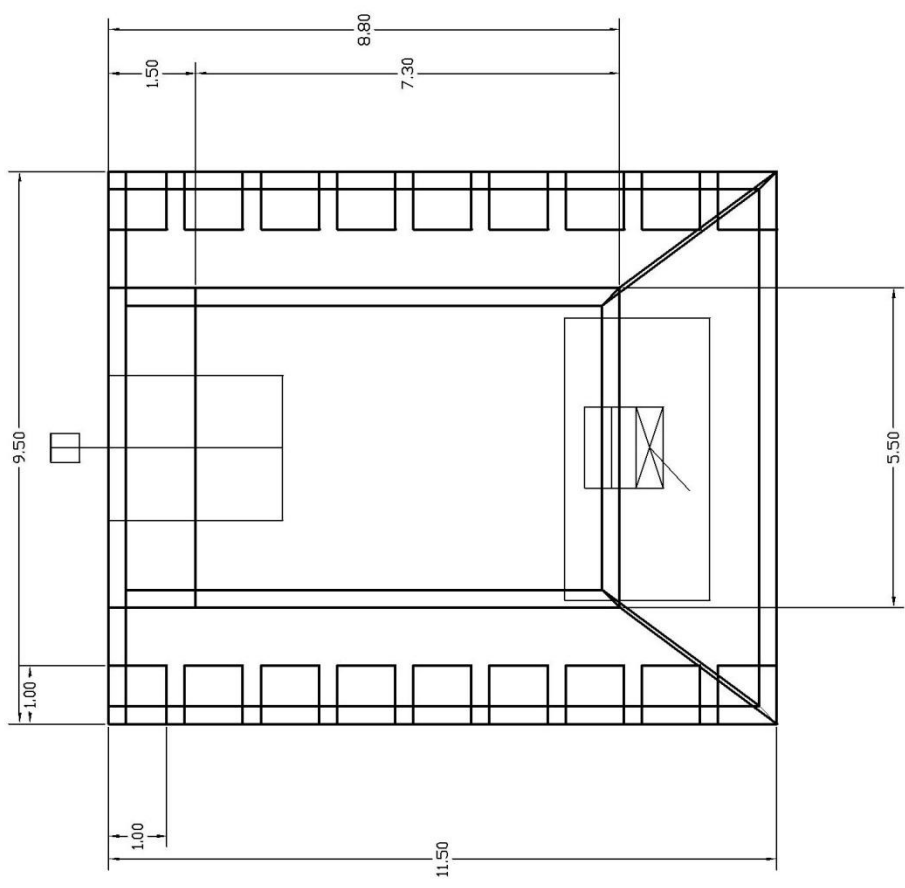
Planta del tren 2		Plànol 4	Col·legi Sagrat Cor de Tarragona
Escola II	Treball de recerca: Maqueta Tren Magnètic		



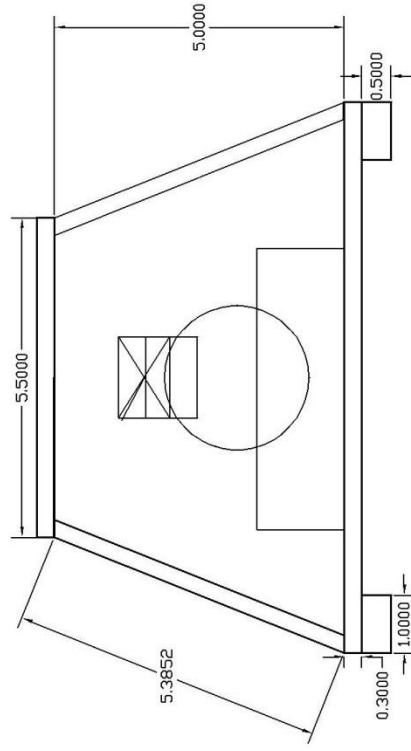
Planta del tren 2		Plànol 5	
Escala 1:1	Treball de recerca: Maqueta Tren Magnètic	Col·legi Sagrat Cor de Tarragona	



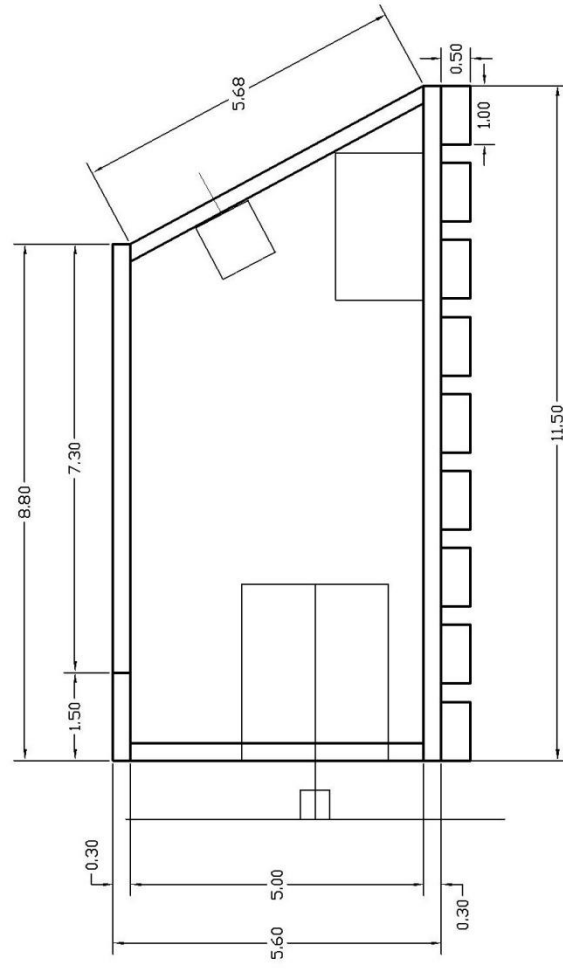
Perfil del tren 2		Plànol 6	
Escola 11	Treball de recerca: Maqueta Tren Magnètic	Col·legi Sagrat Cor de Tarragona	



Planta del tren 3		Plànol 7	
Escala 1:1	Treball de recerca: Maqueta Tren Magnètic	Col·legi Sagrat Cor de Tarragona	



Alçat del tren 3		Plànol 8	
Escola II	Treball de recerca: Maqueta Tren Magnètic	Col·legi Sagrat Cor de Tarragona	



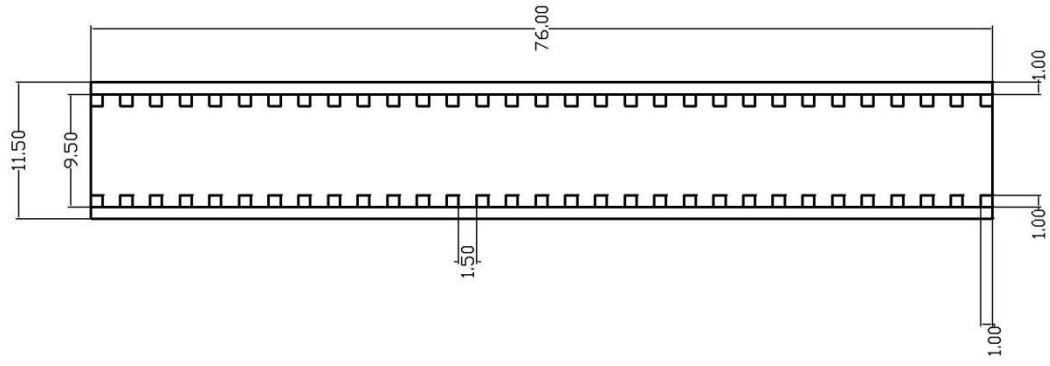
Perfil del tren 3

Plànol 9

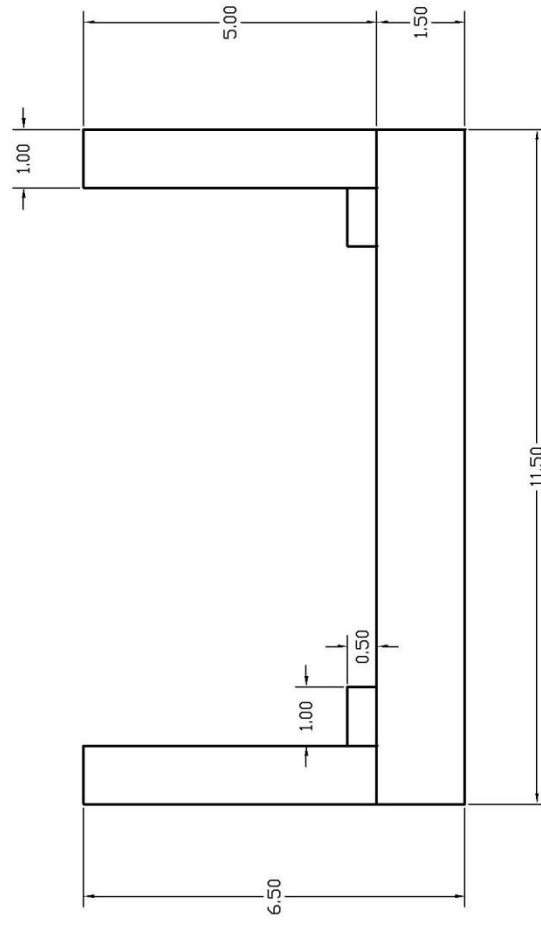
Escola
1a

Treball de
recerca:
Maqueta
Tren Magnètic

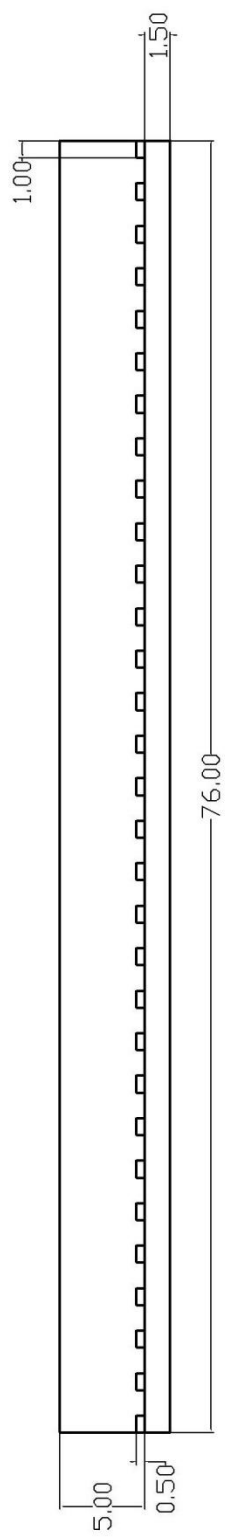
Col·legi Sagrat
Cor de
Tarragona



Planta del tren 3		Plànol 10	
Escola 11	Treball de recerca: Maqueta Tren Magnètic	Col·legi Sagrat Cor de Tarragona	



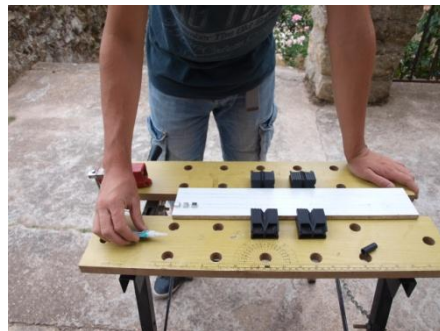
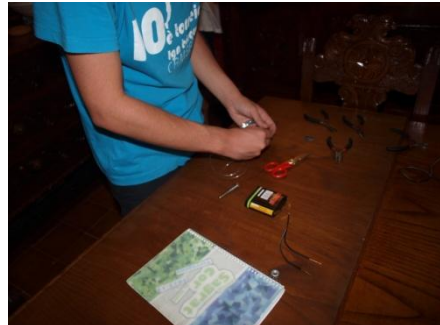
Alçat de la via 3	Plànol 11	
Escola 11	Treball de recerca: Maqueta Tren Magnètic	Col·legi Sagrat Cor de Tarragona



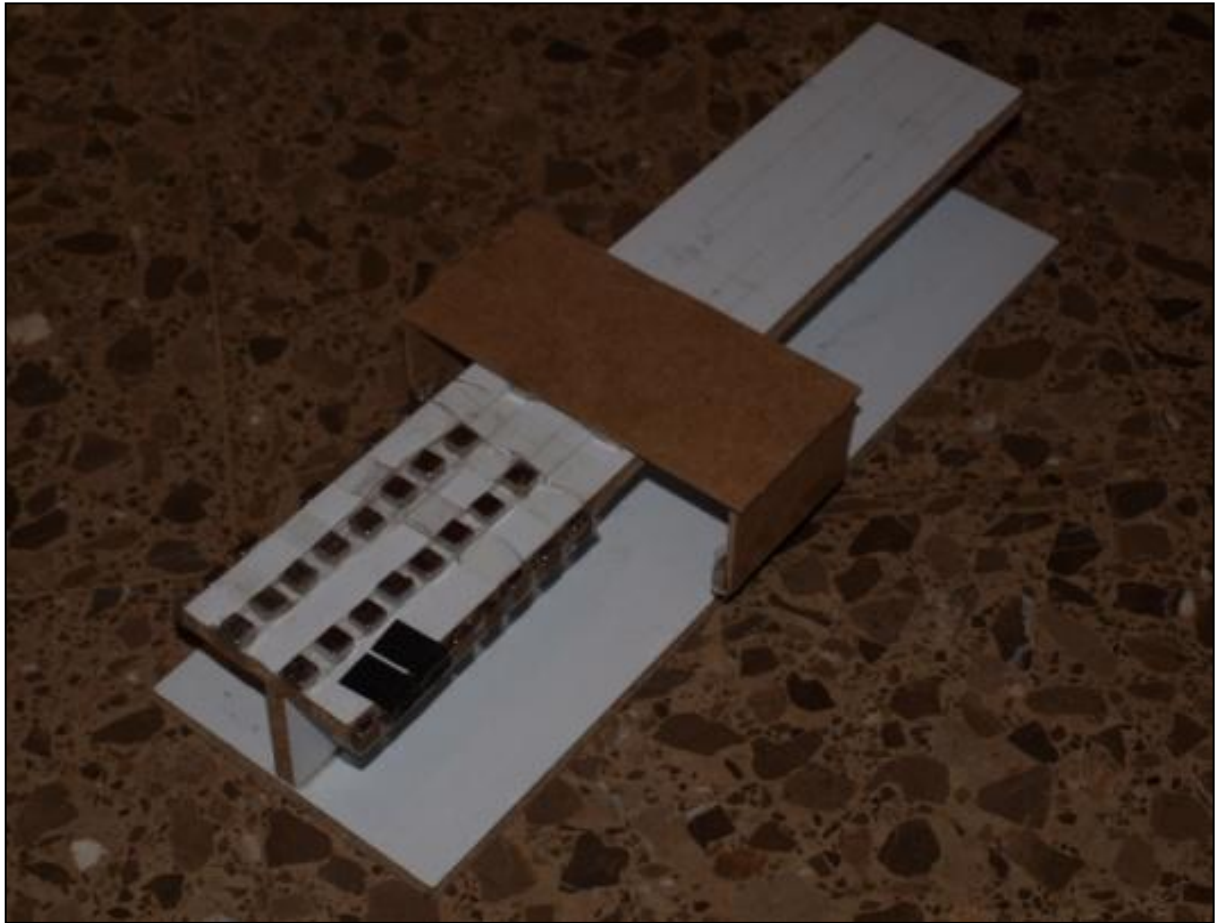
Perfil de la via 3		Plànol 12	
Escola 11.5	Treball de recerca: Maqueta Tren Magnètic	Col·legi Sagrat Cor de Tarragona	

8.4.- Fotografies

Aquest apartat és només un recull de fotografies addicionals d'alguna de les pràctiques i de la construcció de la maqueta.

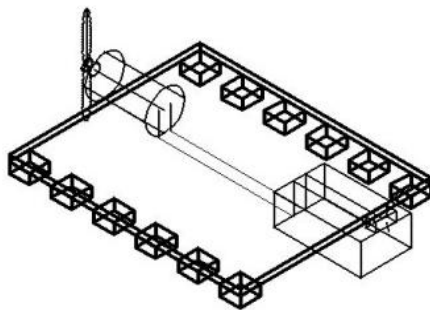


8.5.- Primer model



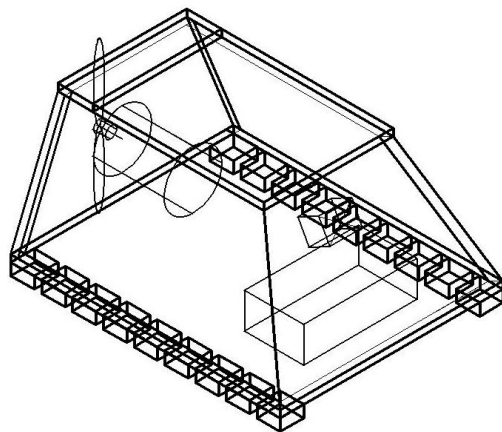
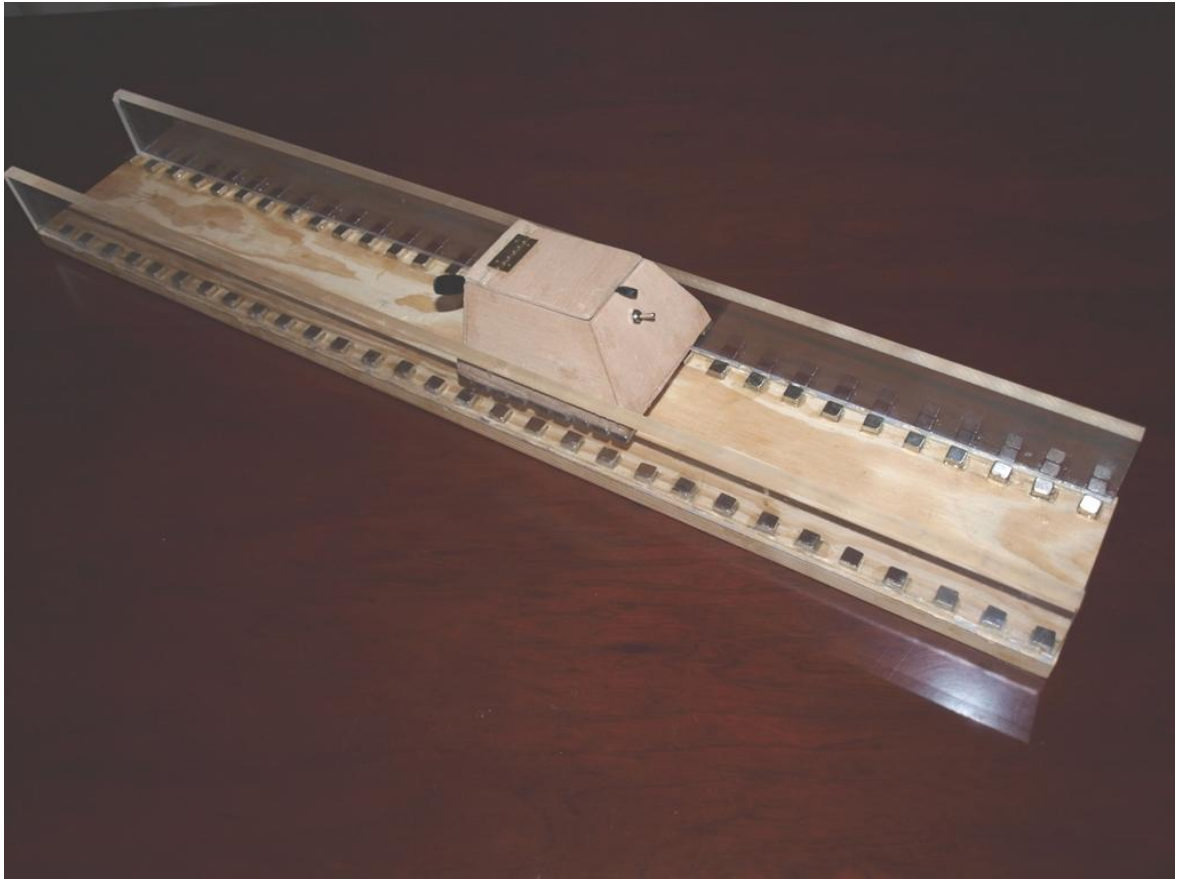
Primer model, inspirat en els tens Maglev de tipus EMS, amb la intenció que els imants equilibressin i centressin el vagó en la via. Infructuós.

8.6.- Segon model



Segon model, inspirat en els trens Maglev de tipus EDS i amb una suspensió per repulsió electromagnètica i impulsat per una hèlix.

8.7.- Tercer model

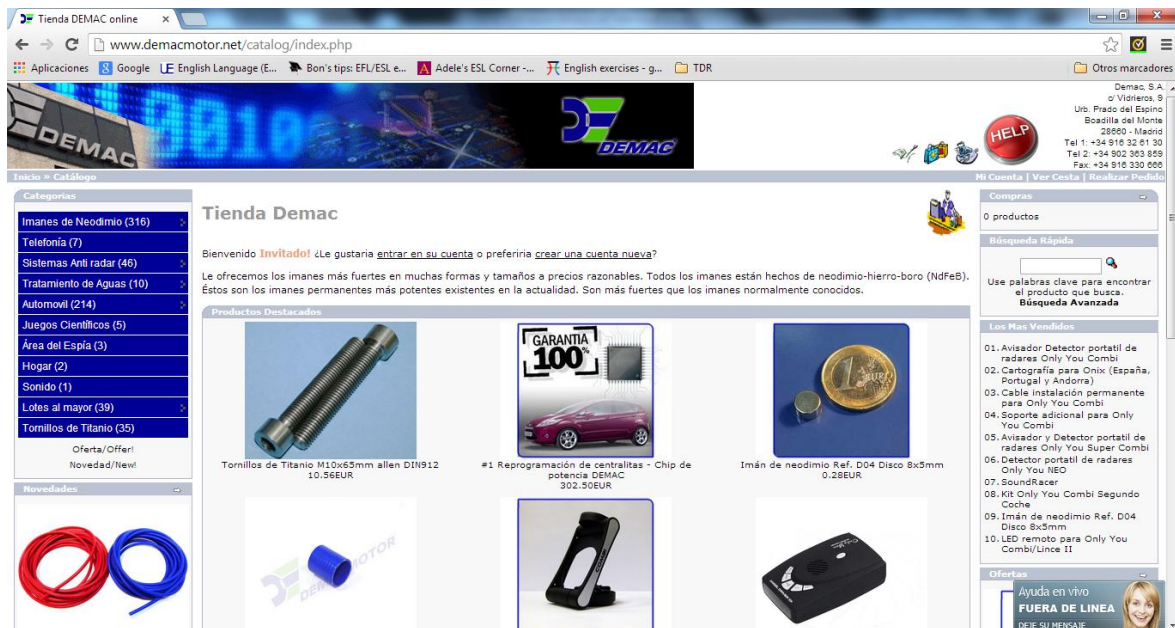


Tercer model, inspirat en els trens Maglev de tipus EDS, amb coberta, suspensió per levitació i impulsat per una hèlix.

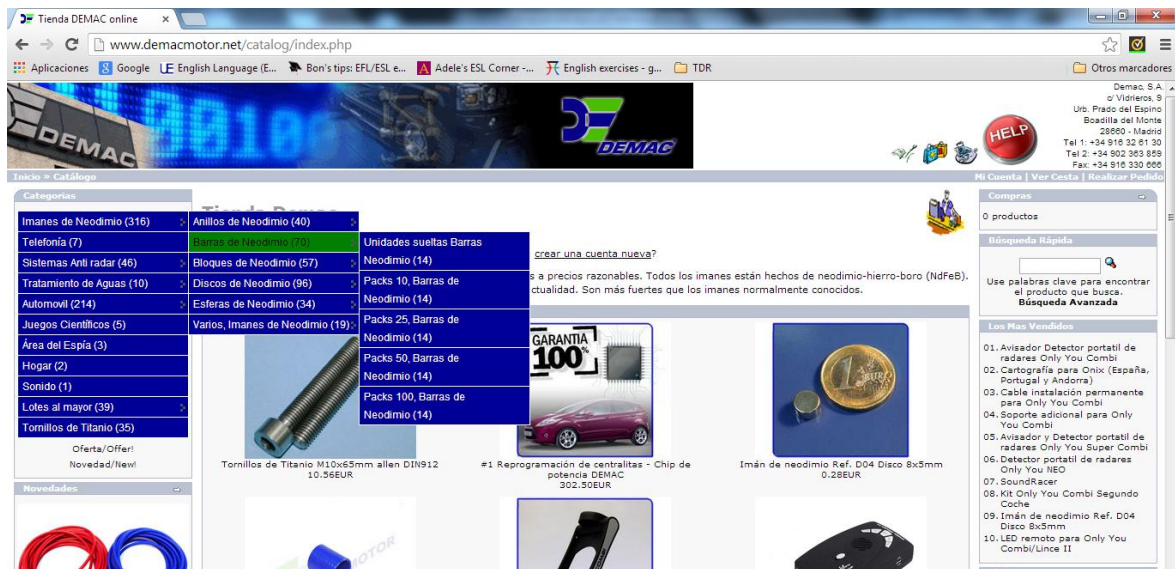
8.8.- Pàgina web de compra dels imants:

<http://www.demacmotor.net/>

Pàgina principal:



Link a la pàgina dels imants:



Pàgina dels imants triats:

Demac - Imán de neodimio

www.demacmotor.net/catalog/product_info.php?cPath=32_53_73&products_id=633

Aplicaciones Google English Language (E... Bon's tips: EFL/ESL e... Adele's ESL Corner -... English exercises - g... TDR

Demac S.A.
c/ Vidrieros, 9
Urb. Prado del Espino
Boadilla del Monte
28160 - Madrid
Tel 1: +34 916 32 61 30
Tel 2: +34 902 363 859
Fax: +34 916 333 000

Inicio » Catálogo » Imanes de neodimio » Imanes de neodimio, Bloques » Imanes de neodimio, Bloques » Imán de neodimio en forma de bloque. Bloque 10x10x5mm

0 productos

Fabricante

Página de Demac

Otros productos

Búsqueda Rápida

Use palabras clave para encontrar el producto que busca.

Búsqueda Avanzada

Notificaciones

Notifíqueme de cambios a Imán de neodimio Ref. B103 Bloque 10x10x5mm Pack 50

Idiomas

Monedas

Ayuda en vivo

FUERA DE LINEA

DEJE SU MENSAJE

Imán de neodimio Ref. B103 Bloque 10x10x5mm Pack 50

24.00EUR

Haga Click para agrandar

Datos técnicos

Altura	Ancho	Fondo	Peso	Magnetización	Fza. sujec.: aprox.	Gauss en superficie: (*Nota 1)	Gauss: (*Nota2)
5 mm	10 mm	10 mm	4 g	N45	3.2 Kg	4320 G	13.8 kG

*Nota 1: Gauss máximos medidos en la superficie del imán aislado y sin ninguna otra influencia.
*Nota 2: Dependiendo del montaje y accesorios (entrehierro, asociaciones, etc...) que se puedan incorporar, el valor máximo del campo puede alcanzar los que indica la tabla inferior de hasta 13.8kG.

Datos físicos de los imanes

Categorías

- Imanes de Neodimio (316)
- Telefonía (7)
- Sistemas Anti radar (46)
- Tratamiento de Aguas (10)
- Automovil (214)
- Juegos Científicos (5)
- Área del Espía (3)
- Hogar (2)
- Sonido (1)
- Lotes al mayor (39)
- Tornillos de Titanio (35)

Oferta/Offer!
Novedad/New!

Novedades