

ÍNDIX DE CONTINGUTS

| | |
|--|----------|
| 1. INTRODUCCIÓ..... | 4 |
| 1.1. Motivacions..... | 4 |
| 1.2. Objectius | 5 |
| 1.3. Metodologia de treball | 5 |
| 1.4. Evolució..... | 6 |
| 2. DESCRIPCIÓ TEÒRICA DEL TREBALL..... | 8 |
| 2.1. Història del tren maglev | 8 |
| 2.1.1. Invenció de la locomoció..... | 8 |
| 2.1.2. Primers trens i patents | 9 |
| 2.1.3. Funcionament dels primers trens..... | 10 |
| 2.1.4. Característiques dels trens | 11 |
| 2.1.4.1. Tipus de trens..... | 11 |
| 2.1.4.2. Parts del tren..... | 12 |
| 2.1.4.3. Vies fèrries..... | 14 |
| 2.1.4.4. Empreses operadores ferroviàries | 14 |
| 2.1.5. Tren maglev | 15 |
| 2.1.5.1. Origen i patents..... | 15 |
| 2.1.5.2. Tecnologia | 18 |
| 2.1.5.3. Companyies constructores de trens maglev | 22 |
| 2.2. Estudi del magnetisme i el corrent elèctric | 23 |
| 2.2.1. Magnetisme..... | 23 |
| 2.2.1.1. Camp magnètic | 25 |
| 2.2.1.2. Flux magnètic | 25 |
| 2.2.2. Electromagnetisme..... | 26 |
| 2.2.2.1. Camp electromagnètic | 26 |
| 2.2.2.2. Forces magnètiques en una càrrega elèctrica..... | 27 |
| 2.2.2.3. Forces magnètiques en una corrent elèctrica | 29 |
| 2.2.2.4. Solenoide..... | 30 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.2.2.5. | Inductància | 30 |
| 2.2.3. | Materials amb relació magnètica | 31 |
| 2.2.4. | Tipus d'imants | 32 |
| 2.2.5. | Corrent elèctric..... | 34 |
| 2.2.5.1. | Concepte | 34 |
| 2.2.5.2. | Elements d'un circuit..... | 34 |
| 2.2.5.3. | Tipus de corrent elèctric i de circuit..... | 37 |
| 3. | DESCRIPCIÓ DEL TREBALL PRÀCTIC | 39 |
| 3.1. | Disseny i construcció d'una maqueta maglev | 39 |
| 3.1.1. | Primera maqueta..... | 39 |
| 3.1.1.1. | Objectiu | 39 |
| 3.1.1.2. | Funcionament | 39 |
| 3.1.1.3. | Materials | 41 |
| 3.1.1.4. | Procés d'elaboració | 42 |
| 3.1.1.5. | Càlcul i lleis demostrades | 44 |
| 4.1.1. | Segona maqueta..... | 51 |
| 4.1.1.1. | Objectiu | 51 |
| 4.1.1.2. | Materials | 51 |
| 4.1.1.3. | Procés d'elaboració | 53 |
| 3.2. | Aplicació local i rendibilitat..... | 55 |
| 4. | CONCLUSIONS..... | 57 |
| 5. | BIBLIOGRAFIA | 59 |
| 6. | ANNEXOS | 62 |
| 6.1. | Prèvia a la primera maqueta..... | 62 |
| 6.2. | Maqueta del tren maglev més proper a la realitat..... | 62 |
| 6.2.1. | Objectiu | 62 |
| 6.2.2. | Materials..... | 62 |
| 6.2.3. | Procés d'elaboració | 63 |
| 6.2.4. | Resultat final de la maqueta..... | 65 |

| | | |
|--------|---|----|
| 6.3. | Maqueta extra en un medi diferent | 66 |
| 6.4. | Materials emprats en la construcció de les maquetes | 68 |
| 6.4.1. | Compra de materials | 68 |
| 6.4.2. | Material | 70 |

1. Introducció

1.1. Motivacions

Escollir la temàtica d'aquest treball, no ha estat gens senzill, si no fos pel fet que decidir-me per dur a terme o prendre una decisió important, mai m'ha resultat de gran facilitat. Però amb temps i una dedicació amb consciència, he sabut escollir la millor temàtica per elaborar el treball d'investigació.

Tornant als primers dies de batxillerat, on tot era una novetat i els professors ja ens feien pensar en el treball de recerca; les grans temàtiques on centrar el meu futur treball eren en gran majoria d'àmbit científic. Per escollir el tema on confluiria tot el meu treball, vaig proposar-me centrar-lo en l'àmbit físic o matemàtic. Posteriorment van anar sorgint disciplines com la tecnologia, història o la química com a subjectes interessants a incloure en el projecte. Finalment, per no embolicar-me entre els diferents sectors, vaig decidir-me per la física, les matemàtiques i la tecnologia. Amb aquest gran ampli ventall de possibilitats per a cada àrea temàtica, el primer concepte que em va sorgir per realitzar un treball de recerca fou centrar-lo especialment en les matemàtiques. El gran problema que vaig tenir va ser el fet que cap objecte d'estudi amablement proposat pel professorat de matemàtiques ni cap reflexió feta en relació matemàtica van ser motivadors ni em van convèncer per continuar endavant. Així doncs, vaig decidir centrar el meu projecte de recerca en algun àmbit relacionat amb el meu entorn. Analitzant el meu entorn, vaig trobar convenient investigar sobre els trens actuals, ja que era el mitjà de transport que més usava per moure'm de l'institut a casa i viceversa.

Decidida la temàtica, vaig posar-me a recercar informació sobre els trens i els sistemes de locomoció actuals, conseqüència d'això va sorgir el tren magnètic, a diferència dels trens convencionals que utilitzen rodes, el tren maglev es basa en la levitació magnètica. Levitació aconseguida mitjançant electroimants i/o superconductors els quals, també creen la propulsió en grans trens de tots els vagons en conjunt.

Precisament, i amb relació al tren magnètic, els imants sempre han estat un fet curiós d'ençà que era ben petit. Com pot ser que dues peces iguals no les puguís

apropar amb facilitat i per altra banda, s'ajuntin amb molta força? Aquesta era una qüestió difícil d'esbrinar amb poca edat i sorprenent amb més edat poder esbrinar que el conjunt de forces, lleis i fenòmens que els imants produeixen, estan explicats per la ciència.

1.2. Objectius

Podem dividir en dues grans parts aquest treball de recerca: la part referent al marc teòric i la part pràctica. En aquests dos marcs del projecte, trobem diferents objectius a realitzar uns més importants i conceptuals i altres més pràctics i demostrables.

Pel que fa al marc teòric, un objectiu essencial és l'estudi històric i evolutiu dels trens durant el transcurs del temps, per així observar les millores i comprendre les noves característiques que s'han anat implementant als nous models de locomoció. En deriva de la comprensió del funcionament del tren maglev, trobem com a objectiu principal, l'estudi del magnetisme combinat amb l'electromagnetisme i les seves propietats físiques i químiques juntament amb l'estudi del corrent elèctric com un suport per aconseguir l'objectiu final: la realització d'una maqueta sobre el tren magnètic.

Un cop adquirits els coneixements teòrics més importants i una recerca sobre construcció i pràctica, l'objectiu concloent serà el disseny i realització d'un prototip de tren de levitació magnètica.

Per finalitzar el treball, un objectiu que em va semblar interessant i curiós un cop tota la informació i coneixements fossin adquirits, seria el plantejament de la possible aplicació d'aquest tren de levitació magnètica i d'alta velocitat a un entorn local a grans escales.

1.3. Metodologia de treball

Per desenvolupar el treball de recerca amb continuïtat i eficàcia, la metodologia per a la seva realització consisteix en plantejar-lo o dividir-lo en etapes o fases per no perdre el fil conductor ni desviar-me de la temàtica central.

Un cop escollit l'objecte d'estudi del projecte, el tren magnètic, el següent pas consisteix en plantejar-se un seguit d'objectius principals, els quals són mencionats anteriorment i uns objectius secundaris, derivats dels objectius principals.

Per consegüent, amb tots els objectius plantejats, la següent acció resideix en planificar la recerca d'informació per a aconseguir complir els objectius. Primerament, gran part de la investigació va dirigida al marc conceptual per entendre i comprendre quina és la millor manera per realitzar el següent pas, el disseny i la realització de la maqueta. Acció on s'hi ha de dedicar moltes hores per a la bona realització de l'objectiu principal.

Amb la recerca d'informació enllestida, cal un processament d'aquesta en format de treball escrit amb una divisió en apartats i capítols on finalment és necessària una síntesi d'aquesta informació en forma de treball pràctic.

La realització pràctica és la part que presenta més dificultats i adversitats a l'hora de desenvolupar-la, en molts treballs o projectes, especialment en el meu. Per realitzar-la, mentre anava recopilant i redactant informació, el material necessari era comprat i demanat en botigues en línia. Un cop tot el material necessari per elaborar el prototip era reunit, la fase de disseny i construcció s'estava confeccionant i preparant.

Finalment, per acabar el treball, l'última fase té com a finalitat extreure i elaborar dues conclusions importants: avaluació del projecte i maqueta duts a terme durant el treball i la redacció d'unes conclusions sobre l'objectiu final del treball d'investigació, la possible aplicació local del tren magnètic.

1.4. Evolució

En aquesta part final de la introducció, es dóna a conèixer la trajectòria que ha tingut aquest projecte durant el transcurs del temps i les dificultats i problemes que s'hi han presentat i que han afectat en gran manera el treball d'investigació.

Durant la realització d'aquest treball d'investigació teòric i pràctic, diverses adversitats i contratemps han afectat en gran manera el correcte desenvolupament del treball.

Per començar, els errors en les mides dels materials necessaris per a la construcció de la maqueta, van alentir el desenvolupament de la maqueta final, però tot això no és res en comparació a la mala qualitat dels imants per realitzar la segona maqueta i el resultat pèssim que aquests van oferir, Davant d'aquest imprevist, es van reconduir els objectius i la realització de la segona maqueta cap a un nou aspecte i amb un nou enfocament del projecte.

2. Descripció teòrica del treball

2.1. Història del tren maglev

Per començar amb bon peu el treball de recerca, es necessita primer un context històric de la temàtica a investigar. Per això, he decidit d'incloure en aquest treball una part històrica del tren en els seus inicis i una d'altra en la història del tren de levitació magnètica per entendre i connectar la informació pràctica amb la teòrica.

2.1.1. Invenció de la locomoció

Etimològicament, la paraula “tren” prové del francès “*train*” que existeix des de l'onzè segle, sent la paraula derivativa “*traîner*” de significat arrossegar. Fent referència al transport format per vagonets arrossegats per una locomotora que circula sobre vies fèrries.

Ara per ara, el mot tren té un significat més precís i exacte a causa de l'evolució d'aquest transport i les millores tecnològiques d'avui en dia. Existeixen trens que no circulen per vies fèrries, sinó que leviten mitjançant imants i també coneixem trens que no disposen d'una locomotora, ja que els vagonets tenen autopropulsió.

Remuntant-nos en el primer vehicle considerat tren, podríem estar parlant que l'avantpassat més llunyà, podria ser el carro, un mitjà de transport de càrregues i/o persones accionat per força animal i conduït per camins marcats amb roderes, que quan eren profundes, mantenien el vehicle dins el camí.

El gran desenvolupament de la locomoció, a partir de la màquina de vapor va ser producte de la Revolució Industrial¹, principalment a Anglaterra. Una revolució que va donar pas a un enriquiment general i una transformació de les vides i el treball de la població, començant per Europa i estenent-se fins a altres països.

Una de les grans empreses d'aquesta revolució fou la del ferrocarril, la qual va estendre vies fèrries per tot llocs, fent el sector de la mineria el més influent en la

¹ Revolució Industrial: amb origen del segle XVIII, fou la industrialització que va afectar als àmbits econòmics i socials, però sobretot va portar a la creació de la màquina de vapor i a la creació de la locomoció durant el segle XIX.

locomoció a vapor. Les primeres construccions fèrries eren especialment pel transport mineral, ja que la font principal d'energia durant el segle XIX era el carbó, precisament, el combustible de la locomotora de vapor, que s'extreia de les mines.

Durant el període d'entreguerres apareixen les locomotores mogudes a partir de dièsel, trens que funcionaven amb motors de combustió interna, mitjançant la transmissió de potència a partir de transmissió mecànica convencional en petites locomotores de maniobra i màquines auxiliars. De la mateixa manera, es van anar incorporant les locomotores dièsel-elèctriques.

Amb l'aparició dels motors elèctrics potents, apareixen les locomotores elèctriques que utilitzen com a font d'energia l'electricitat provinent d'una font externa per aplicar-la directament a motors de tracció elèctrics.

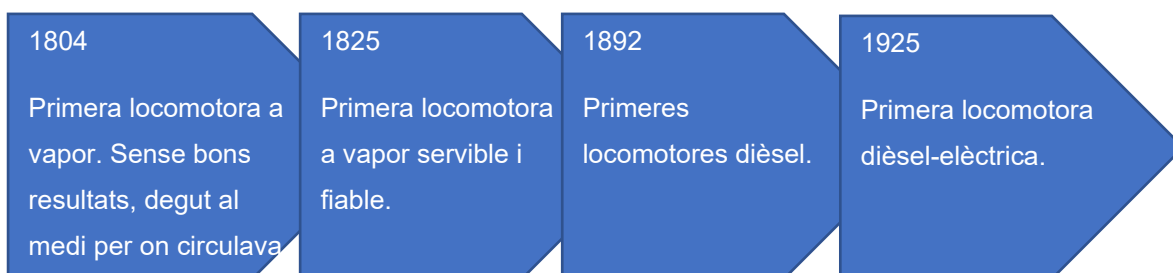
2.1.2. Primers trens i patents

Dels diferents tipus de trens que han existit al llarg del temps, un dels primers i referents pels següents ha estat el tren a vapor. Constituït gràcies a la invenció de la màquina de vapor, construïda i patentada el 1769 per James Watt a partir d'una màquina atmosfèrica de Thomas Newcomen i Savery de 1712, i a la invenció de la primera locomotora de vapor de Richard Trevithick el 1803.

Els primers usos pràctics de la màquina de vapor i del ferrocarril es produïren en les mines angleses i a Gal·les del sud.

Com a successor del tren a vapor, va sorgir el tren dièsel el qual es movia a partir d'un motor patentat per Rudolf Diesel el 1892. Uns trens que utilitzaven com a font d'energia la produïda per un motor de combustió interna de cicle dièsel.

Gràcies als nous avenços en tecnologia durant el segle XX, es va permetre la millora de la locomotora dièsel. La combinació d'un motor dièsel amb un generador elèctric van permetre la millora i rendiment dels nous trens.



2.1.3. Funcionament dels primers trens

La part principal d'un tren és la locomotora, la part fonamental que inicia el moviment i arrossega els altres vagons per donar-los tracció. Durant la història s'han utilitzat diferents trens amb distintes locomotores per realitzar viatges i transportar càrregues.

- **Locomotora de vapor:** La locomotora de vapor utilitza una caldera horitzontal cilíndrica amb una llar (lloc on es crema el combustible) que mitjançant la combustió d'un combustible (fusta, carbó, biomassa, fueloil...) esclafa aigua, el vapor resultant de l'ebullició genera pressió que fa moure uns pistons, impulsant les rodes del tren mitjançant un joc de bieles.
- **Locomotora dièsel:** Les locomotores dièsel utilitzen com a font d'energia la produïda per un motor de combustió interna que genera el moviment. La transmissió de potència es realitza a partir de transmissió mecànica en petites locomotores. Altrament, les locomotores dièsel, també poden incorporar un sistema de turbines hidràuliques acoblades entre si permetent arribar la potència de forma gradual des del motor fins a les rodes. Les locomotores dièsel s'usen sobretot en l'àmbit lleuger, de maniobres i trens poc pesants.
- **Locomotora dièsel-elèctrica:** Les locomotores dièsel-elèctriques disposen d'un motor dièsel que mou un generador elèctric que proporciona l'energia necessària per moure els

motors elèctrics que són els que proporcionen el moviment a la màquina.

- **Locomotora elèctrica:** Una locomotora elèctrica és aquella alimentada per una font externa d'energia elèctrica com pot ser catenària, un tercer raíl o per mitjà d'un dispositiu d'emmagatzematge a bord com bateries.

Pel que fa a la propulsió, els trens d'avui en dia utilitzen com a mètode de propulsió. motors elèctrics, sistemes dièsel-elèctric o hidràulics. Altrament, també s'està implantant la levitació magnètica com a mètode de propulsió.

2.1.4. Característiques dels trens

En el conjunt del tren podem diferenciar diferents elements que el constitueixen com els vagons que transporten persones o càrregues, arrossegats per una locomotora la qual es desplaça per unes vies, conegudes com a rails.

A causa de cada finalitat, existeixen diferents tipus de trens com és clar l'exemple dels trens de mercaderies que transporten només càrregues i viatgen més lluny i sense estacionar tant com els trens convencionals de passatgers, que només transporten en la majoria de casos passatgers en curtes i llargues distàncies.

2.1.4.1. Tipus de trens

- **Tren de passatgers:** el tren per a viatgers és un vehicle que transporta passatgers, en una unitat múltiple autopropulsada o en vagons motoritzats. Els trens de passatgers, viatgen en horaris establerts i entre estacions amb preferència sobre els trens de mercaderies.
 - **Tren de llarga distància:** els trens de llarga distància viatgen entre diferents continents regions i a vegades entre països i ciutats. Trobem entre aquests, els trens nocturns que s'adapten a les necessitats, i ofereixen servei de restaurants i llits o seients inclinables.

- **Tren d'alta velocitat:** els TAV (trens d'alta velocitat) són trens que solen circular a velocitats superiors a 200-250 km/h en vies fèrries especialitzades a altes velocitats no convencionals.
- **Tren regional:** els trens regionals connecten entre pobles i ciutats, no efectuen serveis tan llargs com els trens de llarga distància, però cobreixen més distància que els trens interurbans.
- **Tren interurbà:** efectua serveis de connexió de ciutats. Podem diferenciar els trens que paren a totes les estacions i els que només paren en estacions grans.
- **Tren de rodalia:** el tren de rodalia és constituent d'una xarxa de rodalia que disposen algunes ciutats.
- **Metro i tramvia:** el metro és l'abreviació de ferrocarril metropolità, un servei urbà subterrani sobre viaductes o per terra, que circula per la ciutat.

El tramvia és un dels mitjans de transport de passatgers que s'efectua sobre raïls paral·lels en àrees urbanes. El tramvia garanteix l'accessibilitat a les ciutats amb respecte pel medi ambient.

- **Monoraïl:** El monoraïl va ser desenvolupat per a satisfer la demanda de trànsit mitjà en el transport públic en zones urbanes. Ja que circulen per vies d'un sol raïl.
- **Tren de mercaderies:** un tren de mercaderies o tren de càrrega és una composició d'una locomotora de gran potència amb una sèrie de vagons especialitzats per al transport de mercaderies. Aquests trens solen tenir situades les estacions en polígons industrials per no interferir amb els trens de passatgers i per la directa descàrrega i càrrega de mercaderies.

2.1.4.2. Parts del tren

- **Locomotora:** Es denomina locomotora al material rodant amb motor que s'utilitza per donar tracció als trens. Etimològicament, la paraula locomotora prové del llatí *loco*, ablatiu de *locus* que fa referència a lloc, i del llatí medieval

motivus, que al·ludeix a moviment o a la seva provocació. Aquest s'encarrega de tirar de tots els vagons del tren.

- **Motor:** És la part que permet l'arrencada del tren, el qual pot ser de vapor, on la potència la proporcionaven els pistons que actuaven sobre les rodes.

En les locomotores dièsel es necessita una transmissió entre el motor i les rodes la qual pot ésser hidrodinàmica o mecànica. En les locomotores elèctriques el corrent elèctric avança per mitjà de diversos elements fins a arribar als motors de tracció on els alimenta.

- **Vagó:** És el vehicle que és arrossegat per les locomotores on hi viatgen persones o càrregues.
 - **Vagons per a passatgers:** dissenyats amb mobiliaris especials per transportar còmodament a les persones. Disposant d'un interior amb ventilació, calefacció i en alguns casos restaurants, dormitoris en el cas de viatges de llarga durada.
 - **Vagons per a transport d'animals:** per al transport de llargs recorreguts amb solucions i mesures especials que compleixin la normativa de seguretat i salut de l'animal.
 - **Vagons de càrrega:** disposen de contenidors grans on dipositar càrregues i amb mètodes de seguretat per al transport de mercaderies perilloses o delicades.
- **Rodes:** són les peces normalment fetes a partir d'acer que permeten la mobilitat del tren i la resistivitat a grans càrregues, el sol i l'aigua sense oxidar-se.

Entre les rodes i l'estructura hi ha un sistema de suspensió amb dispositius elàstics i amortidors. Per la seva seguretat i funcionament, el tren incorpora sistemes de frenada, reducció

de la velocitat i aturada de les rodes a partir del sistema de frens normalment pneumàtics.

- **Pantògraf:** es tracta del mecanisme articulat que arriba a transmetre tota l'energia en aquells trens elèctrics. Aquest atorga força de tracció a la locomotora.

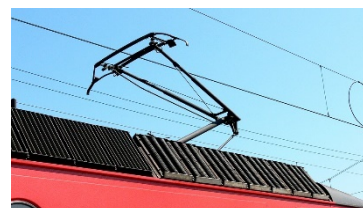



Figura 1-Pantògraf-
<https://www.wallpaperup.com/uploads/wallpapers/2017/12/23/1174285/33beb9ea40969e48df041189842a6921.jpg>

- **Tester:** es tracta de la secció frontal del tren, on hi ha el parabrisa, la il·luminació, les portes d'intercomunicació, els dispositius de xoc i tracció, les connexions elèctriques i les mànigues de fre.

2.1.4.3. Vies fèrries

En la infraestructura ferroviària és la part que uneix dos punts determinats en un territori on la part més important d'aquestes són els rails, les barres metàl·liques sobre les quals es desplacen les rodes i la majoria de trens.

2.1.4.4. Empreses operadores ferroviàries

| LOGOTIPO | EMPRESA | LICENCIA | CERTIFICADO DE SEGURIDAD | WEB |
|---|--|-----------------------|--------------------------|---|
|  | Acciona | Viajeros y Mercancías | Mercancías | http://www.acclona-service.es/ |
|  | AISA TREN, S.A.U. | Viajeros | Viajeros | |
|  | ALSA FERROCARRIL, S.A.U. | Viajeros y Mercancías | Viajeros y Mercancías | http://www.alsa.es/ |
|  | ARCELORMITTAL SIDERAIL, S.A. | Mercancías | - | http://www.arcelormittal.com/ |
|  | ARRAMELE SIGLO XXI S.A. (IBERICA RAIL) | Mercancías | Mercancías | |
|  | ARRIVA SPAIN RAIL, S.A. | Viajeros | Viajeros | http://www.arriva.es/ |
















| | | | | |
|---|--|-----------------------|-----------------------|---|
|  | ASTURMASA RAIL, S.A.U. | Mercancías | - | http://www.grupoasturmasa.es/ |
|  | AVANZA TREN, S.A.U. | Viajeros | Viajeros | |
|  | CAPTRAIN | Viajeros y Mercancías | Mercancías | http://www.captrain.com/ |
|  | CEFSA | Mercancías | - | |
|  | LOW COST RAIL, S.A. | Viajeros y Mercancías | Viajeros y Mercancías | http://www.lcrail.com |
|  | Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, S.A. (CAF) | Viajeros y Mercancías | Viajeros y Mercancías | http://www.caf.net/ |
|  | CONSTRURAIL | Mercancías | Mercancías | http://www.constru-rail.es/ |
|  | MOTION RAIL, S.A.U | Viajeros | Viajeros | http://www.motionrail.eu/ |
|  | MOVENTIS RAIL, S.A.U. | Viajeros | Viajeros | |
|  | NOGARTRAIN, S.A.U. | Mercancías | Mercancías | http://www.gruponogar.es |
|  | Raxell Rail, S.A. | Viajeros y Mercancías | - | |
|  | RENFE MERCANCIAS S.A.U. | Mercancías | Mercancías | http://www.renfe.com/ |
|  | RENFE VIAJEROS S.A.U. | Viajeros | Viajeros | http://www.renfe.com/viajeros/index.html |
|  | SAGALÉS RAIL, S.A. | Viajeros | Viajeros | http://www.sagales.com/ |
|  | Socibus | Viajeros | Viajeros | http://www.socibus.es |

Figura 2-Algunes empreses operadores ferroviàries-

<http://www.seguridadferroviaria.es/agentes-sector-ferroviario/empresas-ferroviarias>

2.1.5. Tren maglev

2.1.5.1. Origen i patents

El tren Maglev (de l'anglès *Magnetic Levitation Train*) és aquell tren que es basa principalment en l'electromagnetisme per moure's i per a sustentar-se en l'aire. La metodologia emprada per la seva levitació sobre la via són els camps magnètics generats per imants molt poderosos i/o electroimants. La utilització d'imants per a la sustentació i propulsió del tren genera avantatges sobre els trens convencionals, com la suavitat per als passatgers i càrregues, la rapidesa dels trajectes i l'eixordadissa gairebé nul·la.

Es van atorgar diverses patents al transport d'alta velocitat magnètic en tot el món. Tot i que podríem considerar que l'inventor del tren maglev fou Alfred Zehden, un alemany inventor i enginyer que ha rebut varies patents durant el transcurs de la seva vida. La patent amb la qual va ser denominat com a inventor del tren maglev va ser el Sistema de transport elèctric que utilitza un motor de camp itinerant el maig de 1902. Tot i ser inventat el 1902, el primer tren maglev en circular a llarg termini no va tenir lloc fins al 1979 a Alemanya.

El *Transrapid 05* va ser el primer tren maglev amb propulsió i amb llicència per al transport de passatgers. Durant el 1979, aquest tren va circular per una pista de 908 metres en una exposició internacional del transport a Hamburg, Alemanya. Malauradament, l'exposició i la durada del tren va ser molt curta, en finalitzar el període de l'exposició de tres mesos, el tren maglev va acabar tancant.

Amb el nom de *MAGLEV*, trobem el primer tren maglev de tipus comercial, una llançadora maglev automatitzada de baixa velocitat comercial de Birmingham, Anglaterra. Entre el 1984 i 1995, connectava la terminal de l'aeroport internacional de Birmingham amb l'estació de ferrocarril internacional més propera. Circulava per una pista de 600 metres i levitava a una altitud de 15 mil·límetres.

Amb l'èxit i la novetat d'aquest sistema de transport, es van anar obrint i tancant noves estacions de trens maglev per tot el món, Alemanya, Anglaterra, Japó, Canadà, els Estats Units...

Arribant a l'actualitat, el tren més ràpid de tipus maglev en tot el món és el tren situat a la Xina, el Shanghai Maglev, inaugurat el 2004, constitueix la primera línia comercial d'alta velocitat mitjançant levitació magnètica construïda al món. En un recorregut de 30 quilòmetres, viatja a una velocitat mitjana de 240 km/h i arriba en tres minuts a una velocitat màxima de 431 km/h. Gràcies als nous avenços, la velocitat màxima registrada ha augmentat en el 2006 i en el 2015 arribant en fase de proves a una velocitat de 500 km/h i 603 km/h en les últimes proves.

En tot el món, trens de sustentació magnètica en trobem molt pocs i poc repartits. Únicament trobem tres trens maglev a la Xina, dos més a Corea del sud i un al Japó. Tot i el nombre escàs de trens de levitació magnètica, trobem trens en fase de proves als Estats Units, Japó i altre cop la Xina.

En la Xina trobem tres trens maglev repartits, el més ràpid a Xangai desenvolupat el 2004, anomenat *Shanghai Maglev*. Cobrint en set minuts una distància de 30 quilòmetres, entre l'estació de Longyang Road i el districte de Pudong, Xangai.

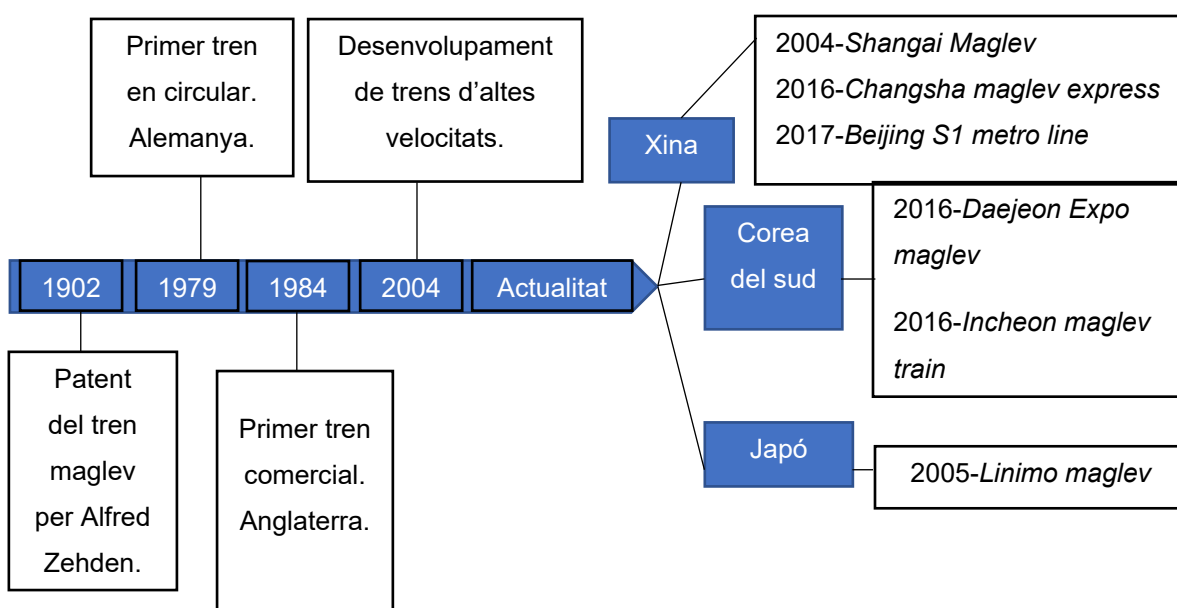
El 2016 es desenvolupa el *CHANGSHA MAGLEV EXPRESS*, un tren que viatja per tres estacions a 100 km/h.

Finalment el darrer tren maglev és el *BEIJING S1 METRO LINE*, el més important de la Xina en funcionament, inaugurat el 2017. Recorre una distància de 8,25 quilòmetres a una velocitat de 110 km/h.

Des de 1993 fins al 2016 s'han creat dos trens maglev a Corea del sud, el primer, el *DAEJEON EXPO MAGLEV* que avui en dia, circula per una pista curta entre l'Expo Park i el Museu Nacional de les Ciències.

L'aeroport internacional d'Incheon està connectat amb l'estació de Yongyu per un tren maglevat no tripulat que ofereix el trajecte de 6,1 quilòmetres a una velocitat de 110 km/h gratuïtament.

La primera línia de maglev comercial del Japó fou construïda per a l'Expo firal de 2005. Ara per ara ja compta amb nou estacions funcionals per la prefectura d'Aichi. L'anomenat *LINIMO MAGLEV* viatja a unes velocitats que ronden els 100 km/h i uns 16.500 passatgers al dia.



2.1.5.2. Tecnologia

Podem dividir en tres tipus diferents les tecnologies que s'utilitzen en els trens maglev d'avui en dia. Així trobem el sistema de suspensió electromagnètica (EMS) que utilitza l'atracció magnètica que està sota el rail per fer surar el vehicle. El sistema de suspensió electrodinàmica (EDS), gràcies a la força de repulsió entre dos imants, aconsegueix propulsió per empènyer el vehicle. Finalment el sistema Indutrack que utilitza imants permanents.

Com a sistema de frenada, els trens maglev utilitzen a igual que com a mètode de propulsió, el motor lineal. Invertint la polaritat del corrent de la via, s'aconsegueix l'efecte contrari a l'avançament i el tren pot desaccelerar. En casos extrems o d'emergència, com a mètode de frenada s'utilitzen sistemes aerodinàmics, solapes compactes muntades al sostre del vagó per desaccelerar mitjançant la resistència de l'aire. Aquest darrer sistema, només s'empra en emergències degut a la desacceleració tan elevada i a les grans velocitats en les quals circula, el qual podria interferir en la seguretat dels passatgers, els quals han de ser advertits d'aquest fenomen.

Altres variants que podem trobar, són els patins que incorporen els sistemes EMS per frenar o els pneumàtics amb frens hidràulics per aturar-se dels sistemes EDS.

- **Sistema electromagnètic (EMS)**

En els sistemes EMS, el tren es queda suspès per sobre d'un carril d'acer mentre que els electroimants units al tren, estan orientats cap als rails des de baix. Els electroimants estan controlats per retroalimentació per mantenir una distància fixa entre el tren i la pista. Aquest sistema està disposat en forma de C com s'observa en la figura 4, on la part superior està enganxada al vehicle i la part inferior és on s'hi contenen els



Figura 3-Shangai Maglev-

<https://www.flickr.com/photos/maxtm/6823667554/>

imants. Els raïls i la pista circulen pel mig, entremig de les vores superior i inferior.

Com a mètodes per a la sustentació i levitació, s'utilitzen imants que són atrets pels conductors de la part inferior de la via. La força d'atracció entre ells supera la força de la gravetat, que fa levitar tot el vehicle sobre la via. Els imants de l'altre costat, s'encarreguen de guiar el tren per la pista sense mantenir cap contacte amb aquesta per evitar la fricció i els danys possibles.

Com a mètode de propulsió, el sistema EMS compta amb motors lineals en els vagons, que permet l'acceleració del vehicle.

Un motor lineal és una classe especial de servomotor de tipus síncron sense escombretes. El qual té el seu estator i rotor distribuïts de manera que no puguin rotar és a dir, en comptes de girar, produeixen una força lineal en el sentit del desplaçament.

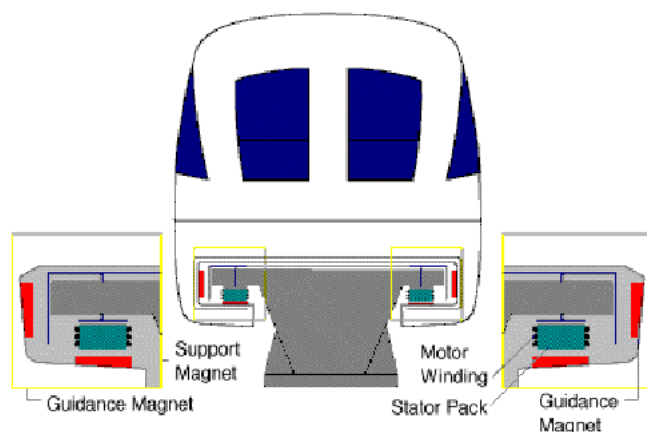


Figura 4-Sistema Maglev EMS-

<https://docplayer.pl/47458591-Lewitacja-magnetyczna-z-wykorzystaniem-zjawiska-nadprzewodnictwa.html>

- **Sistema electrodinàmic (EDS)**

En aquest sistema, ambdós, el raíl i el tren exerceixen un camp magnètic, causa que provoca la seva levitació. Perquè aquest fet es pugui produir, el tren ha d'estar en moviment per poder induir corrents magnètiques al carril metàl·lic i crear una repulsió magnètica. Com a conseqüència, abans que es pugui assolir aquesta velocitat, el tren fa servir rodes de goma fins a arribar als 100 km/h.

Per sustentar-se en l'aire, el sistema EDS utilitza imants de la mateixa polaritat per crear força repulsiva i poder levitar, només en velocitats elevades, aquests imants emprats, no són res més que electroimants superconductors amb una extrema refrigeració, que condueixen electricitat fins i tot després que s'hagi apagat l'alimentació.

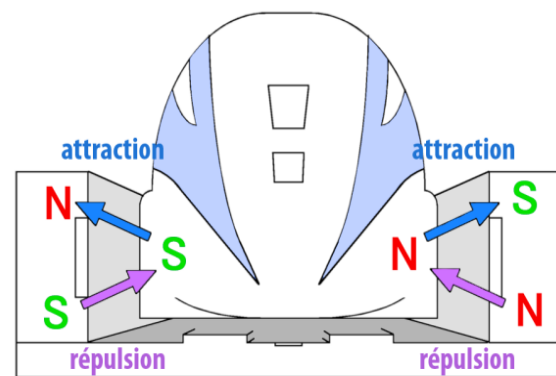


Figura 5-Sistema Maglev EDS-

<https://sites.google.com/site/wwwnikhildeascom/>

Col·locat sobre la via, hi trobem el mètode de propulsió, unes bobines que exerceixen una força al tren que provoquen que aquest avanci. Aquestes bobines es coneixen més com a motor lineal. El corrent altern que circula per les bobines genera un camp magnètic que avança per tota la pista.

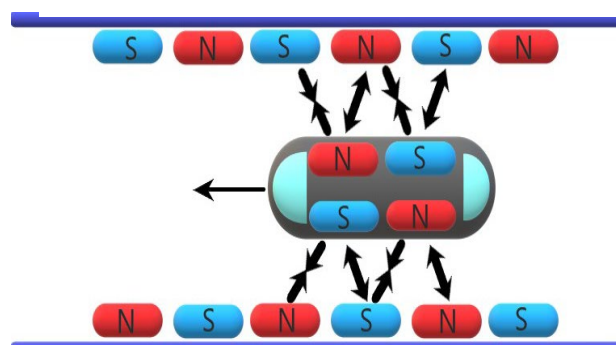


Figura 6-Sistema Maglev EDS-

Elaboració pròpia mitjançant Paint 3D

• Sistema Indutrack

Desenvolupat als Estats Units, el sistema Indutrack està basat en la tecnologia EDS, és un sistema molt recent i més barat que els anteriors, ja que utilitza imants fixos en lloc d'electroimants i/o superconductors.

La tecnologia que empra és la utilització de corrents induïts per unes bobines per l'elevació i sustentació del tren, el qual genera un camp magnètic. Aquest sistema, no necessita una font d'energia continua com en els altres dos sistemes, sinó que el tren en si, incorpora uns imants permanents, segons la matriu de Halbach, on cada imant varia 90° respecte a



Figura 7-Indutrack-

<https://www.llnl.gov/>

l'anterior. Provocant que en un costat augmenti la força magnètica i en l'altre disminueixi, considerant-se gairebé nul·la.

En la disposició normal, com es mostra en la part inferior de la figura 8, el camp magnètic és igual tant en la part superior com en la inferior, en canvi disposant els imants com es mostra en la part superior de la figura 8, el camp magnètic es concentra totalment en la part superior, deixant la part inferior amb un camp molt feble.

Podem trobar un total de dos models diferents d'Indutrack: Indutrack I, Indutrack II.

Dissenyat per altes velocitats, l'Indutrack I, és el model més eficient.

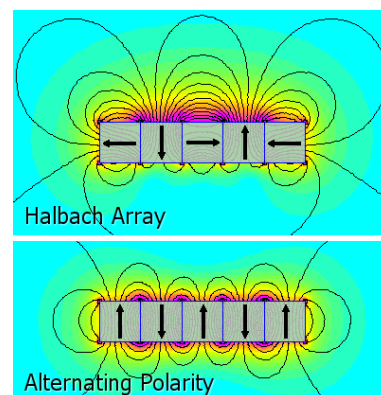


Figura 8-Matriu de Halbach-

<https://pdfs.semanticscholar.org/8468/cca03c1ca058734cd59bc5a40160c7053dd7.pdf>

Com en els altres sistemes, utilitza un motor lineal com a mètode de propulsió.

Amb la incorporació de dues matrius Halbach, l'Indutrack II, està especialitzat per a baixes velocitats. Gràcies a les dues matrius, es redueix la força de fregament entre camps.

Per a la sustentació, s'utilitzen imants fixos amb tecnologies més recents, per generar un camp magnètic més potent, utilitzant un aliatge de neodimi amb ferro i bor. Per aconseguir que el vehicle leviti, s'organitza en la via, en forma d'escala o laminat, rotllos de filferro de Litz. A mesura que el tren avança, el camp magnètic repel·leix els imants fixos, provocant la levitació.

- **Avantatges i inconvenients**

- Sistema electromagnètic (EMS)
 - Aquest sistema és més econòmic que els altres dos disponibles.
 - No necessita mètodes de propulsió secundaris ni rodes.
 - Arriba a grans velocitats durant tot el trajecte (500 km/h).

- Es necessita una constant vigilància en la separació entre la via i el vehicle, per evitar accidents i/o col·lisions amb sistemes informàtics.
- És un dels models més inestable.
- Sistema electrodinàmic (EDS)
 - Assoleix velocitats molt més elevades que els altres tres sistemes arribant a més de 580 km/h.
 - Sistema capaç de transportar grans càrregues.
 - Un gran avantatge, és el fet de tenir un sistema de rodes, que en cas de tall d'energia, evitarien un possible accident.
 - El gran camp magnètic que s'hi genera, no permetria als passatgers amb marcapassos o aparells electrònics.
 - Té un elevat cost per culpa dels imants i electroimants superconductors i refrigerants.
- Sistema Indutrack
 - En cas de tall d'energia, el sistema es manté levitant i en sustentació degut a la seva tecnologia d'imants fixos.
 - Sistema que pot elevar un cúmul de 50 vegades el pes de l'imant.
 - Sistema més econòmic respecte a l'EMS i EDS.
 - Encara no hi ha una versió comercial de l'Indutrack.
 - Necessita l'ús de rodes a l'hora d'empènyer el tren cap endavant.

2.1.5.3. Companyies constructores de trens maglev

Les principals companyies constructores o finançadores per a la creació i desenvolupament de trens de levitació magnètica, tenen un gran interès en l'evolució d'aquest transport i el seu ràpid creixement a escala comercial.

- CRRC: Des de 1881 amb la fabricació de la primera locomotora de vapor a la Xina, fins als últims anys, la companyia *Corporation Limited* ha esdevingut un dels principals fabricants de material rodant especialitzat en trens, en el

món. El seu nou projecte Maglev Train 2.0, s'ha convertit en un tren d'èxit d'alta velocitat per a passatgers amb una velocitat de 160 km/h.

- THYSSENKRUPP i SIEMENS AG: Principals companyies de producció d'equipament ferroviari en el sector del tren maglev. Tenen gran representació en projectes alemanys i d'Àsia.

Thyssenkrupp és la indústria siderúrgica alemanya més important del país en la fabricació d'acers i la seva forja.

Siemens AG és considerada l'empresa de fabricació industrial més important d'Europa.

- MESSERCHMITT-BÖLKOW-BLOHM: Primera empresa en desenvolupar el primer prototip del Transrapid alemany de 1971 en una pista de proves i una velocitat inferior als 100 km/h.

2.2. Estudi del magnetisme i el corrent elèctric

Per poder realitzar el meu objectiu del treball, era necessari tenir coneixements previs sobre magnetisme a nivell físic i químic per poder idear i completar amb èxit el producte final del projecte. Entre l'estudi del magnetisme també s'inclou una part important de corrent elèctric i electromagnetisme per entendre i completar el sistema final de la maqueta en qüestió.

2.2.1. Magnetisme

L'origen del magnetisme es remunta a l'Antiga Grècia, on els antics grecs ja observaren que un mineral tenia la capacitat d'atreure o repel·lir certs materials de ferro. Actualment, se sap que aquests minerals estan constituïts per òxid de ferro, anomenat magnetita i considerats imants naturals. De fet, la paraula magnetisme deriva del nom de la ciutat Magnèsia del Meandre, antiga colònia grega de la península d'Anatòlia, l'actual Turquia.

Per tant, definim el concepte d'imant com el material capaç de produir un camp magnètic i atreure o ser atret per un altre imant o material ferromagnètic. Aquesta atracció és més forta en els seus extrems, és a dir als seus pols. Aquests pols, positiu (nord) i negatiu (sud), s'atreuen entre oposats (positiu amb negatiu) i es repel·leixen entre iguals (positiu amb positiu i negatiu amb negatiu)(figura 9).

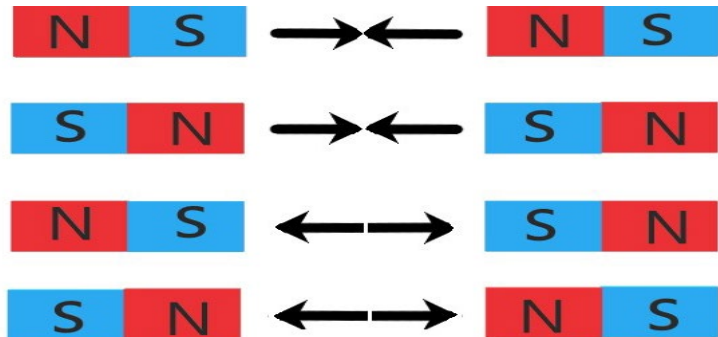


Figura 9-Atracció i repulsió entre pols-

Elaboració pròpia mitjançant Paint 3D

Pel que fa a l'àmbit de la natura, el magnetisme s'expressa amb molta força,

tanta com que podem definir el concepte de magnetisme terrestre en tot el globus terraqüi. Així definim el magnetisme terrestre com que la Terra és un imant gegantí. Explicat tècnicament, trobem que la Terra crea el seu propi camp magnètic mitjançant els corrents elèctrics que són creades pel seu nucli de ferro-níquel en estat líquid. El globus terraqüi té igual que un imant dos pols, aquests són molt pròxims als pols geogràfics, però no coincideixen. Els pols magnètics de la Terra no coincideixen amb el pols geogràfics del seus eixos pel fet que les posicions dels pols magnètics no són constants i van variant al llarg dels anys. La no coincidència entre el pol nord i el pol sud, s'expressa en un angle, la declinació magnètica.

En referència als pols magnètics de la Terra, trobem com a instrument d'orientació la brúixola. La brúixola té una agulla imantada amb moviment lliure dins el pla on està normalment situada. L'agulla imantada, sempre apunta cap al nord geogràfic degut al magnetisme terrestre i la correspondència entre pols geogràfics i pols magnètics de la Terra, com bé es mostra en la figura 10..

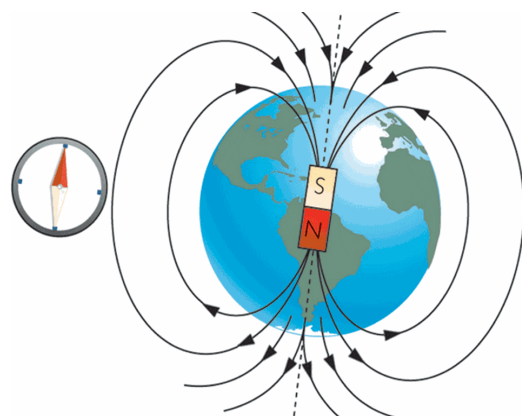


Figura 10-Magnetisme terrestre-

<https://ugc.kn3.net/i/760x/http://mgmdenia.files.wordpress.com/2011/03/campo-magnetico-terrestre.png>

2.2.1.1. Camp magnètic

Definim camp magnètic com la regió de l'espai on l'acció d'un imant es manifesta i les diferents forces magnètiques entre materials i imants es duen a terme. Es representa mitjançant línies de força. Aquestes línies de força o línies d'inducció magnètica, són unes línies imaginàries² que indiquen la direcció vectorial de la força magnètica del camp. A més a més, surten del pol nord i entren pel pol sud de l'imant per l'exterior, al contrari, en l'interior de l'imant van del pol sud al pol nord (figura 11). Gràcies a aquestes línies d'inducció magnètica, s'explica una propietat dels imants, ja que aquestes línies de força són tancades, van del pol nord al pol sud. S'explica per tant, que els pols dels imants no es poden separar³. És a dir, no es pot aïllar un pol d'un imant, exemplificant, si un imant es trenques en dues parts, ambdós pols no quedarien aïllats, sinó que es formarien dos nous imants de menys força però, cada nou imant amb els seus dos pols (nord i sud).

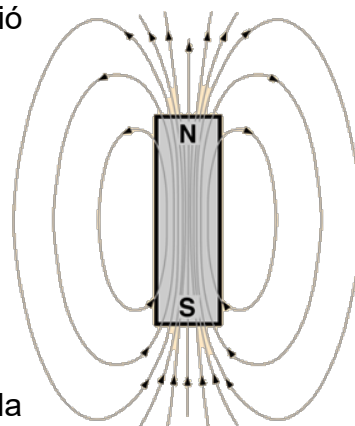


Figura 11-Camp magnètic d'un imant

Les línies del camp magnètic, mostren la forma d'aquest camp. La intensitat del camp és més gran en els extrems, als pols, ja que és la regió de l'espai on s'hi concentren i estan més properes les línies d'inducció magnètica. (figura 11).

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/elementary.html#c1>

2.2.1.2. Flux magnètic

Si tenim en compte la força i quina extensió té un camp magnètic, podem trobar la quantitat de magnetisme mitjançant la següent equació.

$$\Phi = \iint_{\Sigma} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

El flux magnètic es mesura en weber, que equival a volt per segon. La densitat de flux magnètic s'expressa en tesles, que equivalen a weber per metre quadrat.

La propietat definida en l'apartat anterior la qual definia que un imant no es podia dividir en pols individuals (monopols magnètics) s'explica

² Imaginàries: són unes línies que no es poden veure a simple vista, però mitjançant certs tipus d'experiments, es poden arribar a veure aquestes línies.

³ Els pols dels imants no es poden separar: Fet que es demostra en l'apartat 2.2. Flux magnètic d'aquest treball.

gràcies al flux magnètic i la llei de Gauss, també una de les quatre equacions de Maxwell. El flux magnètic total a través d'una superfície tancada és zero.

2.2.2. Electromagnetisme

2.2.2.1. Camp electromagnètic

Entenem com a camp magnètic, la regió de l'espai en la qual una càrrega elèctrica que es desplaça, pateix els efectes d'una força perpendicular al seu desplaçament. El camp magnètic és simbolitzat amb un vector **B** representat per les seves línies de camp de manera que cada punt de l'espai, el camp és tangent a aquestes línies. Si les línies estan molt pròximes entre si, la magnitud **B** és major i si estan molt distanciades, **B** és menor.

La unitat en Sistema Internacional del camp magnètic és el tesla (T). Un tesla és definit com el camp magnètic que exerceix una força d'1 newton sobre una càrrega d'1 coulomb el qual es mou a 1 m/s dins d'un camp i perpendicularment a les línies de camp.

$$1\text{T} = 10.000 \text{ gauss}$$

Quan es parla de camp magnètic, és inevitable parlar de camp elèctric. Ja que sempre que hi ha corrent elèctric, expressat com moviment d'electrons, apareixen efectes magnètics. Dels primers qui van experimentar aquesta relació entre aquests dos camp fou Hans Christian Ørsted durant el 1820 amb la seva posterior demostració.

L'experiment va demostrar la relació entre camp magnètic i elèctric mitjançant una brúixola i un fil conductor amb corrent elèctric. A l'apropar la brúixola al fil conductor per on hi circula una intensitat, l'agulla imantada de la brúixola es mou en funció del sentit que aquesta intensitat adopti, com bé es mostra en la figura 12.

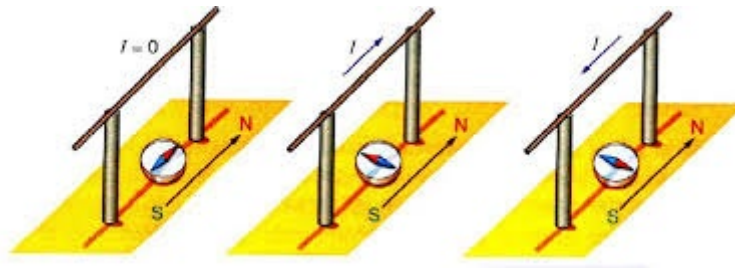


Figura 12-Experiment de Hans Christian Ørsted

https://cdn.goconqr.com/uploads/slide_property/image/1052115/desktop_e527e002-7305-4f83-8378-44884827d67e.JPG

Posteriorment, d'aquest experiment s'hi conclou que el corrent elèctric que circula per un conductor, genera en l'espai que l'envolta un camp magnètic. En definitiva, una càrrega en moviment, crea un camp magnètic al seu voltant.

2.2.2.2. Forces magnètiques en una càrrega elèctrica

Com bé s'ha definit anteriorment la relació entre camp magnètic i camp elèctric, és generada per una càrrega q^4 que es mou amb una velocitat v i crea un camp magnètic en tot l'espai.

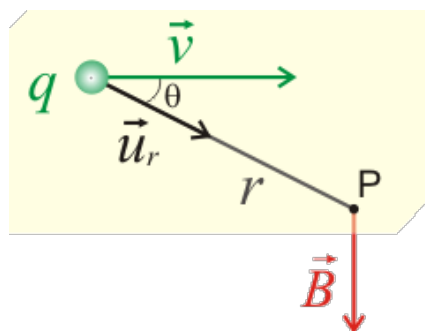


Figura 13-Camp magnètic creat per una càrrega puntual-

Definit aquest concepte trobem que el mòdul per la següent

<https://docplayer.es/50935571-Instituto-politecnico-nacional.html>

per la llei de Biot-Savart, d'aquest camp és definit és la distància entre q i el punt P expressió.

$$B = \frac{\mu_0 q v \sin \theta}{4\pi r^2}$$

μ_0 : és la permeabilitat en el buit, definida com una constant de valor $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$

⁴ q : en aquest cas es parla d'una càrrega positiva, pel contrari, si la càrrega fos negativa, el sentit de B seria oposat.

Relacionant el camp magnètic B amb la velocitat de la càrrega, trobem que apareix una força, la qual és perpendicular a les línies del camp B . Aquesta força és definida com a força de Lorentz i ve donada per la següent expressió.

$$\vec{F} = q\vec{v} \cdot \vec{B}$$

Si es troba també sota l'acció d'un camp elèctric E .

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \cdot \vec{B})$$

S'expressen visualment aquests tres factors amb la primera llei de la mà dreta
(*fig.*

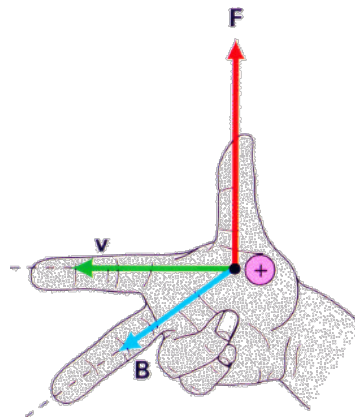


Figura 14-Primera llei de la mà dreta-

<http://laplace.us.es/wiki/images/4/45/Reglamanoderecha.gif>

2.2.2.3. Forces magnètiques en una corrent elèctrica

Agrupant cadascuna de les càrregues elèctriques anteriorment anunciades, obtenim un conjunt de càrregues en moviment, és a dir un corrent elèctric. Experimentant amb l'observació d' Ørsted, trobaríem que el camp magnètic o la inducció magnètica, variaria en funció de la intensitat de corrent i de la distància del conductor. Així doncs, concloem en una nova expressió en mòdul per determinar el camp magnètic en un fil infinit en aquest cas, per on hi circula un corrent I que serà infinita a una distància r del fil.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

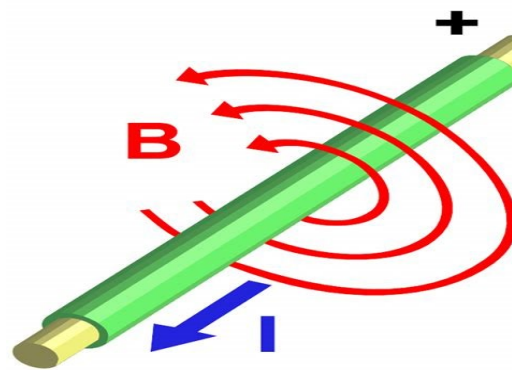


Figura 15-Intensitat i camp magnètic en una corrent elèctrica-

http://www.mehrpouyan.info/Summer%20Program%202013/elec_mag_fields.pdf

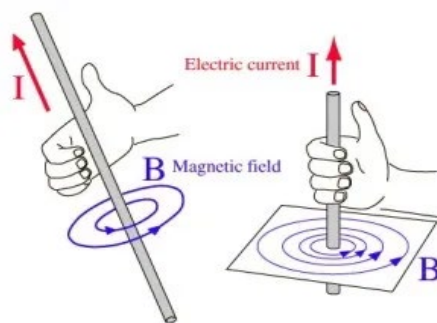


Figura 16-Segona llei de la mà dreta-

<https://s3.amazonaws.com/s3.timetoast.com/public/uploads/photos/2672617/magcur.gif>

La direcció de la intensitat respecte al camp magnètic B , és perpendicular, i el seu sentit és determinat per la segona llei de la mà dreta (fig). On el dit polze representa el sentit i la direcció del corrent i els altres quatre dits fan referència al camp magnètic.

Com bé es mostra en la figura 16, el camp magnètic és més intens en funció de la distància que aquest tingui respecte a el fil. Com més pròxim, línies de camp més pròximes, més intensitat de camp hi haurà, en canvi, com més lluny menys intensitat, fins a arribar a una intensitat nul·la.

2.2.2.4. Solenoide

Si enrotllem el fil conductor mencionat anteriorment en un cilindre regular, de forma longitudinal, sense sobreposar cap volta, és a dir de forma helicoidal, obtenim una bobina. Si per aquesta bobina, hi fem circular una intensitat⁵ qualsevol, obtenim un solenoide. Un solenoide és un dispositiu físic que és capaç de crear un camp magnètic en el seu interior uniforme i molt intens.

El nou camp magnètic que s'hi origina ve donat per la següent expressió.

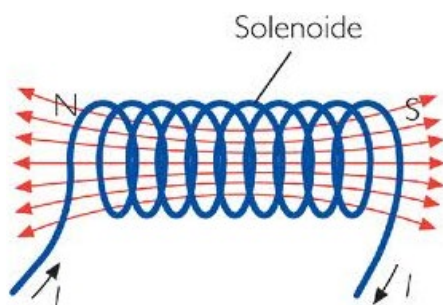


Figura 17-Solenoide-

<https://c80f16dc-a-62cb3a1a-sites.googlegroups.com/site/tindu2parets/electro-magnetisme-i-corrent-altern/solenoide.png>

$$B = \frac{\mu_0 N I}{l}$$

N: nombre d'espises del solenoide

l : longitud del solenoide

El sentit ve d'igual manera definit per la segona llei de la mà dreta definida anteriorment.

2.2.2.5. Inductància

El procés el qual camps magnètics com els definits anteriorment, generen camps elèctrics, s'anomena inducció magnètica. La inductància és la propietat del circuit elèctric per resistir un canvi de corrent. El flux magnètic del camp magnètic envoltant el corrent, varia segons el corrent i la seva variació. Altrament, el flux també dependrà de la variació del corrent.

Quan el flux magnètic varia, es desenvolupa una força electromotriu a través del conductor d'acord amb la llei de Faraday. Que postula que es produeix un voltatge si movem un conductor en un camp magnètic. El voltatge resultant i la velocitat de

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

moviment són directament proporcionals, a més a més, es formen

⁵ Intensitat: corrent elèctrica subministrada per qualsevol font de força electromotriu (bateria).

angles de 90° entre el camp magnètic, el voltatge i la direcció de moviment.

L és el símbol de la inductància en honor a Heinrich Lenz qui va postular que els sentits de les forces electromotrius o els corrents variaran segons s'oposin a la variació de flux magnètic que les va produir.

La llei que explica la interacció entre la força electromotriu induïda i el camp magnètic, és la llei de Faraday expressada de la següent manera:

$$\boxed{\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}} \quad \text{o bé} \quad \boxed{\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}}$$

La unitat en què s'expressa la inductància és el henry (H), en honor al primer físic en descobrir el fenomen d'autoinducció, l'estatunidenc Joseph Henry. Un henry equival a un volt dividit entre un ampere per segon.

2.2.3. Materials amb relació magnètica

El fet que determinats materials, es comportin de diferent manera en presència d'un camp magnètic només es pot explicar a partir de la mecànica quàntica, on cada material té diferents propietats magnètiques degut a que els seus àtoms posseeixen moments de dipols magnètics. Particularment, es basa en una propietat de l'electró anomenada espín. Els diferents materials magnètics els podem classificar en tres grups.

- Ferromagnètics: materials que poden ser magnetitzats de forma permanent per l'aplicació d'un camp magnètic extern. Altrament, aquests materials poden convertir-se en materials paramagnètics si la temperatura arriba o sobrepassa el seu valor de temperatura crítica (temperatura Curie) perdent així, la seva magnetització espontània. Exemples d'aquest tipus de material són el níquel, el ferro, el cobalt...

$$\boxed{\mu_0 < \mu}$$

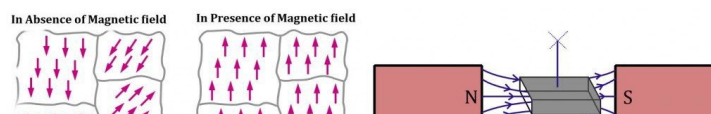


Figura 18-Camp magnètic en material ferromagnètic-

<https://www.scienceabc.com/wp-content/uploads/2017/11/Ferromagnetism.jpg>

- Paramagnètics: materials que s'imiten en el mateix sentit i paral·lelament que el camp magnètic extern sotmès. Cada àtom que els constitueix, actua com un petit imant, però orientats a l'atzar de manera que l'efecte magnètic es cancel·la. Són paramagnètics exemples com el magnesi, alumini, titani o l'aire.

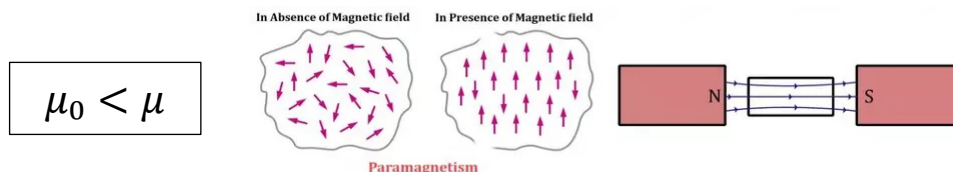


Figura 19-Camp magnètic en material paramagnètic-

<https://www.scienceabc.com/wp-content/uploads/2017/11/Paramagnetism.jpg>

- Diamagnètics: substàncies dèbilment magnètiques que repel·leixen els imants. Degut a la disposició dels electrons en els àtoms, on s'hi produeix una anul·lació global dels efectes magnètics. Dins d'aquest tipus trobem l'aigua, la plata, el bismut...

$$\mu_0 > \mu$$

2.2.4. Tipus d'imants

Quan parlem dels tipus d'imants, els podem classificar segons diferents aspectes en termes de composició, força de camp magnètic o naturalesa.

- Segons l'origen o naturalesa

Distingim dues classes més, els imants naturals, els quals es troben a la superfície de la Terra i no han estat intervinguts per l'home. Aquests, estan compostos per òxid de ferro natural, donant així el caràcter magnètic.

Pel contrari, els imants artificials han estat creats per l'home a partir d'aliatges de diferents metalls. Degut a això, poden ser imantats a través de corrents elèctriques o al friccionar-los amb altres imants.

- Segons la duració de les seves propietats

Segons la seva duració magnètica, trobem els imants temporals, materials que les seves propietats magnètiques només duren un període de temps,

normalment curt. Són sempre artificials ja que escassegen de la magnetita, mineral de propietats magnètiques natural.

En canvi, els imants permanents, tenen un magnetisme que dura períodes de temps extremadament llargs.

- Segons la composició
 - Els imants compostos per cobalt, níquel i alumini s'anomenen imants alnico, nom que sorgeix d'adjuntar els símbols químics dels components nomenats anteriorment (AlNiCo). Tenen bon cost econòmic, però una atracció bastant dèbil.
 - Els imants ceràmics, molt fràgils, estan creats a partir de partícules de ferro tractades fins a tal punt que es converteixen en aglomerats.
 - Els imants compostos per cautxú o PVC juntament amb estronci i ferro, són anomenats imants flexibles, degut a la seva composició que els fa summent flexibles tot i el curt abast de la intensitat en el camp que genera.
 - Els imants de terres rares són imants permanents elaborats amb elements químics coneguts com a terres rares. Aquests imants són el tipus més fort entre els mencionats anteriorment els quals arriben a vegades a superar per deu vegades la potència dels altres imants. Entre aquest grup, trobem els imants de neodimi, compostos per ferro, níquel i neodimi ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$), tenen una fàcil oxidació però major força de camp magnètic i baix cost econòmic en comparació als de samari-cobalt. La primera família d'imants de terres rares, els de samari-cobalt (SmCo_5) tenen una major temperatura de Curie i una difícil oxidació comparat amb els imants de neodimi.

2.2.5. Corrent elèctric

2.2.5.1. Concepte

Coneixem el corrent elèctric com el moviment ordenat i en un mateix sentit d'electrons lliures d'un metall que es produeix a conseqüència d'haver-los aportat una certa energia. D'aquesta font d'energia, els electrons viatgen del pol negatiu al pol positiu. Tot i que en el sentit convencional, és justament a la inversa.

Per tant, subministrant una font d'energia, podem obtenir un circuit elèctric, un conjunt d'elements enllaçats de tal manera que permeten la circulació d'un corrent elèctric.

2.2.5.2. Elements d'un circuit

Els elements bàsics que conformen un circuit elèctric es poden classificar per ordre segons circula el corrent elèctric de la següent manera.

- **Generador:** són els elements del circuit elèctric que subministren i mantenen l'energia als electrons perquè s'hi desplacin. Segons com subministren l'energia, es distingeixen diferents generadors.
 - Els acumuladors, són normalment de corrent continua, ja que acumulen energia elèctrica i la van deixant circular quan es connecten els pols a un circuit elèctric. És el cas de les bateries i piles.
 - Els que transformen una font d'energia en elèctrica són els alternadors, dinamos o cèl·lules fotovoltaïques.
 - Les fonts d'alimentació converteixen el corrent altern de la xarxa en un altre tipus de corrent que s'adeqüi al seu ús.

L'energia del generador que és subministrada a la unitat de càrrega positiva per fer que es desplaci al llarg d'un circuit, d'un pol a un altre s'anomena força electromotriu (fem).

$$\mathcal{E} = \frac{W}{Q}$$

W: és l'energia subministrada.

Q: és la càrrega elèctrica.

\mathcal{E} : és la força electromotriu del generador.

La unitat amb què es mesura la força electromotriu en el SI és el volt (V).

Per definir l'estat elèctric en un punt, parlem de potencial elèctric, l'energia potencial elèctrica que té la unitat de càrrega positiva en aquell punt.

- **Conductors:** perquè el corrent elèctric es mogui per un circuit, es necessita d'un mitjà conductor. És a dir, un material que ofereixi molt poca resistència elèctrica al pas de corrent per ell. Com per exemple, per enllaçar diferents elements del circuit s'utilitzen com a mitjà conductor:
 - Els cables, són bons conductors degut als seus fils de coure, grans conductors, recoberts de plàstic, que és aïllant per seguretat del circuit i de l'operari.
 - Les plaques prototip o *protoboards*, usades com a prototips de circuits electrònics, serveixen per a proves experimentals abans de soldar els components al circuit.
 - Les plaques de circuits impresos, són grans connectores, ja que el corrent elèctric circula per camins de coure i mitjançant estany, s'hi solden components.

La càrrega elèctrica que travessa una secció recta de conductor per unitat de temps és la intensitat de corrent elèctric.

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

I: és la intensitat del corrent

Q: és la càrrega elèctrica.

Δt : és l'interval de temps considerat.

L'ampere (A) és la unitat d'intensitat del corrent en Sistema Internacional.

- **Receptors:** elements capaços d'aprofitar el pas de corrent elèctric per transformar-la en un altre tipus d'energia útil. Com per exemple els motors converteixen el corrent en moviment, les bombetes transformen l'energia en llum, els radiadors en calor, etc.

Els receptors són els elements del circuit que tenen una resistència més gran en comparació als altres. Una resistència elèctrica definida com la magnitud d'un material que mesura l'oposició que ofereix al pas de càrregues elèctriques a través seu.

La resistència elèctrica d'un material depèn de les seves propietats fisicoquímiques i geomètriques, on en el cas d'un conductor metàl·lic rectilini, es defineix mitjançant aquesta equació.

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

R: és la resistència

ρ : és la resistivitat

L: és la longitud del conductor

S: és la secció del conductor

L'ohm (Ω) és la unitat de mesura de la resistència elèctrica en SI.

L'equació que relaciona la diferència de potencial en els extrems d'un conductor, la intensitat que circula i el valor de la resistència és la llei d'ohm.

$$V_a - V_b = R \cdot I$$

$V_a - V_b$: és la diferencia de potencial entre els extrems del conductor (V)

I: és la intensitat del corrent (A)

R: és la resistència elèctrica del conductor (Ω)

- Elements de control: permeten dirigir, maniobrar o tallar el corrent elèctric dins del circuit a voluntat pròpia. Com per exemple:
 - Els interruptors, impedeixen o cedeixen el pas de corrent elèctric segons en l'estat que es troben.
 - Els polsadors, permeten o impedeixen el pas de corrent elèctric, quan s'hi interactua amb ells, polsant-los o mantenint-los polsats.
 - Els relés, fan la mateixa funció que els interruptors, però en comptes d'activar-se manualment, ho fan mitjançant un circuit elèctric auxiliar.
- Elements de protecció: dispositius que protegeixen a l'operari de possibles accidents i al circuit de sobrecàrregues de tensió.

2.2.5.3. Tipus de corrent elèctric i de circuit

Combinant tots els símbols dels elements que hem diferenciat anteriorment, podem definir un esquema normalitzat de qualsevol circuit. Segons com sigui el moviment ordenat de càrregues en un circuit, podem distingir generalment entre corrent continu i corrent altern.

- Corrent continu (CC). Els electrons es mouen sempre en el mateix sentit, des del pol negatiu fins al positiu. Tots els aparells que funcionen amb bateries o piles, utilitzen corrent continu.
- Corrent altern (AC). El moviment d'electrons canvia contínuament el sentit de circulació. La tensió ja no és sempre igual com en el corrent continu, sinó que va canviant successivament. Degut a la seva facilitat de transformació, és la que s'emptra en les llars, habitatges o en les indústries.

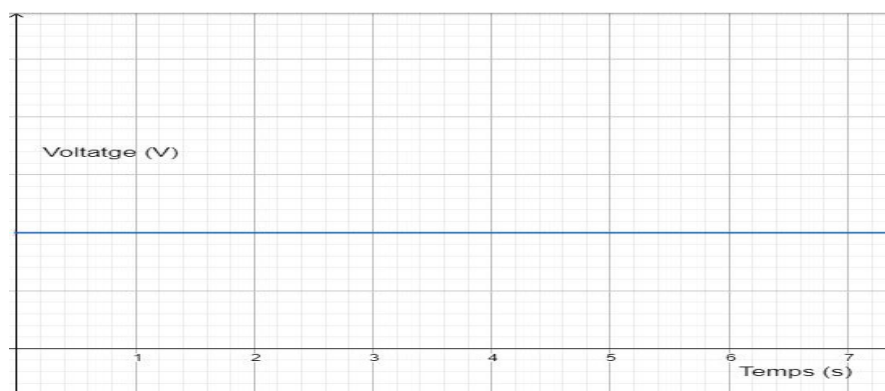


Figura 20-Gràfic corrent continu-

Elaboració pròpia mitjançant GeoGebra

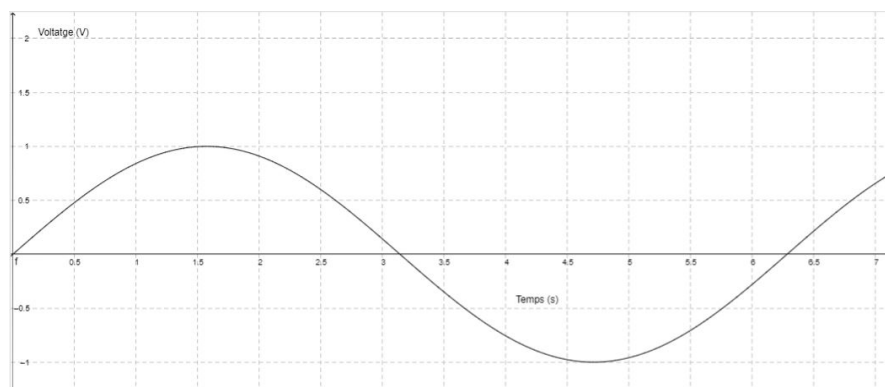


Figura 21-Gràfic corrent altern-

Elaboració pròpia mitjançant GeoGebra

Podem diferenciar a gran escala dos tipus diferents de circuits, el circuit obert i el circuit tancat.

- **Circuit obert.** Un circuit és considerat obert quan en algun punt d'aquest, hi ha un tall que no permet la circulació dels electrons de pol negatiu a pol positiu de la font de subministrament. Això implica que la intensitat no flueix i que l'energia elèctrica no pot ser transportada.
- **Circuit tancat.** En el circuit obert, els electrons poden circular des del pol negatiu del generador fins al positiu, sense trobar cap interrupció. Gràcies a la connexió entre tots els elements del circuit, la intensitat pot circular.

3. Descripció del treball pràctic

3.1. Disseny i construcció d'una maqueta maglev

Un cop estudiats els diferents tipus de trens durant el transcurs de la història acabant amb el tren magnètic, he decidit emprendre la idea amb els coneixements adquirits sobre corrent elèctric i magnetisme, de dissenyar i realitzar uns prototips de trens de levitació magnètica.

El primer prototip és el més simple i senzill per comprendre l'electromagnetisme i el magnetisme emprats en els sistemes maglev. D'altra banda, la segona maqueta és una ampliació de la primera afegint-hi un circuit amb diferents característiques que el primer.

3.1.1. Primera maqueta⁶

Per entendre les forces que intervenen en un tren maglev, vaig proposar-me recrear de manera simple però eficaç, com funcionaria un sistema maglev en una mesura reduïda. Cercant per internet en diverses plataformes vaig trobar un model molt senzill i simple on s'hi demostrava part del magnetisme i electromagnetisme en forma d'un hipotètic tren maglev.

3.1.1.1. Objectiu

Demostrar els principis bàsics de la relació entre el magnetisme i l'electricitat mitjançant l'electromagnetisme, a partir d'un experiment basat en el tren magnètic més simple de fabricar.

L'objectiu final és fer circular un "tren" elaborat a partir d'una bateria i imants de neodimi per un cilindre de coure sense esmaltar mitjançant la força electromagnètica que s'hi crearà al mantenir-se en contacte aquests elements anunciats anteriorment.

3.1.1.2. Funcionament

⁶ Primera maqueta: l'evolució i canvis de la primera maqueta s'observen en els annexos.

Per entendre el funcionament d'aquest tren, s'utilitzen en gran manera dos principis, l'electromagnetisme i el magnetisme, conceptes que es tracten numèricament en els posteriors apartats i conceptualment en punts anteriors.

Pel que fa a l'electromagnetisme, tornem a trobar el camp magnètic generat per un solenoide, una bobina normalment de fil de coure, la qual per punts exteriors el camp magnètic és menyspreable i per punts interiors el camp magnètic es pot considerar constant i uniforme, sempre que la longitud del solenoide sigui major que el seu diàmetre.

A l'introduir intensitat a la bobina de coure, es crea un electroimant. Aquest electroimant és esdevingut per el corrent que hi circula, en aquest cas gràcies al voltatge de la pila. L'anomenat corrent que circula, fa resultar un camp magnètic constant i uniforme en el centre del solenoide. Aquest camp magnètic depèn de la intensitat en la seva llargada i el nombre d'espores que tingui.

El magnetisme que s'extreu d'aquesta maqueta, consisteix en els imants col·locats a la pila, que són de neodimi (NdFeB). Els imants de neodimi, uns imants artificials que passen entre altres processos, per un camp electromagnètic perquè es quedin magnetitzats. Gràcies a això, són bons conductors d'electricitat, fet essencial per poder dur a terme el prototip.

En conclusió, els imants en disposició contrària, és a dir pols oposats entre ells (N-N o S-S) es connecten amb els pols de la pila i amb el fil de coure, de manera que es genera un camp magnètic al voltant de la pila. El conjunt avança perquè la prèvia disposició dels imants permet que en els dos extrems, les forces d'ambdós, apuntin cap al mateix sentit, provocant el seu moviment i mantenint en moviment i constant aquest camp magnètic. El camp magnètic en qüestió, és generat gràcies a la bateria, la qual amb els seus 1,5V on el pol positiu manté contacte amb l'imant, i aquest amb el fil de coure, el corrent aconsegueix circular d'un extrem a un altre, des d'un pol de la bateria passant per l'imant i arribant al fil de coure el qual manté contacte amb l'imant i aquest amb l'extrem negatiu del circuit, completant el circuit. El corrent proporcionat és mitjançant el qual es pot crear el camp magnètic a l'interior del solenoide.

Amb una visió més precisa del que succeeix en l'interior del solenoide, es podria afirmar que perquè el tren es mogui, només es necessita un imant, a condició que,

el segon es reemplaça per un element que pugui tancar el circuit. Tot i que, amb la utilització de dos imants es genera el doble de força d'atracció.

3.1.1.3. Materials

| Materials | Característiques | Dimensions | Preu |
|------------------------|--|--|---------------------------------|
| Fil metàl·lic de coure | Fil metàl·lic de coure sense esmaltar | 0,8 mm de diàmetre 50 m de longitud | 15,06 € la unitat |
| Imants de neodimi | Imants de disc de neodimi de força N52 ⁷ | 15 mm de diàmetre 3 mm de gruixària 40 g de pes de cada imant | 16,98 € el conjunt de 10 imants |
| Pila AA | Alcalina de codi LR6 (Codi IEC) o codi A25 (Codi ANSI) | 14,2 mm de diàmetre 50 mm de longitud 1,5 V de voltatge 20-25 g de pes per unitat | 1,15 € el conjunt de 4 piles |
| Volandera | No magnètica | 15 mm de diàmetre 5 mm de diàmetre de corona circular interior | - |
| Barra cilíndrica | Barra recomanable de metall (ferro, alumini...). | 16-20 mm de diàmetre ⁸ 0,9 m de longitud ⁹ | - |
| Preu total | | | 33.19 € |

⁷ N52: Els imants de neodimi, es classifiquen en dos factors. Les lletres (N), indiquen la temperatura màxima d'ús (80°C). El número (52), és un indicador de la força de l'imant, correspon al producte energètic màxim de l'imant.

⁸ 16-20 mm: el diàmetre emprat en l'experiment és de 18 mm, però pot variar en segons sigui més elevat que el diàmetre dels imants i la pila i, inferior a un valor que provoqui la velocitat lenta o el no moviment degut a la dificultat del corrent a l'hora de circular per la bobina de coure.

⁹ 0,9 m: longitud utilitzada per a elaborar el prototip, tot i que es pot utilitzar qualsevol barra de més o menys longitud i massa, tot dependrà de la llargària del fil a bobinar.

3.1.1.4. Procés d'elaboració

| Passos | Imatges (d'elaboració pròpia) |
|---|--|
| <p>Per construir la via del tren, el primer pas consisteix a enrotllar el fil de coure de 50 metres en una barra d'un diàmetre superior al de l'imant en qüestió (15-16 mm) i amb la longitud necessària per enrotllar tot el fil de coure.</p> <p>A l'hora de bobinar el coure en el cilindre, és important fer-ho amb precisió per mantenir la separació entre volta i volta i no superposar el fil sobre un altre, per evitar així, que la pila amb els imants es quedi aturada durant el circuit.</p> |   |

Un cop la via està elaborada, es pot procedir a la construcció del tren en qüestió.

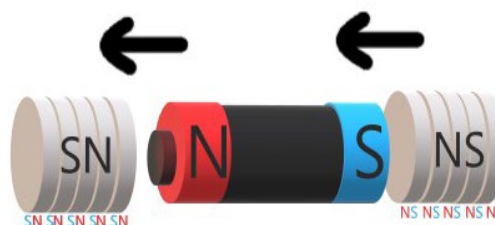
Per elaborar el tren, part mòbil de la maqueta, en aquest cas es poden utilitzar només dos imants, però per extreure més benefici als imants i aconseguir una velocitat més elevada, s'utilitzen els 10 imants, cinc a cada pol de la pila.



Per saber com col·locar els imants de manera que el conjunt avanci, es necessita el coneixement dels pols (nord o sud) de la cara de cada imant.

Això s'aconsegueix mitjançant una brúixola o enfrontant-los cara a cara i observar si es repel·leixen (pols iguals) o s'atrauen (pols diferents).



Un cop coneguts els pols dels imants, nord o sud, es col·loquen cada un o el conjunt d'imants a cada extrem de la pila, de manera que els pols d'igual signe (nord amb nord/sud amb sud) han d'estar oposats.



| | |
|---|---|
| <p>Amb el pol de cada imant conegut, es procedeix a col·locar-los com s'indica en el pas anterior, en cada extrem de la pila AA i si s'escau, encaixar una volandera en el pol nord de la pila perquè els imants no es belluguin i no provoquin que la pila s'aturi a mig recorregut.</p> |  |
| <p>Finalment, amb tota la locomotora del tren construïda (pila amb imants), el pas final és introduir el tren a la via del solenoide de coure, en el sentit d'avançament d'aquest i veure com circula per l'interior d'aquesta bobina.</p> |  |

3.1.1.5. Càlcul i lleis demostrades

- Demostració teòrica de la maqueta

Els conceptes que s'hi demostren i s'hi poden apreciar visualment en la maqueta del tren magnètic, són varis, donant més importància als conceptes relacionats al magnetisme, hi destaquen les lleis dels imants, el descobriment d'Ørsted relacionat amb la intensitat i el camp magnètic, la llei d'Ampere, aquesta última expressada també amb la regla de la mà dreta i per acabar la força de Lorentz.

Començant pel magnetisme, trobem les lleis dels imants, que defineixen l'atracció i repulsió entre ells. Podem observar en aquest experiment la col·locació definida dels imants, els quals, separats per la pila estan oposats, els dos imants en aquest cas, tenen pols contraris (N-S). D'altra banda, trobem que la pila està definida per dos extrems, un positiu, definit com a nord i l'altre negatiu expressat com a sud. Aquests extrems de la pila disposats amb els imants oposats mencionats

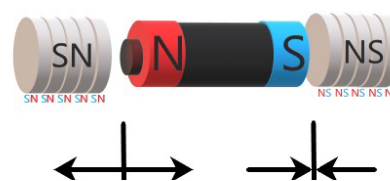


Figura 22-Atracció i repulsió d'imants-

Elaboració pròpia mitjançant Paint 3D

anteriorment, generaran d'una manera o altra, una repulsió i una atracció en els extrems. Exemplificant amb el prototip a partir de la figura 22, trobem que en l'extrem positiu de la pila (nord), s'ajunta amb un imant amb pol nord, per tant en aquest costat, s'hi genera una repulsió amb la cara nord de l'imat i el pol positiu de la pila.

Pel que fa a l'extrem negatiu de la pila, trobem que s'encara amb la cara nord de l'altre imant, generant així un efecte d'atracció entre el pol sud de l'imat i l'extrem negatiu de la pila.

Tot això combinat dins del solenoide, provocarà que el corrent circuli pel fil de coure, generant un moviment d'avançament cap a l'esquerre com es mostra en la imatge.

Contràriament, si els imants no es col·loquen oposadament, l'efecte comentat anteriorment no succeeix, provocant que el conjunt no avanci en cap sentit i quedi aturat a l'interior del solenoide com es mostra en la figura 23.

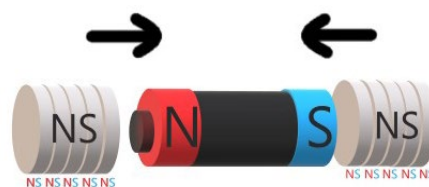


Figura 23-Sentit de les forces resultants dels imants-

Elaboració pròpia mitjançant Paint 3D

Pel que fa a l'electromagnetisme, es demostra l'experiment de Hans Christian Ørsted, que

definia que els corrents elèctrics generaven camps magnètics, demostrant així la relació entre camps magnètics i corrents elèctrics. Ørsted ho va descobrir mitjançant una brúixola i un corrent elèctric, on l'agulla de la brúixola es desviava al passar corrent a prop seu. Amb aquesta maqueta s'aprecia aquesta relació en el fet que a l'induir corrent mitjançant la pila pel conductor, fil de coure, s'hi genera un electroimat.

Amb relació als posteriors estudis d'Ampere sobre Ørsted i la llei de la mà dreta, en aquesta maqueta queda demostrada. Quan un corrent circula per un conductor, es genera al voltant seu un camp electromagnètic. Aquest, forma uns cercles que rodegen el fil de coure. Com més pròxim està el fil del camp magnètic, més intensitat i viceversa. Es pot trobar el sentit que té el flux magnètic, si es coneix la direcció que té el corrent en el cable.

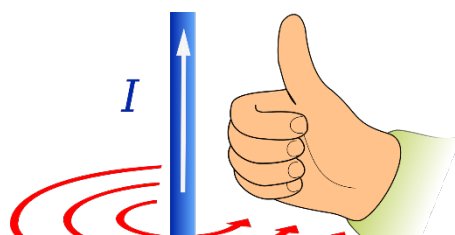


Figura 24-Segona llei de la mà dreta-

<https://i.warosu.org/data/sci/img/0073/25/1434128014213.jpg>

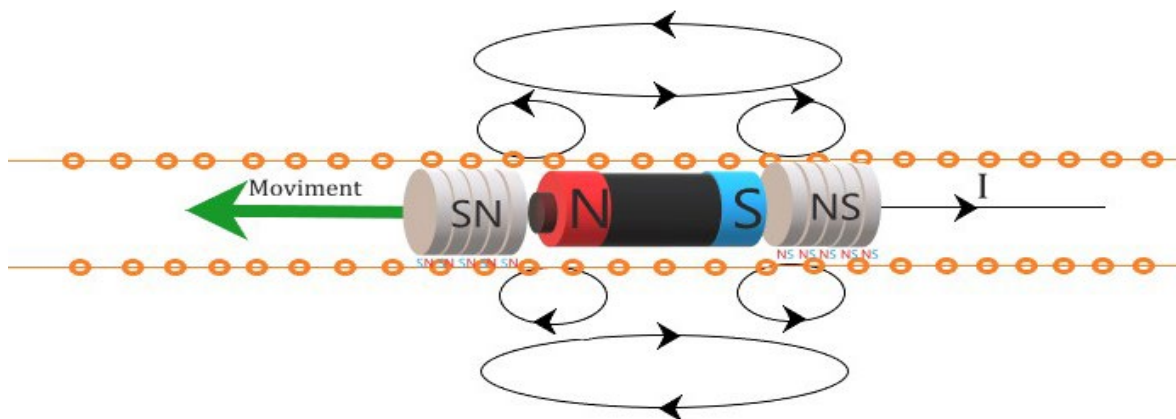


Figura 25-Representació de la maqueta amb la intensitat i sentit del moviment del tren-

Elaboració pròpia amb *Paint 3D*

En la figura 24, hi ha representat un esquema de la maqueta. On les línies de color fosc representen la direcció i sentit de la intensitat del corrent que flueix del pol positiu al pol negatiu. Les línies i cercles de color carabassa representen el fil de coure amb les espirals. Finalment el vector de color verd indica la direcció i sentit del conjunt a través de la bobina, aquesta direcció ve definida per les forces d'atracció i repulsió entre imants i el camp magnètic induït.

- Demostració física i matemàtica de la maqueta

En la part del càlcul de la maqueta, els objectius a esbrinar han estat la relació entre el nombre de voltes i la longitud total del solenoide, la intensitat que circula per la bobina i el flux i camp magnètic de tot el conjunt.

Partim d'unes dades quantificades:

- Diàmetre del solenoide de coure: 0,018 m
- Longitud de la pila: 0,05 m
- Diàmetre de la pila: 0,014 m
- Diàmetre de l'imant: 0,015 m
- Diàmetre del fil de coure: 0,0008 m
- Resistivitat del coure: $\rho = 1,72 \cdot 10^{-7} \Omega m$

○ $\mu_0: 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$

- 1) Comprovar si per un metre de longitud de solenoide li corresponen els aproximadament 50 metres de longitud de fil de coure.

$$Nvoltes = \frac{\text{número de voltes}}{\text{unitat de longitud}} \cdot \text{longitud solenoide} = \frac{100 \text{ voltes}}{1 \text{ cm}} \cdot 100 \text{ cm} = 10000 \text{ voltes}$$

$$L_{fil} = L_{volta} \cdot Nvoltes = 2\pi \cdot \frac{0,018}{2} \cdot 10000 = 565,48 \text{ m}$$

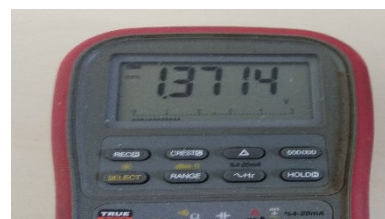
Suposant que per cada centímetre al enrotllar el fil en el tub hi correspongguessin 100 voltes, per obtenir una solenoide d'un metre de llarg, necessitaríem 565,48 m de fil.

En aquest cas, com que ha estat enrotllat a mà, és impossible fer 100 voltes per centímetre i que quedi tot el solenoide perfecte. Han estat menys de 50 voltes per centímetre.

- 2) Mitjançant la llei d'Ohm, podem trobar la intensitat que circula per l'interior de la bobina.

$$I = \frac{V}{R}$$

El voltatge ja ve donant per la bateria, 1,5V, però per ser més precisos amb els càlculs, mitjançant el multímetre he trobat el veritable valor, de 1,37V.



La resistència s'ha de trobar mitjançant la resistivitat del coure.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

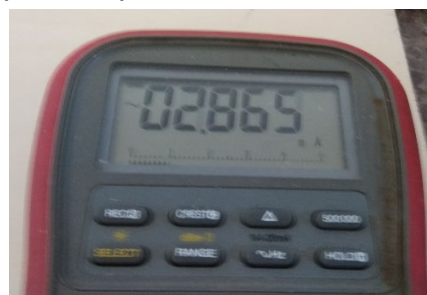
La longitud correspon al tram de fil on hi correspon la pila, i no a la longitud total.

La resistència trobada, només correspon a la del fil, ja que la resistència que ofereix els imants, no es calculable ja que els proveïdors d'imants no m'han sabut oferir quina resistència¹⁰ ofereixen al pas d'electricitat.

$$R = 1,72 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m} \cdot \frac{(0,05\text{m} \cdot \frac{40\text{voltes}}{1\text{cm}} \cdot \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} \cdot 2\pi \frac{0,018}{2})}{\pi \cdot \left(\frac{0,0008}{2}\right)^2} = 0,6159 \Omega$$

$$I = \frac{1,3714}{0,6159} = 2,22 \text{ A}$$

Tot i no ser una intensitat constant, és tant alta ja que bàsicament s'està curtcircuitant la pila, la qual en poc temps si s'atura a l'interior del solenoide, es comença a escalfar ràpidament.



- 3) Per trobar el camp magnètic generat a l'interior d'un solenoide, ve donat per l'expressió:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N\text{voltes}}{2 \cdot r}$$

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,22 \cdot \frac{40\text{voltes}}{1\text{cm}} \cdot 5\text{cm}}{2 \cdot \frac{0,018}{2}} = 0,03 \text{ T}$$

S'agafa com a nombre de voltes aquelles que estan en la longitud de la pila.

¹⁰ Resistència al pas de corrent elèctric: informació proveïda per la empresa d'imants, en els annexos.

- 4) Si el camp magnètic és uniforme en tota la superfície, el flux magnètic ve donat per la següent expressió:

$$\Phi = B \cdot S$$
$$\Phi = 0,03 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,015}{2}\right)^2 = 5,4 \cdot 10^{-6} Wb$$

S'agafa S com la superfície de l'imant

4. Variants possibles del prototip

Aquesta mateixa maqueta es pot realitzar de diverses maneres diferents amb resultats pràcticament semblants. Les úniques diferències que variaran, consistiran en la comoditat per elaborar el prototip, accessibilitat als materials necessaris i rendiment general de la maqueta.

Segons el tipus de bateria que s'utilitzi, sobretot de forma cilíndrica i alcalines per la seva facilitat en el moviment, variarà en funció sobretot de les seves mides i propietats elèctriques.

- Les piles AA, han estat emprades en aquest projecte degut a la seva alta potencia, temps que triga la pila a esgotar-se, l'alta velocitat que aquesta proporciona en l'interior del fil de coure comparat amb els altres tipus de piles. Tot i aquests clars avantatges, té uns inconvenients que fan l'elecció d'altres piles a l'hora de recrear-ho. La diferencia de masses i les longituds entre altres models, genera que en aquest tipus de pila, tingui una agilitat o moviment en el solenoide menor que en les piles AAA, provocant que comporti dificultat quan el conjunt ha de girar corbes o pujar pendent.
- Com s'ha esmentat anteriorment, les piles AAA, gràcies a la seva menor massa i longitud, generen una fàcil mobilitat i agilitat al tren construït. En alguns casos, és preferible l'ús d'aquest model per la facilitat en l'observació de com es mou el conjunt en l'interior del fil de coure.
- Les piles de tipus de C o D, d'entre 45 i més de 58 mm, amb diàmetres corresponents de 25 a 33 mm, proporcionen un volum molt més elevat

al dels models anteriors, per tant una massa més elevada, que dificulta el moviment i velocitat de la pila en l'interior del circuit, fet que no és recomanable.

- Entre les piles de menor longitud i diàmetre de totes, cal destacar el model A23, la qual genera un voltatge molt elevat, de 12V comparat amb els 1,5V de tots els altres tipus. Aquestes bateries més petites, no se solen usar degut a que s'han de trobar imants adaptats al seu diàmetre i al diàmetre del bobinat.



Figura 26-Tipus de piles-

<https://i1.wp.com/www.ingmecafenix.com/wp-content/uploads/2019/05/Tipos-pilas.jpg?ssl=1>

Pel que fa als imants, el fet essencial és que tinguin un diàmetre major al de la pila que s'utilitzarà i un nivell de força elevat. (explicar N52). Segons la forma distingim dos tipus.

- Els imants en forma de disc, són els emprats en la maqueta, ja que es poden anar afegint discs als extrems de la pila i anar observant quines diferències en velocitat i temps presenten cadascun. Com més imants a cada extrem de la bateria, més velocitat i amb menys temps arribarà al final del recorregut, exceptuant els punts en què l'addició d'imants generarà una massa més elevada del normal, fent així que el tren disminueixi la velocitat i potència entre altres, respecte al nombre d'imants afegits anteriorment.
- Els imants en forma esfèrica serien un molt bon exemple, ja que aquests, proporcionen un moviment més fluid i suau del tren i representen un camp magnètic idèntic al d'un dipol magnètic ideal. Per contra, els imants de disc faciliten la velocitat i potència del tren, en quant s'hi van afegint imants als extrems de la pila, fet que no succeeix de la mateixa manera degut a la geometria esfèrica dels imants esfèrics.

Qualsevol classe d'imant es pot fer servir en qualsevol model de bateria sempre que l'imant tingui un diàmetre superior al de la pila i aquest, toqui el fil de coure.

En consideració al fil de coure, els resultats de l'experiment, variaran en funció del diàmetre de la bobina, el diàmetre del fil de coure, la llargària del solenoide i el nombre de voltes o espires per unitat de longitud.

4.1.1. Segona maqueta

Primerament, l'objectiu de la segona maqueta era representar de forma més real i aproximada la realitat d'un tren maglev¹¹. A causa d'uns imprevistos de qualitat de material i inestabilitat en el model, la millor opció va ser descartar aquesta opció i fer una ampliació de la primera maqueta amb un nou circuit amb diferents característiques respecte a la primera maqueta.

4.1.1.1. Objectiu

Crear una maqueta amb circuits a base de bobines de coure per on hi circula un tren format per una bateria i uns imants. Consolidar tots els bobinats sobre un pla i veure que experimenten i quines velocitats s'observen quan s'enfronten a pendents, baixades i desnivells del pla.

4.1.1.2. Materials

| Material | Característiques | Dimensions | Preu |
|------------------------|--|---|-------------------------------------|
| Fil metàl·lic de coure | Fil metàl·lic de coure sense esmaltar | 0,8 mm de diàmetre 50 m de longitud | 15,06 € la unitat |
| Imants de neodimi | Imants de disc de neodimi de força N52 | 15 mm de diàmetre 3 mm de gruixària 40 g de pes de cada imant | Reutilitzats de la maqueta anterior |

¹¹ Maqueta del tren maglev més proper a la realitat: el procés i maqueta d'aquest es troba als annexos.

| | | | |
|-----------------------|--|--|-------------------------------------|
| Pila AA | Alcalina de codi LR6 (Codi IEC) o codi A25 (Codi ANSI) | 14,2 mm de diàmetre 50 mm de longitud 1,5 V de voltatge 20-25 g de pes per unitat | Reutilitzada de la maqueta anterior |
| Volandera | No magnètica | 15 mm de diàmetre 5 mm de diàmetre de corona circular interior | - |
| Barra cilíndrica | Barra recomanable de metall (ferro, alumini...). | 16-20 mm de diàmetre 0,9 m de longitud | - |
| Fusta | Planxa de fusta (qualsevol classe de fusta i mida) | 85 cm d'altura 60 cm de base | 7,79 € la planxa |
| Fusta | Planxes de fusta de balsa (Qualsevol classe de fusta i mida) | Determinació personal | 2,29 € la planxa |
| Fusta | Llistó de fusta (qualsevol classe de fusta i mida) | Determinació personal | 2,40 € tot el llistó |
| Cola blanca per fusta | Cola blanca multi usos ràpida per a fustes i derivats | 250 g de pes | 2,65 € la unitat |
| Preu total | | | 30,19 € |

4.1.1.3. Procés d'elaboració

| Passos | Imatges (elaboració pròpia) |
|--|--|
| <p>Construcció de la primera maqueta per segona vegada.</p> |  |
| <p>Amb el llistó de fusta i una serra per fusta, es talla el llistó per donar altura el pendent.</p> <p>A opció personal, es construeixen els pendents segons convingui.</p> |  |
| <p>Amb la fusta de balsa i els llistons tallats de fusta es crea el pendent desitjat enganxant-ho amb cola blanca per fusta.</p> |  |

Combinar tots els elements per obtenir la maqueta definitiva.



3.2. Aplicació local i rendibilitat

Com a apartat final del marc pràctic, trobem amb el previ estudi del tren maglev i les seves característiques, la possible aplicació d'un tren magnètic en un entorn local. Amb la recerca d'informació i comparació entre trens estatals i locals, es tracta de fer un estudi o plantejament sobre la rendibilitat que tindria aquesta implantació de tren magnètic i quins avantatges o inconvenients suposarien sobre la població i el medi ambient.

Primerament, per saber si seria de gran eficàcia i de benefici per a la població espanyola la implementació d'un sistema de transport magnètic, és de gran importància observar el seu desenvolupament en altres països. Els únics països amb sistemes de trens magnètics són la Xina, Japó i Corea del Sud. La Xina és el país capdavanter pel que fa als sistemes maglev, d'acord amb la seva quantitat de trens magnètics en funcionament i les grans velocitats les quals arriben aquests trens. Prenen com a exemple un dels trens de la Xina, el *Shangai Maglev Train*, trobem que la seva construcció va costar al voltant d'uns 1,2 bilions de dòlars americans, segons ens mostra un estudi del 2017 per part de *The National's Business*. Aquest tren realitza un recorregut de 30 km, per una pista construïda per Siemens i ThyssenKrup, des de l'aeroport internacional de *Pudong*, Shanghai fins als afores del centre de *Pudong*. Segons l'horari que presenta, de 6:45 h a 21:30 h amb serveis alternats entre 15 i 20 minuts, resulta incòmode per la població de la localitat. El preu d'un bitllet d'anada costa al voltant de 6,43 € i un d'anada i tornada, entorn els 10,28 €. Degut a la poca distància que recorre, el destí on finalitza, una zona poc freqüentada i l'alt cost del bitllet, sembla que el *Transrapid* xinès no acaba de treure fruits, ja que de mitjana arriba amb sort al 20% de capacitat de passatgers total del tren. Aquest tren sembla ser més una atracció turística inevitable de la Xina que no pas un sistema de transport eficient amb rendiment alt, ja que transports com el metro de Shanghai que fa el mateix trajecte per un cost del bitllet de 0,77 € i 1,54 € l'anada i tornada, però set vegades més lent que el tren maglev.

Tot i els inconvenients que suposa un tren magnètic, aquest també ofereix certs avantatges que cap altre sistema ferroviari o inclús de transport pot oferir.

- El tren maglev, com més velocitat aconsegueixi, més estabilitat obtindrà degut al treball aerodinàmic i la dinàmica de fluids.
- A més a més de la seva estabilitat trobem que la possibilitat de patir un accident per descarrilament és gairebé impossible degut a que va en la majoria de trens, enganxat a la vida, la separació entre via i tren és aproximadament de 10 cm, convertint-lo en un dels transports més segurs. L'accident mortal més greu patit fou el maglev alemany durant 2006 quan va impactar amb un vehicle de manteniment, on hi va haver 23 morts.
- Al no produir-se fricció amb la via són dels transports amb menys contaminació acústica i a grans velocitats són energèticament més eficients.
- Són sistemes especialitzats per trajectes curts i van sense tripulant.

El gran inconvenient que presenta, ja mencionat indirectament és el cost que suposa. Ja que s'han de construir noves infraestructures amb bigues de superconductors en comptes de vies de ferro i una gran xarxa elèctrica potent, la qual és extremadament alta en quant el tren no ha assolit velocitats altes, per donar abastiment a tot el tren i recorregut. Aquestes vies addicionalment necessiten un cert manteniment per aquelles situacions meteorològiques que resultin impossible la seva circulació com la neu i el gel.

En conclusió, l'aplicació d'un sistema de tren magnètic a Espanya resulta molt complicat a causa dels costos econòmics que aquest suposa i, la llarga i difícil amortització que costaria implementar aquest nou sistema. Com que els trens maglev són experimentals i n'escauen molt pocs, el seu cost és altíssim, podríem dir que en un futur, si s'hi desenvolupen més trens magnètics a grans escales, els costos en general disminuirien.

És d'importància afegir que en la localitat ja existeix un sistema ferroviari d'alta velocitat, conegut com a AVE (Alta Velocitat Espanyola) creada el 1992 de la companyia ferroviària espanyola Renfe Operadora. El qual circula gairebé a la meitat de velocitat (350 km/h) que un tren maglev a màxima velocitat (600 km/h).

Tot i això, un article de l'*ABCdesevilla* afirma que el grup ACS, una multinacional espanyola de construcció i serveis, va proposar la instal·lació d'un tren de levitació magnètica entre *Cartuja* i l'*Avenida Blas Infante* a Sevilla. Però el projecte no ha

tingut molt futur per culpa dels costos econòmics i les poques precisions per part de la companyia.

Hyperloop

En paral·lel a aquestes experiències, hi ha un projecte anomenat *Hyperloop* el qual aconseguiria velocitats semblants a la dels avions, per sobre dels 950 km/h. Consisteix en allotjar el transport en forma de tren en l'interior de tubs al buit per eliminar la fricció amb l'aire. Es tracta d'un projecte molt ambiciós i en fase experimental.

4. Conclusions

Com a conclusions finals Les conclusions finals que se'n poden extreure d'aquest projecte d'investigació, són en gran part positives i favorables, ja que la majoria dels objectius proposats a l'iniciar el treball s'han complert. En destaquen, la investigació històrica sobre la locomoció en diversos aspectes com l'evolució, característiques i origen. La comprensió i estudi dels fenòmens elèctrics i relacionats amb el magnetisme. L'establiment d'una relació entre l'estudi històric i les propietats electromagnètiques, magnètiques i elèctriques per així obtenir una redacció completa sobre el tren magnètic i les seves propietats i característiques. El desenvolupament d'una maqueta física sobre un teòric model maglev a petita escala, per així observar quines característiques presenta i enllaçar-ho amb l'estudi magnètic i elèctric per entendre el seu funcionament. Fer un estudi per plantejar la possible aplicació d'un sistema de trens magnètics en una àrea local, que ha resultat de gran dificultat, la implementació d'un sistema de grans dimensions i grans costos en una àrea local que no té l'abast de proporcionar la quantitat de diners per a un sistema en creixement que no ofereix els beneficis que es voldrien obtenir.

Tot i haver complert els objectius principals, el producte final que es volia obtenir d'aquest treball era la creació d'un tren magnètic el més real possible, però a causa

de les dificultats ja exposades i els costos econòmics que presenta realitzar aquest tipus de maqueta, ha resultat impossible la seva construcció.

La maqueta que es volia aconseguir en un principi, tenia com a materials i sistema de propulsió i levitació, materials superconductors, aquests materials són difícils d'aconseguir i de gran cost econòmic per tant, es va recórrer a realitzar una maqueta amb materials més accessibles i que el cost total no fos gaire alt.

Un cop finalitzat el projecte, hagués estat de gran rellevància l'estudi molt més exhaustiu de les velocitats a les quals pot arribar la maqueta elaborada i quines són les propietats dels materials que modifiquen els resultats anteriors. Altrament, en la maqueta final, la decoració que presenta, podria basar-se més en un entorn més futurista o bé, en un entorn d'actualitat com una gran ciutat.

D'aquest treball de recerca se n'extreuen molts resultats i conclusions, però el més important que he pogut extreure mentre el realitzava, són tots els nous coneixements adquirits sobre magnetisme i electromagnetisme, els quals he hagut d'aprendre per a mi mateix i comprendre-ho per mi sol, ja que aquests conceptes no han estat tractats encara en cap assignatura ni en cap curs cursat. En addició als coneixements tan interessants adquirits, cal afegir les coneixences que aquest projecte m'ha aportat tant en l'àmbit personal com la paciència, organització i pressa de consciència com en l'àmbit educatiu referent als passos de redacció d'un treball d'aquestes magnituds i importància, quins recursos utilitzar o l'aplicació de la millor metodologia per dur a terme aquest projecte.

5. Bibliografia

Estrada, Rafael. (n.d.). *Ferrocarriles*. Consultat 22 desembre 2018, des de <http://www.cps.unizar.es/~transp/Ferrocarriles/INDICE.html>

Historia del tren: Origen, inventor y evolución. Consultat 22 desembre 2019, des de <https://www.curiosfera.com/historia-del-tren/>

Pérez, Julián. (2016). *Definición de tren*. Consultat 12 gener 2019, des de <https://definicion.de/tren/>

Federació Catalana d'Amics del Ferrocarril. (2019). Consultat el 19 gener 2019, des de <http://www.fcac.cat/portal/>

Terminus: Centre d'Estudis del Transport. (2019). Consultat el 19 gener 2019, des de <https://www.terminus.cat/home/>

¿Cómo funcionan los trenes? (2013). Consultat el 19 gener 2019, des de <http://comofuncionanlostrenes.blogspot.com/2013/03/locomotoras-diesel.html>

TodoTrenes.com (2019). Consultat el 20 gener 2019, des de <http://todotrenes.com/trenes/>

Tren (2019). Consultat el 9 març 2019, des de <https://www.ecured.cu/Tren>

Maglevboard (2019). Consultat el 9 març 2019, des de <http://www.maglev.in/>

Maglev.net (2019) Consultat 10 març 2019, des de <https://www.maglev.net/>

Magnetic Levitation Trains (2019). Consultat 10 març 2019, des de <https://maglevtrains.weebly.com/sources.html>

DW staff (2008). *Siemens, ThyssenKrupp to Dissolve Maglev Train Company*. Consultat 16 març 2019, des de <https://www.dw.com/en/siemens-thyssenkrupp-to-dissolve-maglev-train-company/a-3325455>

Martín, Teresa; Serrano Ana (2014). *Curso de Física Básica*. Consultat 3 maig 2019, des de <https://www.dw.com/en/siemens-thyssenkrupp-to-dissolve-maglev-train-company/a-3325455>

Peshin, Akash (2018). *Is Stainless Steel Magnetic?* Consultat 10 maig 2019, des de <https://www.scienceabc.com/pure-sciences/is-stainless-steel-magnetic.html>

Jorba, Marcel(2019)*La Pissarra*. Consultat 12 juny 2019, des de <https://www.lapissarra.cat/>

Institut de Recerca Tècnica Ferroviària (2019). *Tecnologia lineal superconductor: Vehicle superconductor magnèticament levitat*. Consultat 10 octubre 2019, des de <https://www.rtri.or.jp/rd/maglev/>

Emmanuel, Christopher; Mauricio, Edgar; Ismael, Rubén. (2016). *Cosecha de energía por medio de señales de radiofrecuencia*. (Tesis). Instituto Politécnico

Nacional, Ciutat de Mèxic. Consultat 17 octubre 2019, des de <https://docplayer.es/50935571-Instituto-politecnico-nacional.html>

Barco, Héctor; Rojas, Edilberto; Restrepo, Elisabeth. (2012). *FÍSICA: Principios de Electricidad y Magnetismo*. Consultat durant tot el treball, des de <http://www.bdigital.unal.edu.co/45116/1/9789587612837.pdf>

Allen, Paul; Mosca, Gene. (2010). *Física para la ciencia y la tecnología: Electricidad y magnetismo/Luz* (6^a ed. Vol. 2). Consultat durant tot el treball, des de <https://www.fceia.unr.edu.ar/~fisica3/cap-2.pdf>

6. Annexos

6.1. Prèvia a la primera maqueta

Al començament de la primera maqueta amb els materials ja disponibles i tot ben construït, va sorgir un problema de mides amb els imants i el conjunt de piles amb imants no circulava per l'interior de la bobina.

Amb la preocupació i dubte de per què no funcionava, si tot el procediment i el conjunt seguia l'ordre i estava correcte, vaig decidir experimentar amb les longituds entre espires del solenoide fins que em vaig adonar que el diàmetre d'aquests imants era més petit per pocs mil·límetres que la pila. En conseqüència no podia fluir bé el corrent de la pila als imants i dels imants amb el fil de coure, perquè no hi havia contacte.



Figura 27-Imants de neodimi de N52-

Elaboració pròpia

6.2. Maqueta del tren maglev més proper a la realitat

6.2.1. Objectiu


Aquesta maqueta pretén mostrar com seria un tren magnètic en la realitat i veure la seva levitació. Els seus principis bàsics de levitació són l'atracció i repulsió entre les pols, és a dir la levitació que apareix per l'oposició de les tires magnètiques cara a cara.

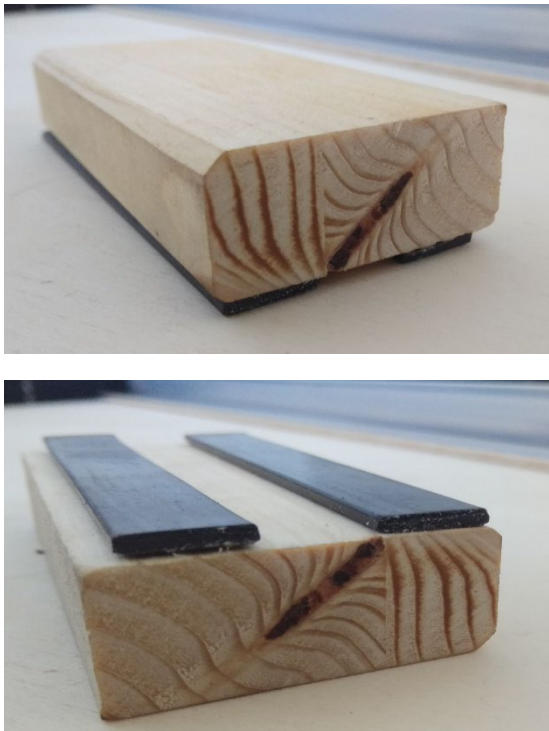

6.2.2. Materials

| Material | Característiques | Dimensions | Preu |
|-----------------------------|---|---------------------------------------|--------------------|
| Tires magnètiques adhesives | Tires magnètiques adhesives modelables. | 1,27 cm d'amplària. 2 mm de gruix. | 13,99 € la unitat. |

| | | | |
|---------------------|--|--|-----------------------------------|
| | | 3 m de longitud | |
| Acrílic transparent | PVC transparent en forma de L. | 2 cm de base. 2 cm d'altura. 2 m de llarg. | 2,29 € la unitat. |
| Fusta | Planxes de fusta de balsa (Qualsevol classe de fusta i mida). | Determinació personal. | Reutilitzat de la segona maqueta. |
| Fusta | Llistó de fusta (qualsevol classe de fusta i mida). | Determinació personal. | Reutilitzat de la segona maqueta. |
| Preu total | | | 16,28 € |

6.2.3. Procés d'elaboració

| Passos | Imatges (elaboració pròpia) |
|--|---|
| Col·locar les tires magnètiques de manera paral·lela en forma de vies de tren. Consecutivament, col·locar-hi l'acrílic transparent al costat de cada via perquè el tren no es desvii i segueixi una única direcció. |   |
| Disposar paral·lelament i als extrems dues tires magnètiques en un llistó petit i lleuger. Aquest serà el tren que circularà per les vies magnètiques. | |

| | |
|--|---|
| |  |
| <p>Ajustar el tren sobre les vies magnètiques fins que leviti.</p> |  |

6.2.4. Resultat final de la maqueta

Amb una observació i experimentació detallada, les meves conclusions extretes sobre aquesta maqueta no foren del tot satisfactòries. El resultat que jo esperava era una levitació forta, on el llistó amb les tires es poguessin moure lliures i amb molta estabilitat per després idear un sistema de propulsió basat en el següent esquema:

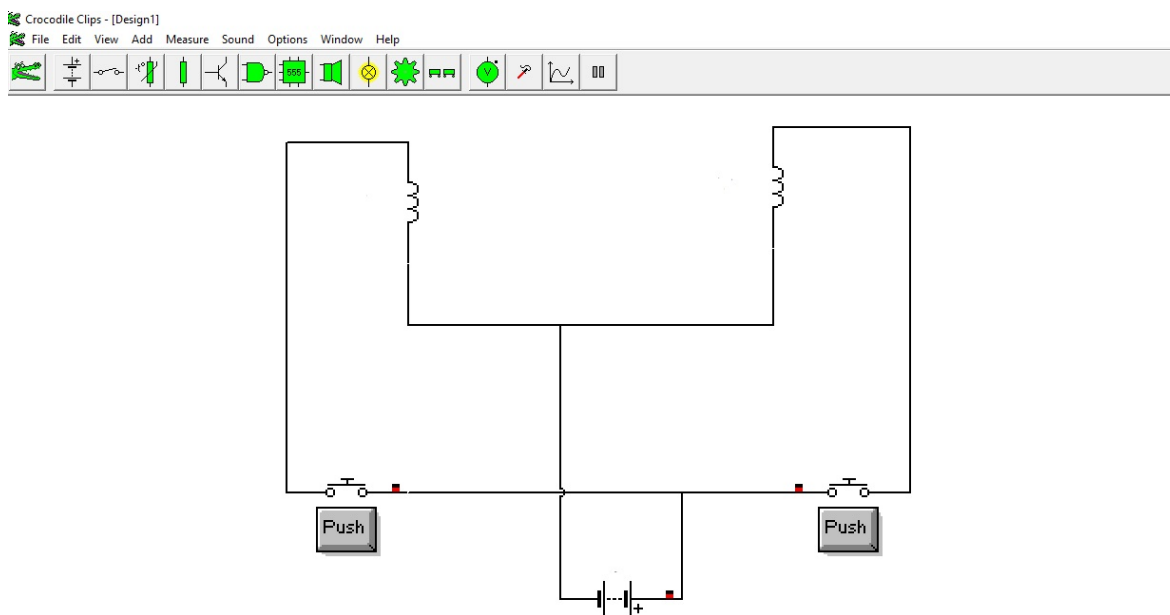


Figura 28-Circuit elèctric per a la propulsió del tren

Elaboració pròpia mitjançant *Crocodile Clips*

La figura 27 representa el circuit elèctric pel qual mitjançant una bateria, dos pulsadors i dues bobines enrotllades sobre si mateixes, el tren magnètic, el llistó amb les tires magnètiques que levita, podria avançar i retrocedir d'igual manera.

Perquè aquesta propulsió funcionés, s'haurien d'incorporar uns imants als extrems del tren de tal manera que quan impactés amb la bobina de coure i el botó fos premut, s'induiria un camp magnètic en la bobina que repel·liria l'imant de l'extrem del tren, provocant el seu desplaçament com es mostra en les següents figures. Tornant a pulsar l'altre pulsador, succeiria la mateixa reacció, provocant que el tren tornés al lloc d'origen, i així constantment.

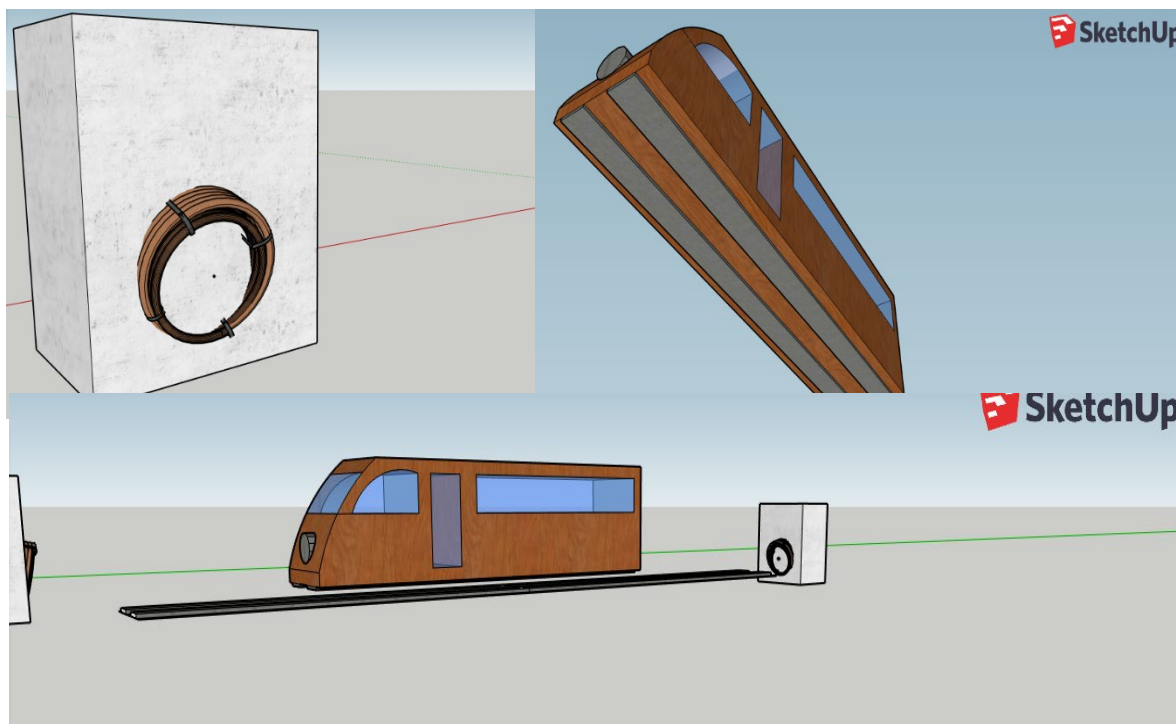


Figura 29-Figura 29-Figura 30-Maqueta maglev amb Sketch Up-

Elaboració pròpia mitjançant Sketch Up



6.3. Maqueta extra en un medi diferent

Experimentant amb el fil de coure i cercant informació sobre la conductivitat i propietats dels diferents metalls, em va sorgir el dubte de si es podria emprar el mateix sistema de tren magnètic utilitzant un altre metall com a medi per on circular.

Cercant els metalls amb més conductivitat elèctrica, on s'hi poden destacar el grafè, la plata, el coure... entre altres, un metall de fàcil accés i disposició en grans mides, el metall adient va ser l'alumini.

L'alumini presenta una conductivitat elèctrica del $37,8 \cdot 10^6 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ respecte a la conductivitat de $59,6 \cdot 10^6 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ que fa que esdevingui el conductor més usat per al transport i gestió elèctrica. Tot i les seves diferències en conductivitat, l'alumini és una bona opció pels equips de distribució elèctrica, ja que redueix el pes dels equips i per tant la càrrega mecànica de les instal·lacions.

Un substitut encara més simple de model maglev, ve donat per tres únics materials fonamentals.

| Passos | Imatges |
|--|--|
| <p>Sobre una superfície plana anivellada, s'estén la làmina d'alumini amb la llargària i amplada que es desitgi.</p> |  |
| <p>Recurrent al prototip inicial, es procedeix a col·locar els pols dels imants en la mateixa disposició que l'anomenat anteriorment. De manera que els pols d'igual orientació han d'estar oposats.</p> |  |
| <p>En la figura que es mostra en la part dreta, hi ha col·locats sobre la làmina d'alumini, dues piles amb dos imants a cada extrem. La pila de la part esquerra té els pols orientats el nord amb el sud, de la manera contraria que en la figura anterior. La segona pila, en l'extrem esquerre, amb dos imants col·locats oposadament.</p> <p>La predicció és que el conjunt esquerre, no reaccioni en donar una empenta sobre ell, en canvi en el segon s'espera que avanci i continu sense aturar-se.</p> |  |

En donar la mateixa empenta sobre les dues piles amb imants, el conjunt esquerre, ha avançat degut a la força aplicada, però s'ha aturat. El conjunt de l'extrem dret, pel mateix efecte que en la primera maqueta, en donar l'empenta, ha continuat en línia recta fins a aturar-se al final del recorregut on no hi ha làmina de plata.



6.4. Materials emprats en la construcció de les maquetes

6.4.1. Compra de materials

Els materials necessaris per construir ambdues maquetes han estat comprats tant per internet com físicament en botigues.

- Amazon
 - Imants de neodimi de 14x3 mm
 - Tires magnètiques flexibles
 - Fil de coure de 50 m

<https://www.amazon.es/>

- Superimanes
 - Imants de neodimi de 15x3 mm i N52 de força

PRECIOS I.V.A. INCLUIDO

[contacto](#) | [mapa sitio](#)

Carrito: **10** productos

Bienvenido | Entrar

| | | | | | | |
|-------------|---------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|----------|
| PRODUCTOS ▾ | IMANES MÁS VENDIDOS | IMANES NEODIMIO | IMANES FLEXIBLES | BASES MAGNÉTICAS | IMANES FERRITA | PAR BIO. |
|-------------|---------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|----------|

CATEGORÍAS

- ▶ IMANES MÁS VENDIDOS
- ▶ IMANES DE NEODIMIO
 - DISCOS 1 mm - 9 mm
 - DISCOS 10 mm - 39 mm
 - DISCOS 40 mm +
 - BLOQUES 1 mm - 9 mm
 - BLOQUES 10 mm - 39 mm
 - BLOQUES 40 mm +
 - IMANES PARA ATORNILLAR
 - CILINDROS MAGNÉTICOS
 - CUBOS MAGNÉTICOS
 - AROS MAGNÉTICOS
 - CONOS MAGNÉTICOS
 - ESFERAS MAGNÉTICAS
 - IMANES AUTOADHESIVOS
 - IMANES DE GOMA

/ IMANES DE NEODIMIO / DISCOS 10 mm - 39 mm / IMÁN NEODIMIO 15x3mm N52

IMÁN NEODIMIO 15x3mm N52
Disco magnético, N52, níquel (NiCuNi)
Imanes redondos. Fuerza 3,7 kg. aprox.
Referencia: D-15-03-N52

Precio por cantidad:

- ☒ desde 5 uds.
- ☐ desde 10 uds.
- ☐ desde 20 uds.
- ☐ desde 50 uds.
- ☐ desde 100 uds.
- ☐ desde 150 uds.

Referencia: D-15-03-N52
Cantidad
Este producto no se vende individualmente. Útelos

Compartir en Facebook

SORTEO SUPERIMANES
 per a mi ▼

Buenas tardes Pau, los imanes están hechos de tierras de neodimio y recubiertos con una capa de Níquel-Cobre-Níquel, no estan diseñados para conducir electricidad y por tanto no hay mediciones que puedan evaluar los datos que nos solicita, lamentablemente no disponemos de esta información.
 Esperamos poder ayudarle en lo que necesite.
 Un saludo.
 Fernando.
 ...
 --
Superimanes, S.L.
 Telf. : 955 76 07 39
 Móvil: 630 159 371

Marcas Registradas®

Calle Nobel 2.A - Parque Industrial Pisa
 41927 - Mairena del Aljarafe
 Teléfono: 955 760 739
 Móvil.....: 630 159 371
www.superimanes.com
soporte@superimanes.com

VISA **MasterCard** **PayPal**

CONTACTE CON NOSOTROS
 Horario de Lunes a Viernes de 9:00 a 18:30 Continuo.
 ☎ 630 159 371
 NUESTRAS TÉCNICAS LE AYUDARAN A RESOLVER SUS DUDA(S)

Regalos Navidad
MAGNET EXPERIMENTE

dj., 5 de des. 21:37 (fa 3 días) ☆ ↺ ⋮

Figura 32-Correu demanant especificacions sobre la resistència elèctrica dels imants, per poder trobar la intensitat exacte- <https://www.superimanes.com/>

- AKÍ Bricolaje, Jardinería y Decoración
 - Base de fusta de la maqueta
 - Planxa de fusta de balsa

Comprat en les botiques físiques de Catalunya. <https://www.aki.es/aki>

- Leroy Merlin
 - Llistó de fusta
 - Acrílic transparent

Comprat en les botiques físiques de Catalunya. <https://www.leroymerlin.es/>

6.4.2. Material



Figura 35-Fil de coure de 50 m



Figura 36-Imants de neodimi de 14x3 mm

Figura 37-Imants de neodimi de 15x3 mm



Figura 33-Imants de neodimi i piles AA



Figura 34-Brúixola

Figura 39-Tires magnètiques

Figura 38-Làmina d'alumini



Figura 42-Multímetre

*Figura 41-Tub d'alumini
per fer la bobina*

Figura 40-Serra i llistó de fusta



Figura 44-Fusta de balsa

Figura 43-Acrílic transparent



Figura 45-Planxa de fusta

