



TREBALL FINAL DE GRAU

TÍTOL: Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren

AUTORIA: SÁNCHEZ TOLO, LAIA

DATA DE PRESENTACIÓ: Juny, 2022

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
Laia Sánchez Tolo

COGNOMS: Sánchez Tolo

NOM: Laia

TITULACIÓ:

PLA:

DIRECTOR: Rafael Ramon Ramos Lara

COORDIRECTOR: Lluís Monjo Mur

DEPARTAMENT: Departament d'Enginyeria Electrònica

QUALIFICACIÓ DEL TFG

TRIBUNAL

PRESIDENT

Jaume Miret Tomas

SECRETARI

Jose Luis Garcia de Vicuña
Muñoz de la Nava

VOCAL

Martí Beltrán González

DATA DE LECTURA: 11 de juliol de 2022

Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals: Sí No

RESUM

Actualment l'accessibilitat global els serveis dels sistemes ferroviaris de Rodalies de Catalunya incompleix la normativa vigent, teòricament en cap cas supera el 80%, tanmateix la realitat demostra que és una xifra molt inferior.

Aquest treball té com a objectiu oferir una solució per a les persones amb mobilitat reduïda per a l'accés al tren i es planteja des de l'acompanyament des de la plataforma d'origen –durant tot el trajecte en tren– fins a la plataforma de destinació mitjançant un robot transportador de persones amb rodes.

El sistema que es planteja és autònom i incorpora un sistema de comunicació sense fils amb la PMR usuària per donar petites instruccions i en aquest treball es realitza tant el disseny de la solució real com un prototip funcional. En ambdós casos podem dividir-ho en quatre parts funcionals:

- La responsable del moviment; l'estructura i les rodes d'eruga amb els motors respectius, amb els seguidors de línia per a l'interior del tren.
- L'encarregada de la seguretat; mitjançant sensor per detectar obstacles així com indicadors i actuadors de llum i so.
- La responsable de l'accés a la plataforma robòtica; una rampa retràctil, que serà moguda per un pinyó cremallera que després serà inclinada per motors PaP on en el disseny s'aplicarà tres etapes planetàries reductores.
- La responsable de l'accés al tren; una plataforma amb acceleròmetre per ajustar la inclinació de manera que la cadira estigui sempre plana malgrat la inclinació del robot en pujar al tren.

Finalment en el cas del prototip, s'explica la programació necessària per al seu correcte funcionament.

Podem concloure que aquest treball té marge de millora pel que fa a la seva versatilitat d'ús, però que a la vegada es tracta d'un dispositiu complet que resol una de les problemàtiques actuals que els serveis de RENFE encara no han donat resposta.

Paraules clau (màxim 10):

Accessibilitat	Arduino	Autònom	ESP32
PMR	Robot	Transport	Tren

ABSTRACT

Currently, the global accessibility of the services of the railway systems of Rodalies de Catalunya does not comply with current regulations, in theory in no case exceeds 80%, however the reality shows that it is a much lower figure.

This work aims to offer a solution for people with reduced mobility for access to the train and is proposed from the accompaniment from the platform of origin - throughout the journey by train - to the platform of destination by means of a robot transporting people with wheels.

The proposed system is autonomous and incorporates a wireless communication system with the user PRM to give small instructions and in this work both the design of the actual solution and a functional prototype are performed. In both cases we can divide it into four functional parts:

- Part in charge of the movement; the structure and the caterpillar wheels with the respective motors, with the line trackers for the interior of the train.
- Part in charge of security; by means of sensor to detect obstacles as well as indicators and actuators of light and sound.
- Part in charge of access to the robotic platform; a retractable ramp, which will be moved by a rack pinion which will then be tilted by stepper motors where three planetary reducing stages will be applied in the design.
- Part in charge of access to the train; a platform with accelerometer to adjust the inclination so that the chair is always flat despite the inclination of the robot when boarding the train.

Finally, in the case of the prototype, the necessary programming for its correct operation is explained.

We can conclude that this work has room for improvement in terms of its versatility in use, but at the same time it is a complete device that solves one of the current problems that RENFE services have not yet responded to.

Keywords (10 maximum):

Accessibility	Arduino	Autonomous	ESP32
PRM	Robot	Transport	Traint

SUMARI

INTRODUCCIÓ	10
1. EL SERVEI DE RENFE A CATALUNYA I LA NORMATIVA VIGENT D'ACCESSIBILITAT	12
1.1 ANTECEDENTS EN EL SERVEI DE RENFE	12
1.1.1 SERVEI D'ASSISTÈNCIA ATENDO	13
1.1.2 PLANS D'ACCIONS	14
2. ESTAT DELS COMBOIS DE RENFE RODALIES I REGIONAL	17
2.1 CÀLCUL DIMENSIONAL	26
2.1.1 SÈRIE 447	28
2.1.2 SÈRIE 448	31
2.1.3 SÈRIE 449	34
2.1.4 SÈRIE 450/451	36
2.1.5 SÈRIE 463/464/465	39
2.1.6 SÈRIE 470	42
3. PROPOSTA DE VEHICLE AUTÒNOM	45
3.1 NORMATIVA REGULADORA	46
3.2 COMPARATIVA ESTRUCTURES	48
3.3 ACTUADORS DE PETITA SENYAL	51
3.4 ACTUADORS DE POTÈNCIA	53
3.4.1 MOTORS DE TRACCIÓ	55
3.4.2 MOTORS D'ELEVACIÓ	60
3.4.3 MOTORS DEL MECANISME RETRÀCTIL	66
3.4.4 MOTORS D'INCLINACIÓ	68
3.5 ALIMENTACIÓ	71
3.5.1 DIMENSIONAMENT DE LA BATERIA	72
3.5.2 DIMENSIONAMENT DE CABLEJAT	77
3.6 CONDICIONS EXTERNES	79
3.7 PRESSUPOST	80

4. PROTOTIP DE VEHICLE AUTÒNOM	82
4.1 ESTRUCTURA	82
4.2 SISTEMA DE CONTROL	85
4.3 MÒDULS	86
4.3.1 ESP32-DEVKITC V2	87
4.3.2 MÒDUL HC-SR04	89
4.3.3 MÒDUL GY-521	90
4.3.4 MÒDUL KY-033	92
4.3.5 MÒDUL HC-020K	93
4.3.6 MÒDUL HC-SR501	93
4.4 ACTUADORS DE PETITA SENYAL	94
4.5 ACTUADORS DE POTÈNCIA	94
4.5.1 CONTROL DE TRACCIÓ	95
4.5.2 CONTROL RETRÀCTIL	96
4.5.3 CONTROL ELEVACIÓ	99
4.5.4 CONTROL DE POSICIÓ	99
4.5.5 ALIMENTACIÓ	103
5. PROGRAMACIÓ DEL PROTOTIP DE VEHICLE AUTÒNOM	105
5.1 DETECCIÓ D'OBJECTES I/O PERSONES	106
5.2 SEGUIDOR DE LÍNIA	107
5.3 ACTUADORS	108
5.3.1 AVISOS LLUM I SO	109
5.3.2 SERVOMOTOR	109
5.3.3 MOTOR PAP	109
5.3.4 MOTORS DE TRACCIÓ	110
5.3.5 ACTUADOR LINEAL	111
6. RESULTATS	112
CONCLUSIONS	115
BIBLIOGRAFIA	117

SUMARI DE FIGURES

FIGURA 1. PMR DAVANT LA PORTA D'ACCÉS DEL 470 QUE S'INDICA COM A ACCESSIBLE [1].	10
FIGURA 2. ASSISTÈNCIES DEL SERVEI ATENDU PER ELS DIFERENTS TIPUS DE DISCAPACITAT O MOBILITAT REDUÏDA.	14
FIGURA 3. UNITATS DE NOVA COMPRA EN XIFRES PER A LA RENOVACIÓ DE LA FLOTA [10].	15
FIGURA 4. RENDERITZAT DE L'ASPECTE DEL KISS D'STADLER [14][15].	16
FIGURA 5. RENDERITZAT DE L'ASPECTE DEL X'TRAPOLIS DE ALSTOM [17].	17
FIGURA 6. NOMBRE I ANTIGUITAT DELS COMBOIS DE RODALIES DE CATALUNYA [3].	18
FIGURA 7. ACCESSIBILITAT EN EL SERVEI DE RODALIA DE BARCELONA.	21
FIGURA 8. ACCESSIBILITAT EN EL SERVEI DE RODALIA DE GIRONA –DRETA– I DE TARRAGONA –ESQUERRA.	22
FIGURA 9. ACCESSIBILITAT EN ELS SERVEIS REGIONALS.	24
FIGURA 10. ACCESSIBILITAT GLOBAL SERVEIS REGIONALS –ESQUERRA– DE RODALIA –SUPERIOR– I ABSOLUT –DRETA.	25
FIGURA 11. AVERIA DE LA PORTA PMR A LA DRETA EN UN COMBOI 465 I A L'ESQUERRA EN UN 447.	27
FIGURA 12. EXTERIOR DE L'ACCÉS AL VAGÓ PER PMR DEL 447.	28
FIGURA 13. MIDES DE LA SÈRIE 447 DE L'AMPLE, ALÇADA –SUPERIOR– I PROFUNDITAT –INFERIOR– D'ACCÉS.	29
FIGURA 14. ESPAI D'APARCAMENT DEL 447 DEL VAGÓ PMR.	30
FIGURA 15. ESPAI D'APARCAMENT DEL 447 SENSE VAGO PMR [28] [29] [30].	30
FIGURA 16. PLATAFORMA D'ACCÉS A LA SÈRIE 447 [31].	31
FIGURA 17. EXTERIOR DE L'ACCÉS AL VAGÓ PMR DE LA SÈRIE 448.	31
FIGURA 18. EXTERIOR –DRETA– I INTERIOR –ESQUERRA [32]– DE L'ACCÉS AL COMBOI 448.	32
FIGURA 19. EXTERIOR DE L'ACCÉS AL VAGÓ PMR DE LA SÈRIE 448 I DETALL DE L'INTERIOR DE MD.	33
FIGURA 20. INTERIOR DEL VAGÓ PMR DE LA SÈRIE 448 DE MD.	33
FIGURA 21. EXTERIOR DEL VAGÓ PMR DE LA SÈRIE 449 [34] I DETALL DE LA PORTA D'ACCÉS.	34
FIGURA 22. ACCÉS PMR DE LA SÈRIE 449 QUE NO S'AJUSTA A L'ANDANA [35].	34
FIGURA 23. INTERIOR DEL VAGÓ PMR DE LA SÈRIE 449 [36][37] I ESQUEMA [11].	35
FIGURA 24. ESPAI D'APARCAMENT EN LA SÈRIE 449.	35
FIGURA 25. MIDES DE LA SÈRIE 449 DE L'AMPLE, ALÇADA –SUPERIOR– I PROFUNDITAT –INFERIOR– D'ACCÉS.	36
FIGURA 26. ESPAI D'APARCAMENT EN LA SÈRIE 449.	36
FIGURA 27. EXTERIOR DEL VAGÓ PMR DE LA SÈRIE 450/451 [33].	37
FIGURA 28. VAGONS DE LA SÈRIE 450/451 AMB MESURES EXPRESSADES EN CM.	38
FIGURA 29. MIDES DEL COMBOI ESCOLLIT DE LA SÈRIE 450/451 DE L'INTERIOR I DE L'AMPLE –LES DUES SUPERIORS–, L'ALÇADA I LA PROFUNDITAT –LES DUES INFERIORS– LES DUES INFERIORS– D'ACCÉS.	39
FIGURA 30. ESPAI D'APARCAMENT EN LA SÈRIE 450/451.	39
FIGURA 31. EXTERIOR DEL VAGÓ PMR DE LA SÈRIE 465.	40
FIGURA 32. MIDES EN CM DEL COMBOI PMR DE LA SÈRIE 465 DE L'AMPLE, ALÇADA –SUPERIOR– I PROFUNDITAT –INFERIOR– D'ACCÉS.	41
FIGURA 33. MIDES DEL COMBOI PMR DE LA SÈRIE CIVIA DE L'AMPLE, ALÇADA –SUPERIOR– I PROFUNDITAT –INFERIOR– D'ACCÉS.	41
FIGURA 34. ESPAI D'APARCAMENT EN LA SÈRIE CIVIA.	42
FIGURA 35. EXTERIOR I INTERIOR DEL 470 AMB INDICACIÓ DE PORTA PMR.	43
FIGURA 36. DIFERENTS ESCENARIS DEL VAGO DE CAP O CUA DEL 470.	43
FIGURA 37. MIDES DEL COMBOI 470 DE L'AMPLE, ALÇADA –SUPERIOR– I PROFUNDITAT –INFERIOR– D'ACCÉS.	44
FIGURA 38. INTERIOR DEL 470 AMB INDICACIÓ PMR.	44
FIGURA 39. ESQUEMA D'ACCÉS I ESTRUCTURA DEL LA SOLUCIÓ PROPOSADA.	46
FIGURA 40. MIDES EN DM DEL REMUNTADOR SEGONS L'ANGLE D'INCLINACIÓ.	50
FIGURA 41. NIVELLS D'INTENSITAT SONORA EQUIVALENTS DE LES FONTS SONORES [61].	51
FIGURA 42. REGULACIÓ D'INTENSITAT ACÚSTICA [62].	52
FIGURA 43. POSICIÓ I ASPECTE DELS LLUMS DE LA PLATAFORMA ELEVADORA [65].	52
FIGURA 44. REPRESENTACIÓ DELS 3 CASOS DE DISTRIBUCIÓ DE FORCES.	54
FIGURA 45. REPRESENTACIÓ DELS 4 CASOS DIFERENCIATS DE TREBALL DEL MOTOR DE TRACCIÓ.	55

FIGURA 46. A LA DRETA EL PERFIL DE TOT EL ROBOT I A L'ESQUERRA LES DIMENSIONS DE UNA PMR [41].	57
FIGURA 47. COEFICIENT AERODINÀMIC ESCOLLIT [67].	57
FIGURA 48. MOTORREDUCTOR I CONVERTIDOR DE FREQUÈNCIA ESCOLLITS [68].	60
FIGURA 49. COTES DE LA PLATAFORMA ELEVADORA [69].	61
FIGURA 50. ASPECTE, CARACTERÍSTIQUES I CORBA PARELL-VELOCITAT DEL MOTOR PAP [70].	64
FIGURA 51. ASPECTE DE LES E/S DEL CONTROLADOR DEL MOTOR PAP [71].	64
FIGURA 52. ALÇAT, PERFIL ESQUERRA I DRET DE LA CAIXA REDUCTORA.	65
FIGURA 53. VISTA ORTOGONAL DE LES DIFERENTS ETAPES REDUCTORES.	66
FIGURA 54. ASPECTE DEL MOTOR PINYÓ CREMALLERA [72].	67
FIGURA 55. CORBA FP-ANGLE AMB PUNT CRÍTIC ASSENYALAT.	68
FIGURA 56. ASPECTE I PARTS DEL CONJUNT ACTUADOR LINEAL AMB EL MOTOR [74].	70
FIGURA 57. REPRESENTACIÓ GEOMÈTRICA DE L'ACTUADOR LINEAL EN CM.	70
FIGURA 58. XARXA D'ALIMENTACIÓ DEL TREN CIVIA [75].	72
FIGURA 59. REPRESENTACIÓ DEL CAS RESTRICTIU D'AUTONOMIA.	73
FIGURA 60. COMPONENTS DEL MOOVAIR [76].	75
FIGURA 61. ESQUEMA D'ALIMENTACIÓ DELS MOTORS.	75
FIGURA 62. ASPECTE DE LA BATERIA DE FOSFAT DE LITI ESCOLLIDA [77].	76
FIGURA 63. ASPECTE DE LA COMPOSICIÓ DE LA BATERIA.	77
FIGURA 63. CONDICIÓ DE TREBALL EN LA CORBA Z DEL A9F92220.	78
FIGURA 64. DIFERÈNCIES DE FUNCIONAMENT SEGONS EL TIPUS DE RODA.	82
FIGURA 65. DIFERÈNCIES DE FUNCIONAMENT SEGONS EL TIPUS DE RODA [79].	84
FIGURA 66. ESQUEMA DE CONNEXIONS.	86
FIGURA 67. ESQUEMA DE PINS DEL MÒDUL ESP32-DEVKITC V2 [80].	88
FIGURA 68. DIAGRAMA DE BLOCS FUNCIONALS DE LA ESP32 WROOM 32 [81].	88
FIGURA 69. REPRESENTACIÓ DEL FUNCIONAMENT DEL MÒDUL HC-SR04.	89
FIGURA 70. REPRESENTACIÓ DEL FUNCIONAMENT I ASPECTE DE L'ACCELERÒMETRE [82].	90
FIGURA 71. EXEMPLE DE DESCOMPOSICIÓ VECTORIAL I ANGULAR.	91
FIGURA 72. LLUM CAPTADA PER EL FOTOTRANSTISOR SEGONS EL COLOR I LA SUPERFÍCIE.	92
FIGURA 73. ESQUEMA DE FUNCIONAMENT DEL MÒDUL HC-020K.	93
FIGURA 74. ESQUEMA D'ASSIGNACIÓ DE PINS DEL MÒDUL HC-SR0501.	93
FIGURA 75. CORBES CARACTERÍSTIQUES DEL MOTOR.	95
FIGURA 76. ASPECTE INTERN DE LA CONNEXIÓ LEGO EN EL CABLE D'ALIMENTACIÓ.	95
FIGURA 77. ASPECTE DE LA PLACA CONTROLADORA L298N.	96
FIGURA 78. MODEL DE CREMALLERA –SUPERIOR [89]– I CREMALLERA MODIFICADA –INFERIOR– PER AL PROTOTIP.	97
FIGURA 79. CORBA DE FUNCIONAMENT PER MODULACIÓ DE POLSOS [90].	97
FIGURA 80. EINA I PROCÉS DE MUNTATGE DE L'ENGRANATGE DEL SERVOMOTOR.	97
FIGURA 81. EFECTE DEL PWM SEGONS SI EL SERVO ES DE ROTACIÓ CONTINUA O DE 180° [91].	98
FIGURA 82. ASPECTE DE LA PLACA ULN2003A.	99
FIGURA 83. ASPECTE I MIDA DE L'ACTUADOR LINEAL I LA VIGA TECHNIC DE 15 FORATS.	101
FIGURA 84. DIBUIX DE LA GEOMETRIA DEL TRIANGLE.	101
FIGURA 85. DIBUIX DE LA GEOMETRIA DE L'ANGLE DE GIR DE LA PLATAFORMA.	102
FIGURA 86. ASPECTE DEL CONVERTIDOR REDUCTOR XH-M404.	103
FIGURA 87. ASPECTE DE LA BATERIA DEL PROTOTIP.	104
FIGURA 88. FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENT DEL RTPR.	106
FIGURA 89. SEQÜÈNCIA DE FUNCIONAMENT DEL MÒDUL HC-SR04 [96].	107
FIGURA 90. SEQÜÈNCIA DE GIR.	108
FIGURA 92. CORBA DE VELOCITAT DEL MOTOR PAP.	110
FIGURA 93. ASPECTE GENERAL DEL PROTOTIP DEL RTPR.	112
FIGURA 94. ASPECTE DE LA PLATAFORMA D'INCLINACIÓ DEL PROTOTIP DEL RTPR.	112
FIGURA 95. ASPECTE DE LA PLATAFORMA RETRÀCTIL DEL PROTOTIP DEL RTPR.	113
FIGURA 96. ASPECTE DE LES DUES POSICIONS DEL MECANISME D'ELEVACIÓ DEL PROTOTIP DEL RTPR.	113

SUMARI DE TAULES

TAULA 1. SÈRIE I ADAPTACIÓ PMR DELS TRENS SEGONS LA LÍNIA.	19
TAULA 2. VELOCITATS DE TREBALL.	48
TAULA 3. COMPARATIVA I CARACTERÍSTIQUES DELS REMUNTADORS D'ESCALES.	49
TAULA 4. CARACTERÍSTIQUES MECÀNIQUES DE LES 3 DISTRIBUCIONS.	54
TAULA 5. CARACTERÍSTIQUES MECÀNIQUES DE LES 4 CONDICIONS DE TREBALL.	59
TAULA 6. CARACTERÍSTIQUES DEL MOTOR	60
TAULA 7. COMPARATIVA MOTORS D'ELEVACIÓ.	63
TAULA 8. CARACTERÍSTIQUES DEL MOTOR.	64
TAULA 9. COMPARATIVA DE LA COMPOSICIÓ DE LES ETAPES DE REDUCCIÓ.	65
TAULA 10. CARACTERÍSTIQUES DE LA CAIXA REDUCTORA EXPRESSADA EN CM.	66
TAULA 11. CARACTERÍSTIQUES DEL MOTOR [72].	67
TAULA 12. CARACTERÍSTIQUES CALCULADES DEL MOTOR PINYÓ CREMALLERA.	68
TAULA 13. VARIACIÓ DEL FP [73].	68
TAULA 14. CARACTERÍSTIQUES DE L'ACTUADOR LINEAL [74].	70
TAULA 15. RECULL DE CARACTERÍSTIQUES DELS ACTUADOR DE POTÈNCIA.	71
TAULA 16. SEQÜÈNCIA DE DISTÀNCIES DE LA PLATAFORMA ELEVADORA EN MM.	73
TAULA 17. BALANÇ ENERGÈTIC SERVEI.	73
TAULA 18. BALANÇ ENERGÈTIC MANTENIMENT.	74
TAULA 19. COMPARATIVA DE BATERIES.	76
TAULA 20. RECULL DE LES CARACTERÍSTIQUES DELS ELEMENTS DE PROTECCIÓ.	77
TAULA 20. RECULL DELS ELEMENTS DE PROTECCIÓ ESCOLLITS.	79
TAULA 20. PRESSUPOST DEL RTPR.	80
TAULA 21. COMPARATIVA ACCÉS AL TREN.	83
TAULA 22. COMPARATIVA ESTRUCTURES.	85
TAULA 23. RECULL DE MÒDULS UTILITZATS.	87
TAULA 24. RECULL D'ACTUADORS DE PETITA SENYAL UTILITZATS.	94
TAULA 25. RECULL DE TIMOTORS ULITZATS.	94
TAULA 26. CARACTERÍSTIQUES DEL MOTOR.	95
TAULA 27. CARACTERÍSTIQUES DEL SERVOMOTOR.	97
TAULA 28. RELACIÓ DE VELOCITAT-TEMPS DEL SERVOMOTOR.	98
TAULA 29. CÀRREGA SUPORTADA SEGONS MOTOR I TRANSMISSIÓ LINEAL [92][93].	100
TAULA 30. CARACTERÍSTIQUES DEL MOTOR.	110

SUMARI D'EQUACIONS

EQUACIÓ 1.	54
EQUACIÓ 2.	54
EQUACIÓ 3.	55
EQUACIÓ 4.	56
EQUACIÓ 5.	56
EQUACIÓ 6.	58
EQUACIÓ 7.	58
EQUACIÓ 8.	58
EQUACIÓ 9.	60
EQUACIÓ 10.	62
EQUACIÓ 11.	62
EQUACIÓ 12.	62
EQUACIÓ 13.	64
EQUACIÓ 14.	69
EQUACIÓ 15.	69
EQUACIÓ 16.	89
EQUACIÓ 17.	90
EQUACIÓ 18.	91
EQUACIÓ 19.	91
EQUACIÓ 20.	100
EQUACIÓ 21.	100
EQUACIÓ 22.	102
EQUACIÓ 23.	102

GLOSSARI DE SIGNES, SÍMBOLS, ABREVIATURES, ACRÒNIMS I TERMES

Sigles	Significat	Sigles	Significat
AENOR	Associació Espanyola de Normalització i Certificació	NT	Normalment Tancat
ADC	Analogic Digital Converter	NEMA	National Electronic Manufacturers Association
ADIF	Administrador de Infraestructures Ferroviàries	NFC	Near Field Communication
AGV	Automatic Guided Vehicle	NPN	Negatiu-Positiu-Negatiu
BLE	Bluetooth Low Energy	NTP	Notes Tècniques de Prevenció
BOE	Butlletí Oficial de l'Estat	PaP	Pas a Pas
CAF	Construccions y Auxiliar de Ferrocarrils	PEAD	Polietilè d'Alta Densitat
CERMI	Comitè Espanyol de Representants de Persones amb Discapacitat	PID	Proporcional Integrador Derivador
DAC	Digital Analogic Converter	PMR	Persones amb Mobilitat Reduïda
DMP	Digital Motion Processor	PIR	Passive Infrared Sensor
DOGC	Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya	PPR	Polsos Per Revolució
EN	European Norm	PPS	Polsos Per Segon
FGC	Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya	PWM	Pulse Width Modulation
FP	Factor de Potència	RENFE	Red Nacional de Ferrocarriles Españoles
GDL	Graus De Llibertat	REBT	Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió
GPIO	General Purpose Input/Output	RD	Reial Decret
IMU	Inertial Measurment Units	RTPR	Robot Transportador de Persones amb Rodes
I2C/S	Inter-Integrated Circuit/ Sound	Rpm	revolucions per minut
IR	Infraroig	ROM	Read Only Memory
ISO	International Organization Standardization	SRAM	Static Random Access Memory
LED	Light Emitting Diode	SoC	System on a Chip
MD	Mitja Distància	SPI	Serial Peripheral Interface
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems	UIC	Union Internationale des Chemins de Fer
Mitma	Ministeri de Transports, Mobilitat i Agenda Urbana	UNE	Una Norma Espanyola
MTM	Maquinista Terrestre y Marítima	UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

INTRODUCCIÓ

Aquest projecte es desenvolupa amb l'objectiu d'afavorir el compliment d'accessibilitat del transport ferroviari. La realitat actual no reflecteix l'aplicació que des del 24 de novembre del 2020, per llei, el transport ferroviari ha de ser accessible i el seu incompliment hauria de comportar penalitzacions que no s'estan duent a terme.

Hi ha un gran gruix de persones que pateixen les conseqüències d'aquest incompliment, tanmateix, mentre per a un grup resulta en una dificultat, com podria ser les persones grans o que porten cotxet, per a un altre grup representa un impediment, com per a les PMR que necessiten un ús permanent de la cadira de rodes –mecànica o elèctrica– i que per tant seran les usuàries prioritàries del nostre projecte.

Actualment existeixen cadires elèctriques, eines complementàries per a les cadires mecàniques i sistemes de mobilitat més complexos, com podrien ser els exoesquelets, que permeten a les PMR superar les barreres arquitectòniques del dia a dia. Aquests sistemes, però, no tenen un abast transversal sinó que es tracta de productes exclusius i tampoc tots aquests sistemes permetrien l'accés als trens.



Figura 1. PMR davant la porta d'accés del 470 que s'indica com a accessible [1].

El primer criteri per definir l'abast d'aquest treball, consisteix en una limitació territorial, ja que la xarxa ferroviària és molt extensa i per motius de proximitat, coneixement i convivència, s'ha limitat en l'àmbit de la mateixa comunitat autònoma que és Catalunya.

Seguidament s'ha definit un segon criteri per definir l'origen des del qual es parteix que necessàriament ha de ser el que es trobi en unes condicions més precàries i que abasta un major rang de persones usuàries –i per tant, també de potencials PMR– que en aquest cas, Catalunya disposa de tres serveis ferroviaris diferenciats, els combois del Metro de Barcelona, els de FGC i els operats per RENFE.

El servei escollit són els combois operats per RENFE, és a dir, els de Rodalies de Catalunya, ja que compleixen els dos requisits plantejats, els sistemes actuals d'accessibilitat són més precaris que en els altres serveis ferroviaris i ofereix un servei molt més extens que el Metro de Barcelona i també significativament més extens que els de FGC.

Per aquest motiu, el disseny d'aquest treball s'ha fet des d'una mirada transversal amb la finalitat de no generar una nova discriminació –d'una índole diferent– en la solució proposada per a resoldre l'incompliment d'accessibilitat de RENFE Rodalies de Catalunya.

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
Laia Sánchez Tolo

Els sistemes actuals que permeten l'accés als trens a les PMR consten de dispositius electromecànics des de l'interior del tren o bé de dispositius mecànics que s'adeqüen al tren des de l'andana. En tots dos casos es necessita una persona externa qualificada per permetre l'accés a la PMR tant a l'estació d'origen com a l'estació de destí i per tant, en cap dels sistemes la PMR pot accedir de forma autònoma al tren. La inclusió hauria de ser una prioritat social i política i en aquest projecte es fa una proposta per afavorir-la.

1. EL SERVEI DE RENFE A CATALUNYA I LA NORMATIVA VIGENT D'ACCESSIBILITAT

El RD 1544/2007 del 23 de novembre [2], regula i determina les condicions bàsiques d'accessibilitat i no-discriminació per a l'accés i la utilització de les formes de transport –ferroviari entre elles– per a persones amb discapacitat¹.

Internament, fa referència i es contextualitza en la Llei 51/2003, de 2 de desembre, sobre igualtat d'oportunitats, no-discriminació i accessibilitat universal de les persones amb discapacitat, va establir el marc de referència per avançar progressivament en l'adopció i implantació de les mesures per garantir i fer efectiu el dret a la igualtat d'oportunitats de les persones amb discapacitat conforme als articles 9.2, 10, 14 i 49 de la Constitució on l'article 10 estableix que el Govern «regularà unes condicions bàsiques d'accessibilitat i no-discriminació que garanteixin uns mateixos nivells d'igualtat d'oportunitats a tots els ciutadans amb discapacitat», i l'autoritza per dictar, les disposicions necessàries per al desplegament i l'execució de la Llei i es destaca l'activa participació del CERMI.

Per atendre els costos derivats de l'aplicació d'aquest RD a les infraestructures i mitjans de transport de competència estatal, es preveu l'adopció de les mesures pressupostàries necessàries perquè els ministeris responsables de la seva aplicació puguin afrontar-los sense detriment de l'execució dels plans que tinguin establerts.

L'incompliment del qual estableix aquest RD és sancionable de conformitat amb el que disposa la legislació d'infraccions i sancions en matèria d'accessibilitat universal i no-discriminació.

1.1 ANTECEDENTS EN EL SERVEI DE RENFE

L'accessibilitat en els combois de RENFE és un tema pendent que arrossega des de fa anys, on sovint les millores i avenços que proclamava només es complien parcialment tot mostrant una aparença d'accessibilitat superior a la real.

També volem puntualitzar que, tot i que queda fora del nostre estudi, actualment el 30.3 % de les estacions de la rodalia de Barcelona no són accessibles per a PMR [3].

A tall d'exemple podem observar l'accessibilitat respecte al comboi 447 o la previsió global d'accessibilitat.

Ja en el 2009 podem observar una publicació que afirmava que en el 2014 els serveis ferroviaris serien accessibles per a tothom. Parla d'una previsió d'inversió de 784 milions d'euros per millorar la mobilitat en les estacions i continuar les adaptacions dels trens. És interessant com en aquest article es fa referència al RD 1544/2007 del 23 de novembre, on s'estableix un període de 13 anys per assolir progressivament una accessibilitat completa, per anunciar que s'assolirà l'objectiu amb antelació. Podem llegir com, pel que fa a la flota de trens la previsió es que al 2012 estigui totalment equipada i preparada per a les PMR.

En aquest mateix article també podem veure com es parla del servei Atendo, creada dos anys abans de l'article –al 2007– on ja especifica que els mitjans per facilitar l'accés al tren són mecànics. Tanmateix la dada que ens sorprèn es que se'ns informa

¹ Podeu veure més normativa reguladora al respecte en l'apartat C de la referència [4].

que, tot i que trobant-se en última posició, les assistències també són en les línies de *Cercanías* [4].

Posteriorment, al 2016 la Generalitat de Catalunya, publicava la notícia sobre la finalització de la remodelació de 18 trens de la sèrie 447 que presten servei a Regionals amb una inversió de 22.5 milions d'euros on se'ns informa que els combois remodelats disposen d'un accés i un lavabo accessible [5]. Tanmateix hi ha trens remodelats que no disposen de vagó accessible².

Finalment, el 4 de febrer de 2021, surt la notícia que RENFE ha finalitzat les tasques de remodelació per fer accessibles totes les unitats de la sèrie 447 que operen a Rodalies de Catalunya. Aquests treballs han suposat una inversió de 138 milions d'euros i suposen que pràcticament el 80% –més concretament el 78%– del parc sigui accessible on, per tal de minimitzar el temps de remodelació, els treballs de renovació s'han realitzat aprofitant les entrades a taller de les unitats en el moment que s'havien d'executar tasques de manteniment. D'aquesta manera, no ha afectat el servei habitual a Rodalies de Catalunya [6].

1.1.1 SERVEI D'ASSISTÈNCIA ATENDO

El servei d'assistència Atendo que ofereix RENFE és propietat ADIF³, que és qui el gestiona. Es tracta d'un servei gratuït d'atenció i assistència a persones amb discapacitat o amb mobilitat reduïda. Es tracta d'un servei especialitzat que pot orientar, informar i ajudar en l'accés i el trànsit per les estacions, així com en la pujada i baixada dels trens [7].

El primer inconvenient que podem observar és la necessitat d'avisar amb antelació de l'ús d'aquest servei, que pot arribar a les 24 h. En els casos on el servei és permanent és de 30 minuts, on correspon a l'antelació mínima amb què la PMR ha d'estar abans de la sortida del seu tren.

El segon, és respecte a l'abast d'aquest servei, que s'acaba una vegada la PMR –o persona amb altres necessitats– ocupa la seva plaça. Durant tot el trajecte del tren, Atendo no ofereix cap servei i no és fins que s'arriba a l'estació de destí –es comunica de l'estació d'origen a l'estació de destinació– on el personal d'Atendo –d'aquesta estació– presta de nou el seu servei per al desembarcament i sortida de l'andana, on, en l'accés i la sortida de l'estació respectiva tampoc assisteix el servei.

Tanmateix, Atendo no presta servei al servei de rodalia i només està disponible en els serveis de mitja i llarga distància i –tot i que no s'anuncia– entre les estacions compartides, amb els serveis regionals. Això implica que per al trajecte entre dues estacions que compten amb aquest servei, com podria ser Barcelona Sants i Girona, pots disposar o no d'aquest servei segons quina línia agafis, com podria ser l'R11 o l'RG1.

² Si pareu atenció, es pot observar en el següent vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=01sQAsbVyKw> entre el temps 0:56 i 1:05. També s'ha comprovat personalment en el cas concret en el tren 15622; a la línia R12 el 20/01/2022, que es el que surt a les 8.55 h de Lleida-Pirineus, en aquest darrer també confirma que posteriorment al febrer del 2021 hi ha 447 que no són accessibles.

³ Per a més informació consulteu els dos pamflets informatius que s'han fet: <https://plenainclusionmadrid.org/wp-content/uploads/2020/07/Guia-de-lectura-f%C3%A1cil.pdf> i <http://www.andade.es/images/documentos/atendo.pdf>.

A continuació –Figura 2– podem observar la distribució dels serveis realitzats durant el període del 2013 al 2019 [8] on tot i que el nombre total supera els 4.5 milions [9] pel que fa a les PMR que ocupin plaça H –és a dir, que viatgen amb la seva pròpia cadira de rodes en tot moment– no arriba ni al 5%.

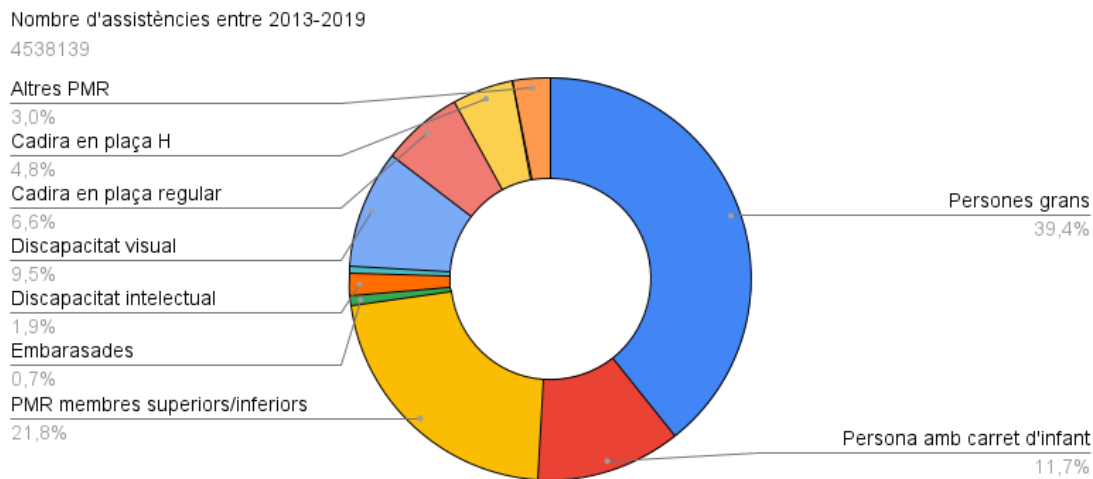


Figura 2. Assistències del Servei Atendo per els diferents tipus de discapacitat o mobilitat reduïda.

Podem concloure que en tractar-se d'un servei sota demanda ni ofereix la immediatesa en el seu servei ni afavoreix l'autonomia –que resulti en inclusió– de les PMR, sinó que accentua les seves limitacions per dissimular que en realitat són les de l'accessibilitat d'ADIF i RENFE. Per aquest motiu ni ofereix una capacitació ni un servei assistencial complet.

Tanmateix, aquest servei no és ni molt menys negligible i durant el transcurs que porta en actiu ha estat molt ben valorat. Per aquest motiu considerem que el servei seria més coherent i complet si prioritza una assistència completa a aquelles persones que ja no disposen d'una autonomia plena –on podem observar que més d'un terç de les assistències han estat només a la gent gran– tot incorporant un servei des de l'accés a l'estació –que podria fer xarxa amb serveis de transport accessibles de la zona per oferir un servei porta a porta– així com amb l'acompanyament a bord⁴.

Per a les persones que es desplacen de forma autònoma, el que necessiten és una accessibilitat arquitectònica real, que compleix la normativa vigent, de les estacions i combois.

El servei Atendo, doncs, fins i tot assolida l'accessibilitat arquitectònica, segueix sent necessari per assolir –i vendre– una accessibilitat universal.

1.1.2 PLANS D'ACCIONS

Els plans d'accions que resten vigents són el *Plan de Accesibilidad Universal* i el *Pla de Rodalies de Catalunya*, del que podem consultar tant la documentació com la presentació d'aquesta.

Les propostes d'accessibilitat que ja s'hagin implementat, es comentaran en el proper apartat en el context concret de cada comboi afectat on podrem veure els seus

⁴ A tall de paral·lelisme, el servei final seria com l'assistència que ofereixen les aerolínies actualment per a menors de 16 anys no acompanyats.

efectes. Per tant, en aquest apartat comentarem les línies d'acció futures i les possibles problemàtiques que hi puguem observar.

El *Pla de Rodalies de Catalunya* tot i que té l'estratègia de mobilitat del Mitma com a referent, on el primer eix de l'estratègia consisteix en *Mobilitat per a tots*, contempla un objectiu general que es divideix en quatre d'específics on en cap d'ells s'enfoca directament cap a l'accessibilitat.

Com a conseqüència, el programa de millora i adquisició de material rodant de les actuacions immediates, és a dir, entre el 2020 i el 2025, compta amb una renovació del parc mòbil on cap de les unitats és accessible.



Figura 3. Unitats de nova compra en xifres per a la renovació de la flota [10].

Com podem observar –Figura 3– de les 56 noves unitats que es renovaran, sota la compra vinculada al contracte programa dels serveis de Rodalies entre la Generalitat de Catalunya i RENFE, suposa un increment de 45 unitats on esperem que les 11 unitats que deixin de circular corresponguin a les que no siguin accessibles per no reduir encara més l'accessibilitat actual.

També podem observar com l'accessibilitat del 447 encara es mostra en execució, per tant, és un indicador del fet que actualment encara no sigui 100% accessible.

El pressupost d'aquest programa –que inclou també una renovació en el parc mòbil de mitja distància així com reparacions a la flota entre altres- és de 1489,57 milions d'euros i correspon al segon pressupost més gran de les actuacions immediates.

El RD 1544/2007 especifica en el punt 4 del segon article que les condicions bàsiques establertes a l'annex I, relatives al material rodant, són d'aplicació obligada a tot el material de nova compra i al subapartat 2.1 d'aquest annex s'especifica que als trens hi ha d'haver una porta a cada costat que connecti una zona adaptada del mateix tren amb l'andana, comptant a més amb algun dispositiu que cobreixi la distància que, si s'escau, hi hagi entre cotxe i andana.

Per tant, la magnitud d'aquest pressupost, no només queda fora del finançament per al compliment del RD sinó que directament l'incompleix i resta impune de les sancions corresponents.

Aquest pla també compta amb actuacions a mitjà termini, és a dir, del 2026 al 2030, pel que fa al programa de millora i adquisició de material rodant, però en aquest cas no hi ha cap proposta concreta i en aquest cas, el pressupost ocupa la tercera posició.

En el *Plan de Accesibilidad Universal* s'afirmava en el primer punt, que en *Cercanías* s'està realitzant un extraordinari esforç inversor, tant en l'adquisició de trens nous –tots ells accessibles– com en l'adaptació de material rodant existent [11].

En el resultat de la implementació del pla, tampoc apareix l'accessibilitat en cap dels

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren Laia Sánchez Tolo

punts, tanmateix, però, s'espera en les xifres del pla que el 100% de les estacions seran accessibles mentre que la compra d'unitats elèctriques serà de 101 –per tant de 45 durant l'actuació de mitjà termini– on ja se'ns ha mostrat que en l'actuació de curt termini seran, en lloc de tots com s'afirmava, cap d'ells accessibles.

Paral·lelament, el 8 de març del 2021, es va publicar l'adjudicació a Alstom i Stadler el contracte per la compra de 211 trens de gran capacitat per a *Cercanías* [12]. En aquesta notícia, s'afirmava que tots seran totalment accessibles per a facilitar el viatge de PMR i que suposarà la renovació del 50% de la flota actual de *Cercanías* i Mitja Distància.

Finalment, el passat 15 de juliol RENFE i Stadler van firmar el contracte per la compra de 59 trens de gran capacitat per un import de 998 milions d'euros [13].

Es tracta del comboi KISS i consisteix en tren que combina planta única amb planta doble, amb la finalitat de proporcionar més places sense renunciar a l'accessibilitat, el 60% de les portes seran accessibles i corresponen a les de planta única, ja que l'alçada de les andanes no permet que la planta baixa del doble pis sigui l'accessible [14].



Figura 4. Renderitzat de l'aspecte del KISS d'Stadler [14][15].

Podem observar un primer inconvenient de l'accessibilitat absoluta quan internament hi ha escales per solucionar les diferències de nivell, per tant, la PMR no podria circular entre vagons, però no hi ha diferències de nivell entre les portes accessibles, ja que es troben totes en un mateix vagó i en aquest sentit, pot fer ús de totes les portes accessibles.

El segon inconvenient que podem observar en aquesta nova unitat és que no incorpora cap sistema d'adaptació a l'altura de l'andana i la seva accessibilitat queda hipotecada a la reforma completa de totes les estacions a l'alçada normalitzada de 680 mm.

Finalment, observem que com el tren Civia, a part de ser un tren modular, les portes accessibles disposen d'una rampa retràctil per ajustar a l'alçada i altura de l'andana normalitzada, però ni en la renderització és capaç d'ajustar correctament i ens fa

pensar que els problemes seran equivalents als dels Civia.

Posteriorment, el passat 26 de setembre RENFE i Alstom van firmar el contracte per la compra de 152 trens de gran capacitat per un import de 1447 milions d'euros [16]. Aquest cop, el disseny del tren X'Trapolis d'Alstom s'ha basat en els 7 principis d'accessibilitat universal [17].

Com en el KISS, les portes que seran accessibles corresponen a les de planta única i en aquest cas representen el 66% de les portes. Tanmateix, aquesta dada perd atractiu quan també se'ns informa que en cap punt del tren hi haurà rampes, per tant, les PMR segueixen sense poder desplaçar-se per l'interior del tren malgrat que s'augmenti un 20% el pas lliure on, com a resultat, en aquest sentit seria una facilitat i en aquest cas, les portes accessibles es distribueixen en vagons diferents i no es podria anar d'una porta a una altra [17].



Figura 5. Renderitzat de l'aspecte del X'Trapolis de Alstom [17].

El segon inconvenient, per la similitud amb la unitat KISS, és coincident. Finalment, a partir de la renderització de la unitat, veiem que tampoc s'observa cap rampa retràctil que ajusti el buit horitzontal entre l'andana i el tren. Aquest espai difícilment sigui nul, ja que les característiques de les mateixes estacions, com per exemple si fa corba, fan variar significativament aquest espai que en les actuals Civia, que sí que compten amb una rampa retràctil ja s'ha convertit en un problema a resoldre.

Tot i que a Rodalies de Catalunya ja no circulin les unitats 446, no és una realitat estandarditzada i la unitat X'Trapolis entrarà primerament per a la seva completa substitució.

Aquestes dues noves firmes, ens fa mantenir l'esperança en aquestes futures 45 unitats que resten per implementar, per molt que la seva accessibilitat resti lluny de la perfecció, a la vegada que ens preocupa que ambdós combois estan destinats a cobrir el servei de rodalia, quan els combois amb més antiguitat i menor accessibilitat es troben a la flota dels serveis regionals.

Tot i que l'objectiu del nostre projecte és oferir una solució temporal, és possible que aquesta temporalitat es perllongui més del qual desitjaríem a causa de la necessària sincronia d'accessibilitat entre ADIF i RENFE així com pel fet que en les noves firmes s'arrossegaran els problemes d'accessibilitat dels combois actuals.

2. ESTAT DELS COMBOIS DE RENFE RODALIES I REGIONAL

El parc de la Xarxa de Rodalies de Catalunya està constituït per 271 trens, que tenen una antiguitat mitjana de 20,2 anys, tot i que el 16,2 % del parc mòbil té una antiguitat igual o superior a 25 anys on en el cas de la sèrie 470 l'antiguitat mitjana és de 41 anys⁵ [3].

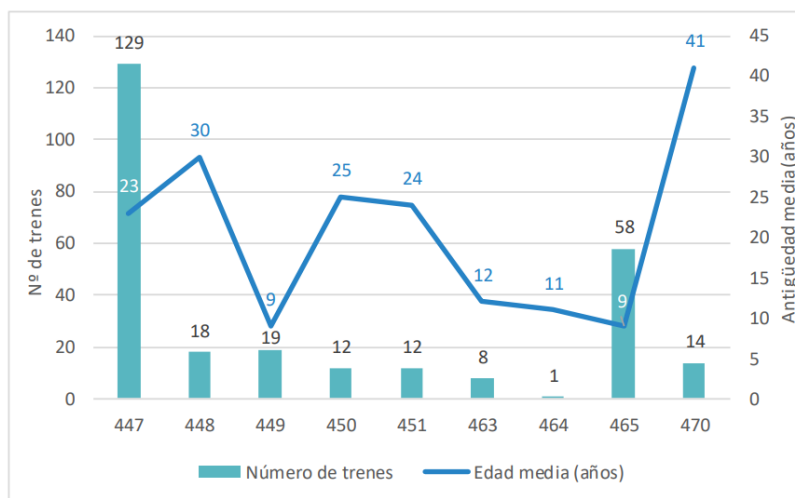



















Figura 6. Nombre i antiguitat dels combois de Rodalies de Catalunya [3].

A Catalunya els serveis de RENFE són els serveis regionals i el servei de rodalia; de Barcelona, de Girona i del Camp de Tarragona.

Podem observar la distribució quantitativa dels combois en l'Actualització del Pla de Rodalies de Catalunya en la Taula 123 [3] on la sèrie 447 representa el 48 % amb un total de 129 combois.

A continuació –Taula 1– recollim els serveis i les característiques d'accessibilitat de cada comboi.

⁵ Podem observar detalladament l'antiguitat de cada comboi en la Figura 71 en l'Actualització del Pla de Rodalies de Catalunya [3].

Aspecte ⁶	Sèrie	Servei de rodalia ⁷	Serveis regionals ⁸	Vagó PMR
	447			Opcional
	448			Inexistent
	449	-		Integrada
	450		-	Inexistent
	451			
	463		-	Integrada
	464			
	465			
	470			Inexistent

Taula 1. Sèrie i adaptació PMR dels trens segons la línia.

Com que no totes les sèries de trens presten serveis en les mateixes línies i l'accessibilitat és variada, el percentatge de trens accessibles en cada línia és diferent.

Actualment, a la majoria de les estacions, sigui per megafonia o per pantalla, es pot saber abans de pujar al tren si és accessible o no. La màxima antelació amb la qual es pot conèixer l'accessibilitat del tren és de 24 h i això implica que s'ha de consultar cada dia per poder saber si el tren en qüestió serà accessible.

Aquesta informació es publica a la web de rodalies que és una ramificació de la mateixa web de Generalitat de Catalunya⁹.

⁶ Per a les imatges en ordre descendent [18], [19], [20], [21], [22], [23].

⁷ El logotip de la línia RT1 [24], els logotips de la resta [25] i finalment la informació sobre els serveis [26][27].

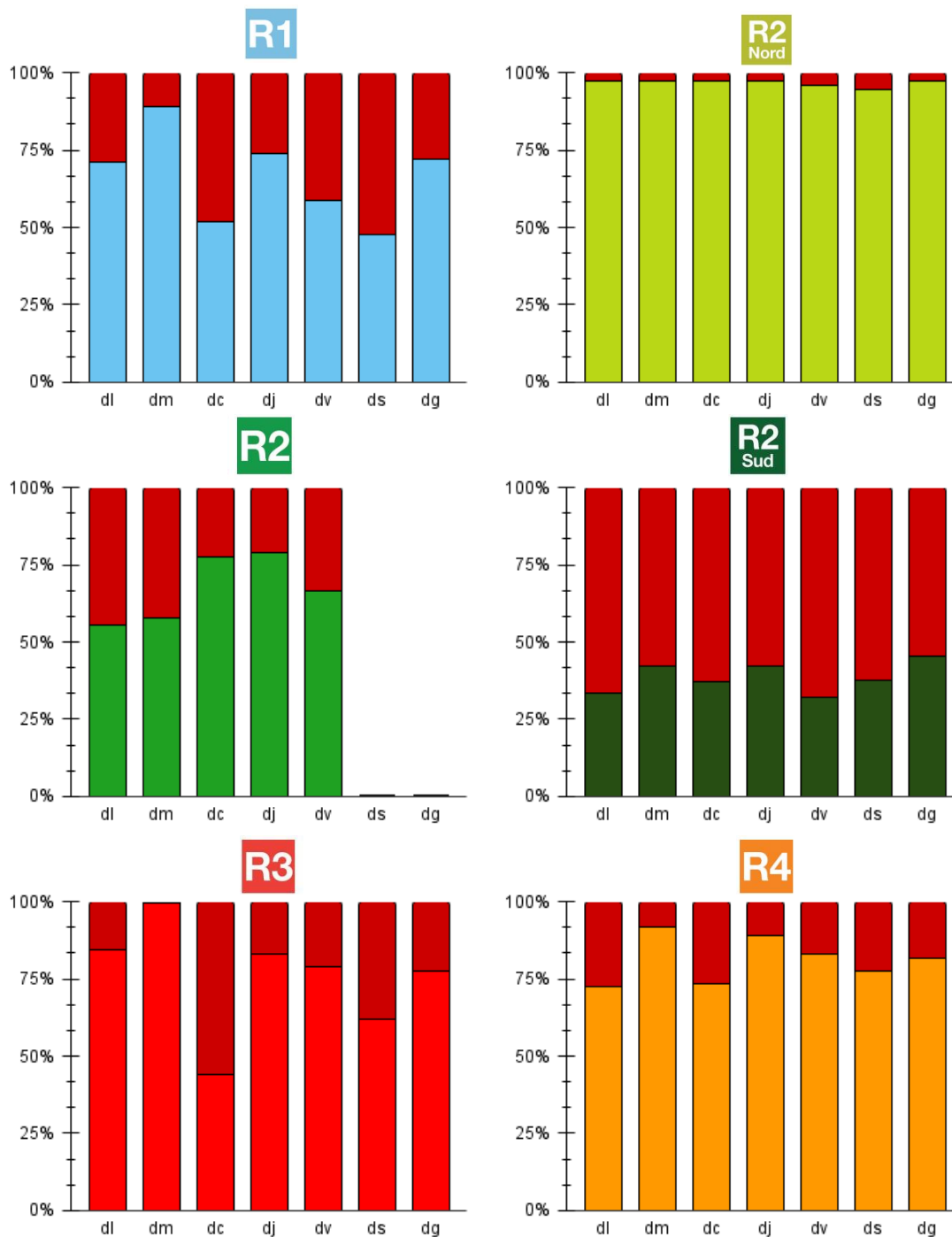
⁸ En alguns casos fan serveis de mitja distància.

⁹ Per a més informació de la pàgina web i del seu funcionament així com el procediment seguit

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren Laia Sánchez Tolo

Per aquest motiu hem analitzat durant una setmana la quantitat de trens accessibles que hi ha en cada línia del servei de rodalia i dels serveis regionals. A continuació podem observar en vermell el percentatge de trens que no són accessibles i en el color de cada línia els que sí que ho són.

En primer lloc, podem veure –*Figura 7*– l'estat d'accessibilitat de la rodalia de Barcelona, que és pràcticament la totalitat del servei de rodalia i la que més línies recull.



consulteu l'ANNEX B on també trobareu un enllaç al mapa de la xarxa de Rodalies de Catalunya.

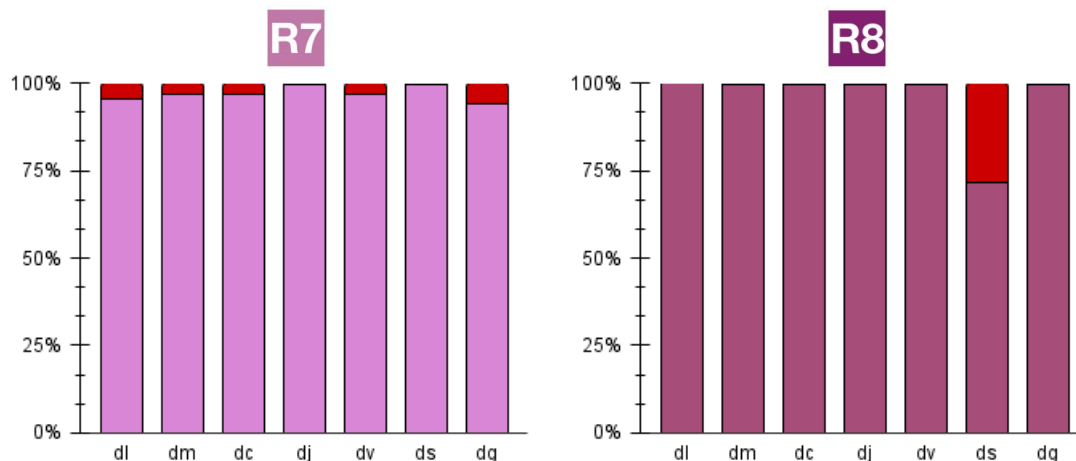


Figura 7. Accessibilitat en el servei de rodalia de Barcelona.

En el servei de rodalia de Barcelona podem observar com les línies que tenen major accessibilitat són l'R2 Nord, R7 –totes dues amb una proporció molt constant d'accessibilitat– i l'R8 –que malgrat la seva accessibilitat perfecta, es trenca significativament el dissabte– on la sèrie majoritàriament utilitzada és la Civia, que és l'única amb vagó PMR de fàbrica.

Tanmateix, el pes que té l'accessibilitat elevada d'aquestes línies no és equivalent, sent l'R2 Nord l'única línia de rodalia de llarg recorregut amb una accessibilitat elevada amb un servei de 84 km i 21 parades, mentre que l'R7 té tan sols 13.5 km i 7 parades i l'R8 que tot i tenir 40.2 km tan sols té –segurament pel fet de ser l'única línia descentralitzada– i 8 parades.

La resta de línies l'accessibilitat és més elevada i variada on mentre per un cantó l'R4, la segona línia de més llarga amb 143 km i amb gairebé 33 i 22 vegades més d'ocupació al dia que l'R8 i l'R7 respectivament, que poques vegades supera el 25% de trens no accessibles, l'R3 i l'R1 poden arribar a superar el 50% en aquest cas és la sèrie 447 és la més habitual on avui en dia encara resten combois sense vagó PMR.

Pel que fa a l'R2 i l'R2 Sud, on només a Vilanova i la Geltrú ja hi ha gairebé 4 vegades més de trànsit que en tota la línia R8 al dia, és més habitual l'ús de la sèrie 450/451 per donar resposta a aquesta densitat que dona com a resultat una clara negligència, ja que cap tren d'aquesta sèrie és ara com ara accessible, on mentre en l'R2 l'accessibilitat oscil·la entre el 50 i el 75% en l'R2 Sud s'inverteix, més del 50% no és accessible i en alguns casos gairebé arriba al 75%.

Si mirem el nombre de trens que no són accessibles quantitativament, en primer lloc, tenim a l'R2 Sud amb un total de 535 trens, seguida de l'R1, que és la línia on circulen més trens, amb 433. En última posició tenim l'R8, en què hi circulen gairebé 2.5 vegades trens que en l'R2, amb 9 trens que no són accessibles.

A continuació, a la *Figura 8*, podem observar el servei de rodalia de Camp de Tarragona i de Girona on ambdós compten actualment amb una sola línia en servei.

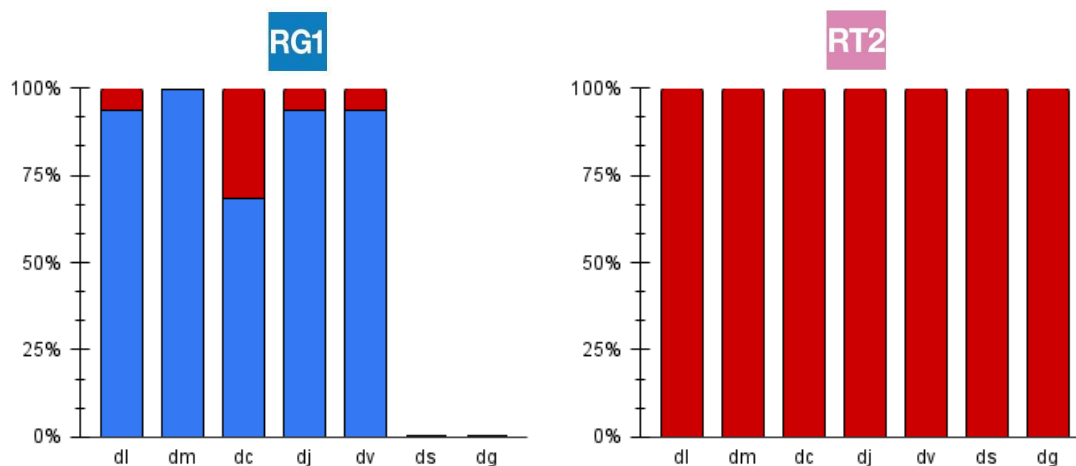


Figura 8. Accessibilitat en el servei de rodalia de Girona –dreta– i de Tarragona –esquerra.

Si analitzem els altres serveis de les altres rodalia, podem observar el contrast més gran, on tot i que la línia de rodalia de Camp de Tarragona RT2 s'assimila a l'R8 per característiques de longitud i parades, en aquest cas, les series més emprades són 448 i 470 –que són les sèries dels serveis regionals– que no són accessibles¹⁰ provoca una negligència absoluta en aquest servei.

En la *Taula 1*, hem pogut veure que el servei de rodalia de Camp de Tarragona tenia també la RT1, tanmateix, quan hem volgut consultar l'accessibilitat del servei hem trobat que des del 25 de març del 2020 aquesta línia ha deixat de prestar servei de forma indefinida¹¹ tot i que just el dia abans funcionava amb normalitat. Més endavant informaven dels trens alternatius per substituir el servei ofert.

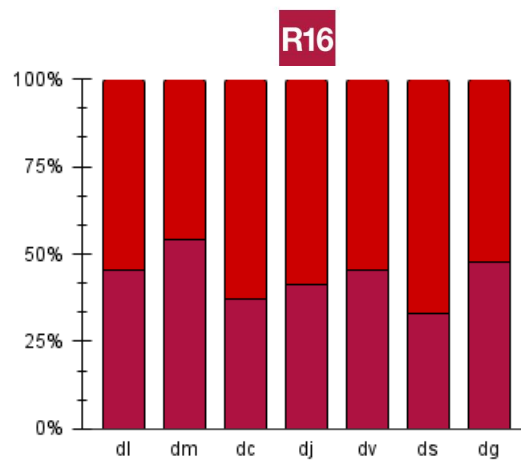
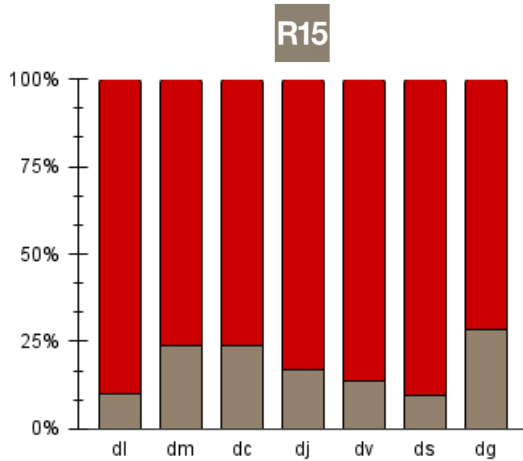
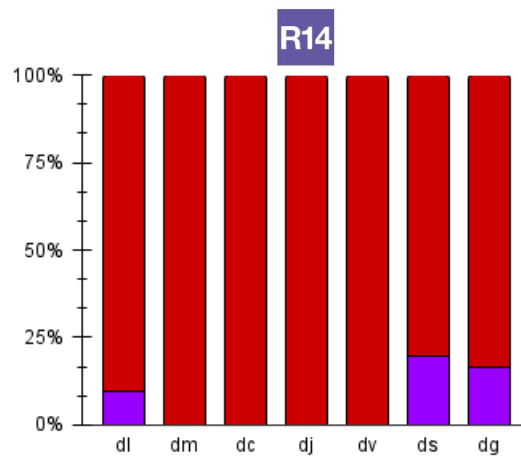
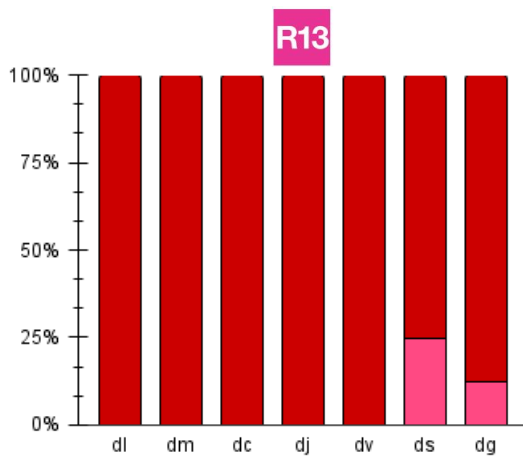
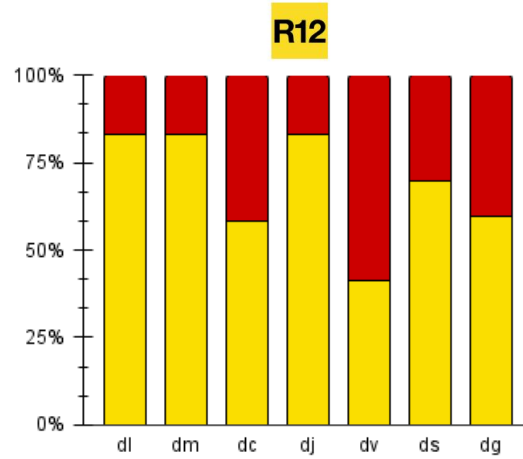
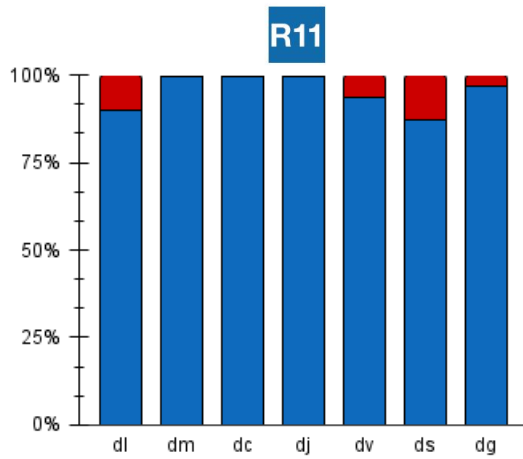
En canvi, la línia del servei de rodalia de Girona RG1 és la tercera línia més llarga amb 144.2 km amb un total de 30 estacions, però seguida de la RT2 és la línia de rodalia que presta menys servei, en part pel fet de no circular ni dissabtes ni festius on en total circulen 80 trens al llarg de tota una setmana. Tot i que aparentment sembla que podria ser una línia amb una bona accessibilitat podem observar com el percentatge de trens que no són accessibles també pot superar el 75%.

Un cop hem pogut veure l'estat d'accessibilitat del servei de rodalia –tant de Barcelona, del Camp de Tarragona com de Girona– a continuació –*Figura 9*– podem observar l'estat dels serveis regionals.

¹⁰ Més endavant parlarem de la peculiaritat de la sèrie 448.

¹¹ En l'*Annex A* podem veure el missatge exacte que es va publicar per les xarxes respecte al funcionament del servei d'aquesta línia.

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
 Laia Sánchez Tolo



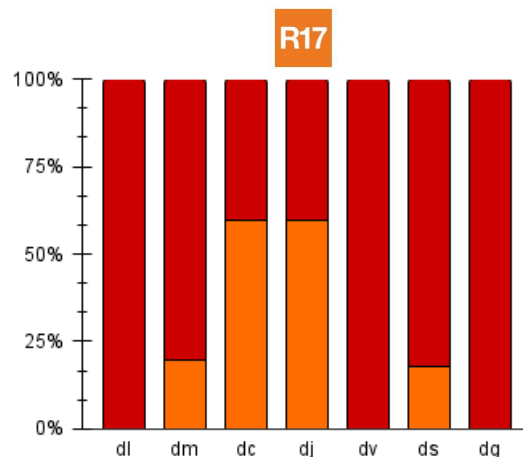


Figura 9. Accessibilitat en els serveis regionals.

Com ja hem pogut observar en el servei de rodalia, les característiques de les línies són heterogènies i això provoca que el veritable pes de cada línia no sigui equitatiu. En aquest cas, però a excepció de l'R17, com que es tracta de serveis regionals, el recorregut i el nombre de parades és més convergent.

Tanmateix, el nombre de trens que hi circula divideix les línies en dos grans grups; per una banda, les més que tenen més freqüència de pas, corresponents a les línies R11, R15 i R16 i per l'altra banda, les línies R12, R13, R14 i R17 –que podem observar que són totes les línies que van a Lleida i la nova línia de suport per anar a PortAventura– amb un servei de només entre 6 i 11 trens al dia.

En aquest servei, la realitat d'accessibilitat és una altra, ja que de les sèries destinades als serveis regionals, només la 449 és accessible, per tant, el seu ús en les línies és determinant. De nou, es repeteix la mateixa divisió, on les línies amb més freqüència, compten amb la sèrie 449 mentre que les línies de menys freqüència es fa servir la sèrie 447 –que no hauria d'estar destinada a fer serveis regionals– per completar el servei.

Això provoca que mentre l'R11, on la majoria de serveis els realitza la 449, els serveis que no són accessibles no supera el 20 %, l'R16 puntualment superar el 50% que són accessibles i l'R15, on el seu servei és molt inusual, tot just arriba –puntualment també– al 25 % de trens accessibles.

Aquesta relació d'accessibilitat no afecta la seva variació interna, és a dir, en totes tres línies el valor màxim i mínim d'accessibilitat no varia més d'un 21 %, on l'R15 no supera el 19 % i l'R11 el 13 %.

Per altra banda, podem observar com l'accessibilitat en l'R12 supera lleugerament el 80 % on, si observeu un paral·lelisme amb les línies R3 o R4 és perquè l'única sèrie que hi circula és la 447, no hi ha cap comboi destinat a fer serveis regionals que circuli per aquesta línia, l'R17, on el servei s'alterna entre la 447, la 448 i la 470 –on tot i ser la línia més nova hi circulen els combois més vells– arriba al 60 % d'accessibilitat i finalment, tot i que en l'R13 i l'R14 no consta¹² que hi circulin la 447, però des de la darrera renovació d'aquesta sèrie, sabem, experimentalment, que hi fa serveis puntuals, sent com a màxim de 2 –que siguin accessibles– al dia, però que ja poden arribar a representar el 25 i 20 % d'accessibilitat respectivament.

¹² Segons la informació de rodalia.gencat.cat.

En les línies R13, R14 i R17, on la sèrie 449 no circula i la sèrie 447 és ocasional o puntual, el resultat d'accessibilitat provoca, que com que ni la sèrie 448 ni la 470 són accessibles, com ja passava amb la RT2, tenim dies que cap dels serveis que es realitza és accessible o el que podria ser pitjor, que passa a l'R13 i l'R14, només hi ha accessibilitat en un tren i sentit, on hipotèticament permetria fer el viatge d'anada, però no de tornada.

En aquest cas, la relació d'accessibilitat té uns efectes més bruscos, ja que en tractar-se de serveis amb poca freqüència, qualsevol canvi resulta en una repercussió visible, per tant, el valor màxim i mínim en l'R17 varia fins a un 60 %, en l'R12 en més d'un 40 %. En el cas de l'R13 i l'R14 s'assimila a les línies de més freqüència, amb un valor màxim del 25% en l'R13 i del 20% en l'R14, però la gran diferència és que es tracta d'un valor puntual i els efectes realment s'assimilen més a les altres dues línies.

Un cop analitzat el servei en una setmana, mostrem –Figura 10– els valors de forma global, on primer mostrarem l'accessibilitat global de cada línia, on per una part mostrarem els serveis regionals i per l'altra els de rodalia, per finalment mostrar en una sola gràfica el valor d'accessibilitat global del servei de rodalia i dels serveis regionals i el valor absolut del servei de Rodalies de Catalunya.

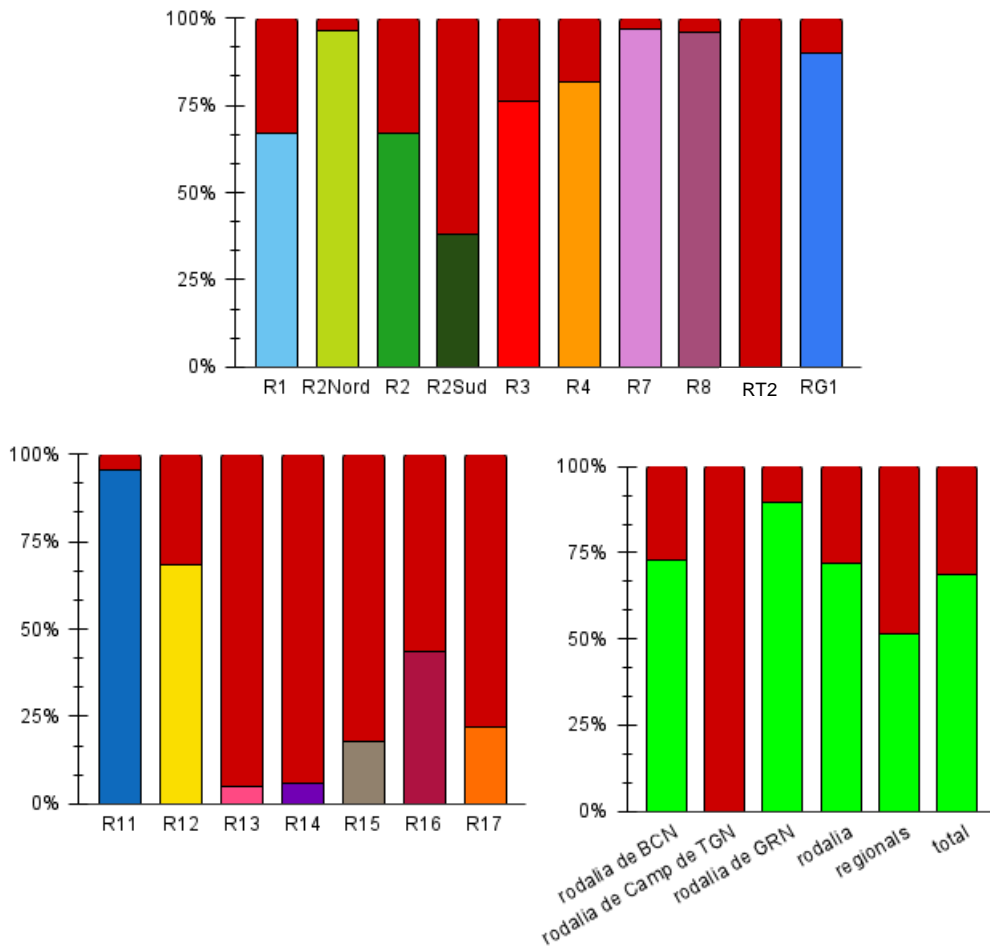


Figura 10. Accessibilitat global serveis regionals –esquerra– de rodalia –superior– i absolut –dreta.

En els serveis de rodalia, podem observar de nou com les línies que tenen el comboi Civia superen el 95 % d'accessibilitat en el cas de la rodalia de Barcelona i el 90 % en el cas de la de Girona, que recull les línies R2 Nord, R7, R8 i RG1. Aquestes línies –a excepció de l'R2 Nord que presta més servei que l'R3– són les línies que,

conjuntament amb la RT2 i l'R2, presten menys servei, on el nombre total de trens accessibles a la setmana és de 1180.

Les línies que tenen el comboi 447 i puntualment el Civia, tenen aproximadament entre un 18 i un 33 % dels trens que no són accessibles, com és el cas de les línies R1, R2, R3 i R4, que conjuntament amb l'R2 Sud –on amb la sèrie 450 i 451, supera el 60 %– i excloent l'R2, són les línies que presten més servei on, tot i que l'accessibilitat no està invertida al cas anterior –intercanviant l'R2 per l'R2 Sud- tenim un total de 1262 trens a la setmana que no són accessibles.

En aquest cas, hem volgut primer veure el valor absolut de cada rodalia, ja que, com podem observar l'absolut de tots els serveis de rodalia, entre que a la rodalia de Camp de Tarragona i de Girona només circula una línia respectivament i que la seva accessibilitat és divergent entre si, el valor d'accessibilitat respecte a la rodalia de Barcelona, no varia ni un 1 % i d'aquesta manera, evidenciem també de nou la negligència en la rodalia del Camp de Tarragona.

El servei de rodalia de Barcelona –i com a resultat també el servei de rodalia absolut- no arriba al 75 % d'accessibilitat i això suposa que al llarg d'una setmana hi ha 1329 trens que no són accessibles, on es pot observar com les línies que presten més servei i són menys accessibles marquen clarament aquest valor i percentatge.

En els serveis regionals, podem observar com les línies amb més variació d'accessibilitat el valor mitjà és el que més es redueix respecte al valor màxim, provocant que l'R13 i l'R14 tinguin gairebé el 95 % del servei que no és accessible, l'R17, lluny del 60 %, no arriba ni al 25% de servei accessible i finalment l'R12 tot i no arriba al 70 % és la segona línia de serveis regionals amb més accessibilitat.

De les línies de més freqüència, podem veure que l'R11, gràcies a la sèrie 449, seria la inversa de l'R13 o l'R14, on els trens que no són accessibles no arriben al 5 %, però també podem observar que hi ha un salt molt gran amb la següent línia –de més freqüència– perquè anem a l'R16 on el servei accessible no arriba ni al 45 % i en l'R15 ni al 20 %.

Aquesta variabilitat entre l'accessibilitat dels serveis regionals fa que el seu valor absolut d'accessibilitat es quedi en molt poc més del 50 %, per tant, això significa que gairebé la meitat dels trens que realitzen els serveis més llargs i passen per un nombre més elevat d'estacions, no són accessibles.

En el valor absolut d'accessibilitat podem veure com el servei de rodalia de Barcelona té més pes que els serveis regionals i fa que gairebé arribi al 70 % de servei accessible –en lloc del 62 %– que suposa 1858 trens a la setmana no són accessibles.

En l'*Actualització del Pla de Rodalies de Catalunya* s'indica que l'accessibilitat és del 80 % i tot i que el nostre estudi s'ha realitzat en una setmana, considerem molt optimista aquest increment del 15 % en l'accessibilitat.

2.1 CÀLCUL DIMENSIONAL

Per a realitzar els càlculs necessaris per dimensionar el RTPR necessitàvem conèixer les dimensions d'accés i de l'interior de cada sèrie. El primer pas que es va fer va ser buscar a la web de Rodalies i de RENFE per veure si se'ns proporcionaven aquestes dades, però només se'ns proporciona les mides exteriors i generals del tren. El segon

pas va ser trucar al servei d'atenció de RENFE on tampoc tenien coneixement de les mides que necessitàvem i ens van confirmar que no coneixien tampoc cap altre lloc on les proporcionessin públicament, però que ens van tramitar la nostra consulta a la Generalitat de Catalunya.

La recepció de la nostra comunicació amb codi 3LB72B1N9-1, va ser el 22/09/2021 i a l'emissió de la resposta va ser l'endemà, el dia 23/09/2022. En aquest cas¹³ tampoc ens van proporcionar les mides sol·licitades, però ens van proporcionar dos correus on poder adreçar de nou la nostra consulta. Tot i que ens vam adreçar a totes dues adreces amb la nostra consulta no hem arribat a obtenir cap resposta i per aquest motiu el mètode per obtenir les mesures ha estat l'última opció, que ha consistit a prendre manualment i personalment les mesures de tots els combois en qüestió amb una cinta mètrica.

Com que la sensibilitat i la precisió d'aquestes mesures és poc exacta, en el cas de les mesures fixes s'agafarà el valor de la moda, mentre que en el cas de les variables, s'agafarà la més restrictiva, és a dir, la més gran.

Inicialment, en els combois que disposen de vagó per a PMR, es volia aprofitar l'espai ja destinat a les PMR també amb el nostre RTPR. Tanmateix, ens hem trobat amb diverses problemàtiques.



Figura 11. Averia de la porta PMR a la dreta en un comboi 465 i a l'esquerra en un 447.

La primera problemàtica consisteix en el fet que sovint les portes dels trens s'avarien, i la porta dels vagons PMR no en són cap excepció¹⁴. En la *Figura 11* podem observar aquesta realitat en dos sèries diferents on en aquest cas corresponien a la línia R2 i a l'R4.

Per tal que aquestes avaries no afectin el servei del RTPR s'ha decidit que es dissenyaran dos espais diferents per habilitar dins de cada comboi on paral·lelament en les línies d'alta densitat es plantejarà l'opció de disposar de dos RTPR en un mateix tren.

Seguidament, ens trobem en el fet que s'indica de forma errònia els vagons per a PMR, ja que en diversos casos s'indiquen en trens que no són accessibles arribant als nivells que ni les dimensions d'accés ho són com és el cas del 448.

¹³ La resposta exacta va ser:

Pel que fa al tema que ens planteja, haurà de realitzar la seva consulta a la Delegació de Comunicació de Catalunya i Aragó, de la Direcció de Comunicació, Marca y Publicidad de RENFE Viajeros, S.A., a través dels correus: acarmona@renfe.es o andrea.lopez.delpuerto@renfe.es

¹⁴ Les dues imatges de la *Figura 5* són respectivament del 04/11/2021 i del 21/10/2021 on la diferencia temporal és exactament de tres setmanes.

També tenim la problemàtica que l'espai habilitat per a PMR del comboi Civia. En aquest cas, conjuntament amb l'anterior, abordarem en cada comboi la solució escollida.

Finalment, no podem oblidar que l'altura de l'andana pot suposar un desnivell respecte al pis de sota del tren, generant falta de comoditat al viatger, augment dels temps de pujada i baixada i més dificultats d'accés a les PMR. Actualment, l'altura estàndard normalitzada per a les andanes de les estacions de Rodalies és de 68 centímetres, on a la rodalia de Barcelona hi ha 20 estacions, un 18,3 % del total, amb una altura d'andana que no es correspon amb els 68 centímetres definits per la normativa en alguna de les seves andanes, agrupant el 8,4% de la demanda total de la xarxa, repartides principalment a les línies R4 i R3¹⁵ [3].

El criteri que s'ha seguit a l'hora de dimensionar i dissenyar els esplais per al RTPR a l'interior del tren ha estat el del mínim desplaçament i maniobra, així com aprofitar en primera instància els espais ja reservats per a PMR.

2.1.1 SÈRIE 447

La concepció i el desenvolupament del projecte tècnic i constructiu de la sèrie 447 va tenir lloc els anys 1991 i 1992 i el 1993 es va posar en servei. Aquests trens, concebuts i dissenyats per CAF en la seva part mecànica i d'equips auxiliars i per Siemens en la part de l'equip elèctric de control i potència, han estat construïts per ADtranz, CAF, Geca i Siemens [26].

Les unitats elèctriques de la sèrie 447 són composicions de tres cotxes i són l'evolució de les 446. Estan pensades per a realitzar trajectes amb moltes parades situades a curta distància i on és més important l'acceleració que la velocitat màxima que és de 120 km/h i disposa de motors trifàsics asíncrons per aconseguir-ho [27].

Cada cotxe disposa de 3 parells de portes de doble fulla per permetre una ràpida entrada i sortida dels viatgers.



Figura 12. Exterior de l'accés al vagó per PMR del 447.

¹⁵ Exactament, la distribució és d'una estació en les línies R1,R2 i R8, tres en l'R7, set en l'R3 i catorze en l'R4.

En el *Plan de Accesibilidad Universal* de RENFE es diu que les portes d'accés s'equiparan amb plataformes retràctils que reduiran al màxim l'espai que pogués existir entre cotxe i andana, fent el cotxe accessible des de qualsevol de les andanes: les de 760, 680 i 550 mm on actualment l'altura d'accés al tren oscil·la entre 390 i 600 mm [11]. Pel que fa a la profunditat no se'ns proporciona cap dada.

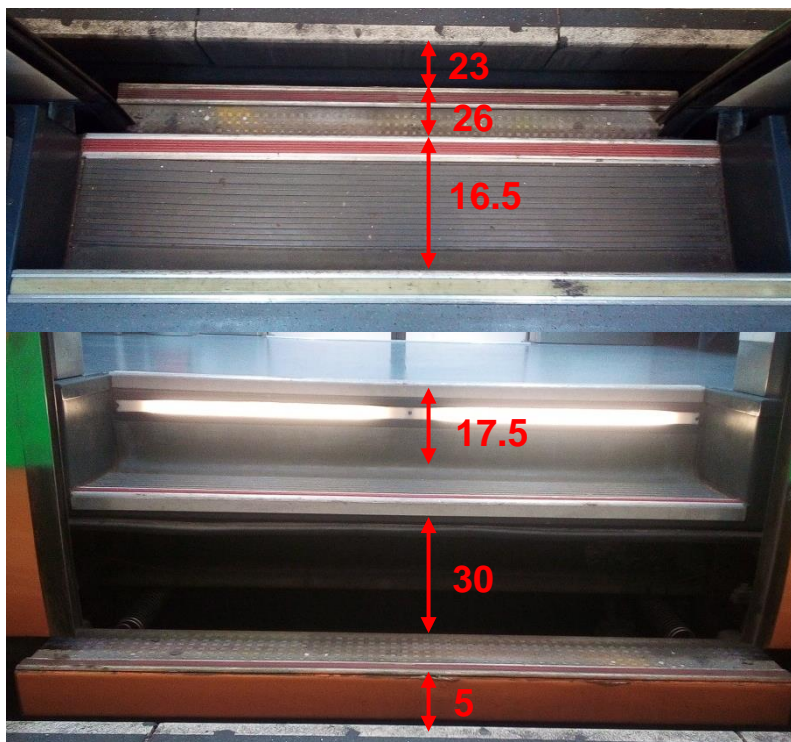


Figura 13. Mides de la sèrie 447 de l'ample, alçada superior i profunditat inferior d'accés.

En aquest cas, en valor absolut tenim una llargada de 65.5 cm i una altura de 62.5 cm –on hem afegit un incrementarem en 13 cm per poder permetre l'accés també des de les andanes de 55 cm¹⁶ i podem observar que supera els 600 mm– per superar.

L'accés al vagó accessible el considerarem equivalent al de la sèrie Civia, on, de fet, la remodelació s'hi va inspirar.

Podem observar –Figura 14 i Figura 15– els diferents aspectes i distribucions de l'interior del 447 tant en el cas del vagó PMR com el d'un altre vagó.

En el model més antic i que teòricament ja no presta servei, no disposa de vagó PMR, en canvi, en les dues reformes posteriors el vagó PMR pot o no està incorporat, tanmateix, en la darrera reforma –on s'ha donat un aspecte de regional per justificar el seu ús en aquests serveis tot i que els seients segueixen sent rígids en lloc d'encoixinats i s'ha habilitat un espai per desar esquís i bicicletes per als serveis regionals de l'R3– ja no hi ha seients en posició lateral.

¹⁶ Recordem que també circula en els serveis regionals.



Figura 14. Espai d'aparcament del 447 del vagó PMR.

La primera opció de posició del RTPR es troba en el vagó PMR, on la primera opció es troba en l'espai ja habilitat i com a opció alternativa es troba en la part posterior del lavabo, on es troben els seients plegables destinats a posar-hi bicicletes.



Figura 15. Espai d'aparcament del 447 sense vago PMR [28] [29] [30]¹⁷.

En els 447 que no disposen de vagó PMR les dues bases se situen en la mateixa posició, davant dels seients laterals, perquè és on es genera més espai dins del vagó i que es troba més a prop de la porta d'accés.

Finalment per als 447 que no disposen ni de vagó PMR ni de seients laterals, l'opció escollida es troba davant dels seients que es troben a l'altre costat de l'espai habilitat per desar els esquís o les bicicletes, ja que tot i que un primer moment s'havia plantejat fer servir aquest mateix espai, però no bloquejaria el pas central del passadís.

En aquest –Figura 16– comboi, a partir de la primera reforma, es va fer una prova pilot d'una plataforma d'accés al tren.

¹⁷ Podeu trobar la imatge en el 1:47 de la barra de temps del vídeo.



Figura 16. Plataforma d'accés a la sèrie 447 [31].

Tanmateix, sembla que no es va arribar a utilitzar i actualment la sèrie 447 ja no disposa d'aquesta plataforma.

2.1.2 SÈRIE 448

Construïda entre 1987 i 1991, la sèrie 448 és la tercera generació d'electrotrens de RENFE. Aquests trens, fabricats per CAF, Macosa, Ateinsa i MTM, aporten millores importants respecte dels models anteriors i poden arribar a circular a 160 km/h [27].

Les unitats elèctriques de la sèrie 448¹⁸ són una evolució de la sèrie 444 amb tres cotxes. Cadascun dels cotxes disposa de dos parells de portes d'accés d'una fulla d'accionament automàtic [27].

En els serveis regionals –i de rodalia de Camp de Tarragona– és un comboi que no disposa de vagó per a PMR, tanmateix, podem observar com en el vagó motor s'indica com a accessible, tot i podem observar clarament –Figura 17– que ni es tracta d'un vagó rebaixat ni disposa de cap element per permetre el seu accés.

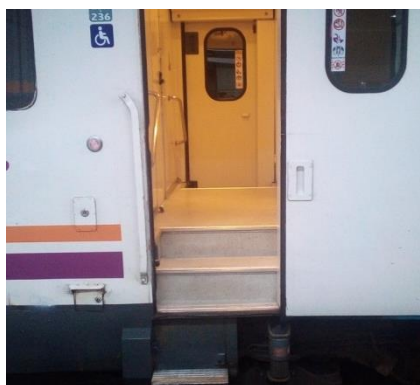


Figura 17. Exterior de l'accés al vagó PMR de la sèrie 448.

En el *Plan de Accesibilidad Universal* de RENFE es diu que la sèrie 448 no permeten l'accés a les PMR, ja que la diferència d'altura existent entre l'andana i el pis del tren és d'entre 390 i 600 mm i que només disposen d'un espai per a PMR i que es poden fer millores en el seu condicionament interior en la seva globalitat [11].

En aquest cas, malgrat l'ample de la porta és d'uns 90 cm, hem mesurat –com

¹⁸ Les primeres 6 unitats rebudes tenien un tester diferent que recordava a una rentadora pel que van recollir aquest sobrenom de "rentadores".

s'observa a la *Figura 18* expressat en cm– com l'ample útil queda reduït a 69 cm. Per aquest motiu i com que la normativa estableix que l'amplada mínima de l'espai destinat a PMR ha de ser de 80 cm, el considerarem un cas especial.



Figura 18. Exterior –dreta– i interior –esquerra [32]¹⁹ – de l'accés al comboi 448.

Per tant, el model real proposat, així com la proporcionalitat del prototip construït, no coincidirán amb un model vàlid per a l'accés en aquest comboi. Així i tot, es proposa fer un vehicle exclusiu per aquest comboi amb les mesures necessàries per poder accedir dins del tren malgrat no complir la normativa amb la finalitat prioritària de poder garantir l'accés al màxim de PMR.

Van començar a utilitzar-se en els serveis de llarga distància, però amb l'arribada de l'Euromed, l'Alaris i el Talgo 7 es van adequar per al seu ús en els serveis de mitjana distància. La remodelació va consistir en un nou interiorisme, eliminat el furgó amb la cafeteria i els sistemes de vídeo per incorporar més places, espais per a persones amb mobilitat reduïda, lloc per a bicicletes i millores als lavabos [27].

En el *Plan de Accesibilidad Universal* de RENFE es diu que la millor solució passa per la instal·lació d'un elevador embarcat que permetrà l'accés al tren a les PMR sense cap dispositiu extern i amb independència de l'altura de les andanes i també plantegen l'adaptació del seu l'interior. Està prevista la transformació de 31 trens de la sèrie 448 que proporcionaran a l'usuari un tren accessible tant en el seu accés com en els itineraris accessibles a tots els serveis [11].

Tanmateix, en l'*Actualització del Pla de Rodalies de Catalunya* en la *Taula 112* [3] podem observar com encara es mostra com a comboi que no és accessible perquè, l'adaptació descrita és exclusiva dels serveis de Mitja Distància.

Més endavant hem pogut observar com els combois 448 que fan trajectes de MD – com els que arriben fins a València- en aquest cas sí que hi ha una congruència en la indicació de l'entrada PMR, tanmateix, es tracta d'un sistema rudimentari que, com també és denuncia des d'ECOM.

En la renovació no s'ha tingut en compte com a factor clau l'autonomia personal i igualtat d'oportunitats de les persones amb discapacitat i no s'entén que es considerin com a adaptats quan no han estat dotats de pis baix i que contenen un elevador dins el tren –*Figura 19*– que no pot accionar ningú: per a l'usuari és impossible, la majoria d'estacions a les quals dona servei aquest tren no tenen cap classe de personal i tampoc hi ha personal que pugui accionar l'elevador o a qui es puguin dirigir les persones per sol·licitar l'accés o desembarcament [33]. Per tant, excepte en els desplaçaments fora de la rodalia, on es pot fer ús del servei Atendo, resta inutilitzada o

¹⁹ Podeu trobar la imatge en el 4:56 de la barra de temps del vídeo.

relegant la responsabilitat al maquinista. Per una altra banda, podem observar²⁰ que el temps de desplegament i replegament és llarg.



Figura 19. Exterior de l'accés al vagó PMR de la sèrie 448 i detall de l'interior de MD.

En el 447 es va retirar la plataforma elevadora que es va posar en un primer moment, però sembla que no és un indicador prou clar perquè RENFE es plantegi la seva funcionalitat en el 448. Pel que fa al condicionament interior, la PMR, pot fer el trajecte de l'accés a la seva plaça i viceversa, on pel fet de no disposar de cap servei més enllà del lavabo –ja que en la darrera reforma es va retirar– no s'ha hagut d'adaptar cap més itinerari.

En els 448 amb servei de MD, tampoc es podria fer servir el RTPR dissenyat perquè, tot i que l'accés en aquest cas és de 88 cm en lloc de 69, quan la rampa d'accés està replegada l'accés útil és de 73 cm.

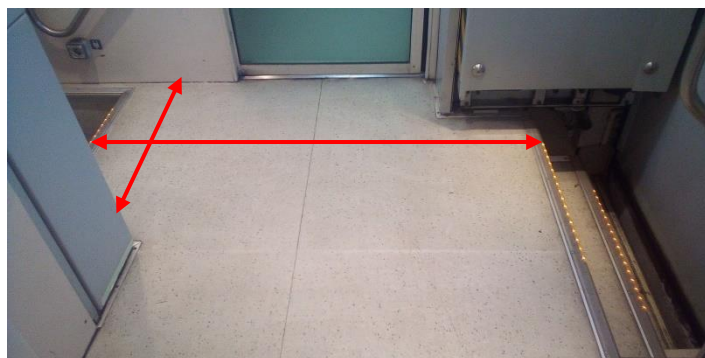


Figura 20. Interior del vagó PMR de la sèrie 448 de MD.

En aquest cas, tot i que RTPR específic, sí que podria accedir a l'espai reservat per a les PMR –on és de 80 cm, i en el cas del RTPR genèric no podria accedir– pel que fa a l'amplada.

Tanmateix, tot i que la llargada disponible, un cop superat els esglaons d'accés, és de 1.86 m, l'ample és de 1.15 m i la llargada necessària per poder superar l'altura per accedir al tren, fa que no es pugui realitzar la maniobra de gir necessària, pel fet de no tenir un espai circular on pugui girar sobre el seu propi eix.

De nou, com en el model utilitzat per als serveis regionals i per a la rodalia de Camp de Tarragona, el RTPR es quedarà centrat a l'eix del vertical del tren deixant ambdues

²⁰ A tall d'exemple podem veure aquesta seqüència, que és molt similar a la dels trens de RENFE on només en la seqüència es triga un minut i mig.

portes d'accés així ambdues portes de l'interior del tren inutilitzades.

2.1.3 SÈRIE 449

Està en funcionament des de 2008, han estat fabricats per CAF per a serveis de mitjana distància i poden assolir velocitats de 160 km/h. Són automotors de 5 cotxes i en pràcticament tots els casos circulen en doble composició [26].

Totes les unitats elèctriques 449 són d'ample ibèric, però amb preinstal·lació perquè en el futur circulin per les línies d'ample UIC. Cada tren disposa de 259 places, una d'elles per a PMR [27]. Per tant, aquest comboi és l'adquisició pensada per a serveis regionals més moderna i l'únic que disposa de vagó PMR.

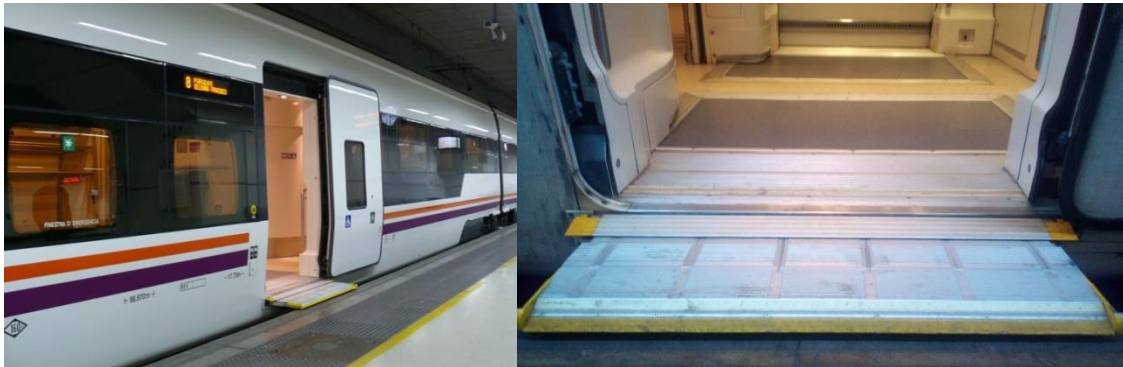


Figura 21. Exterior del vagó PMR de la sèrie 449 [34] i detall de la porta d'accés.

La sèrie 449 disposa del cotxe central amb una part del vagó rebaixat –Figura 21– per permetre l'accés a PMR, amb senyalització específica i lavabo adaptat. Cada cotxe té una porta a cada costat de 1200 mm que per raons d'estanquitat és d'una fulla [27].

En el *Plan de Accesibilidad Universal* de RENFE s'especifica que disposa d'una zona de pis baix accessible per a altures d'andanes compreses entre 680 i 760 mm [11].

Encara que es tracti d'un comboi que sempre disposa de vagó accessible, la diversitat en les andanes i la circumval·lació a la qual de vegades s'atura, provoca que la rampa retràctil que disposa no sempre s'hi ajusti adequadament –Figura 22– i pot arribar a deixar de complir la seva funció i deixar de ser accessible on en el cas de la llargada d'accés també pot arribar als 9 cm.



Figura 22. Accés PMR de la sèrie 449 que no s'ajusta a l'andana [35].

Per aquest motiu també s'ha dimensionat aquest comboi per habilitar el servei del RTPR.

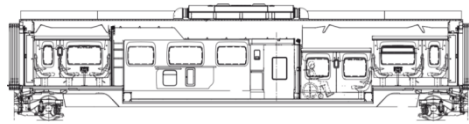


Figura 23. Interior del vagó PMR de la sèrie 449 [36][37] i esquema [11].

En aquest cas, però, la distribució del lavabo i el petit sortint que podem observar a la imatge de la dreta de la *Figura 23*, dificulta que la PMR pugui anar més enllà de la mateixa porta del lavabo. Pel que fa al RTPR, directament l'hi és impossible d'accedir tant a l'espai del seient H com en l'altre sentit –posicions òptimes d'aparcament– perquè l'accés és de 84 cm i en arribar al sortint encara s'estreix més.



Figura 24. Espai d'aparcament en la sèrie 449.

Així doncs, l'espai d'aparcament es disposa en la mateixa entrada, on podem observar que dificultem la circulació i l'accés. Per reduir-ho al màxim, es posa arrambada a la porta contrària d'accés, on, en aquest cas, la PMR podrà indicar al RTPR que s'arrambi a la porta contrària en cas de canvi de sentit en l'accés.

Només en els casos on el 449 no circuli en doble composició, l'espai d'aparcament alternatiu es trobarà en el vagó convencional de capçalera, ja que d'aquesta manera no obstaculitzarà la circulació entre vagons, perquè com en el cas anterior, ho farà amb l'accés.

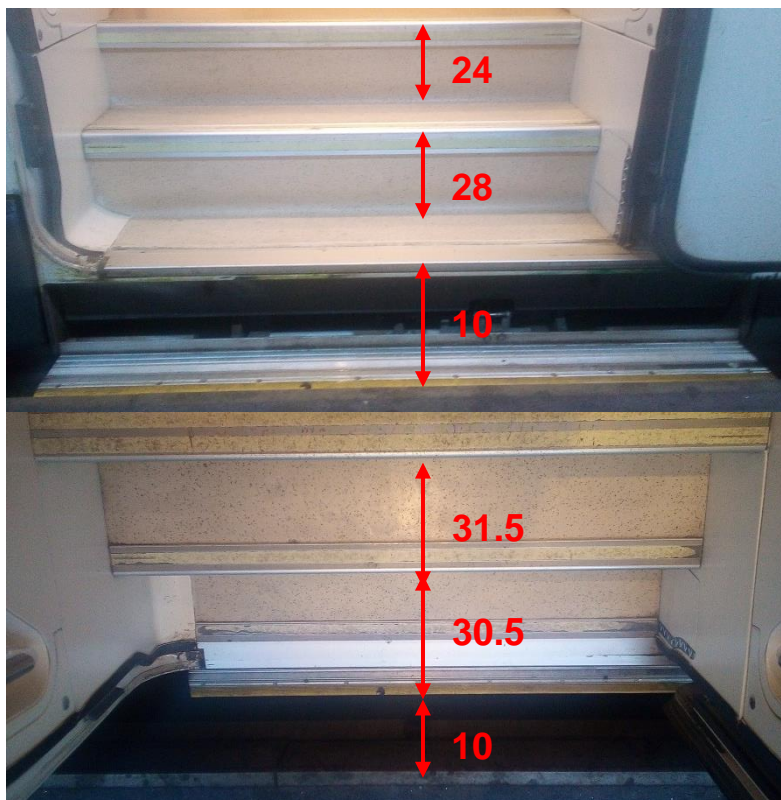


Figura 25. Mides de la sèrie 449 de l'ample, alçada superior i profunditat inferior d'accés.

Podem observar una gran similitud en l'accés amb el 448, on en aquest cas, en valor absolut tenim una llargada de 72 cm i una altura de 72 cm –on hem afegit un incrementarem en 13 cm per poder permetre l'accés també des de les andanes de 55 cm– per superar.



Figura 26. Espai d'aparcament en la sèrie 449.

Aquesta és la sèrie on el RTPR trigarà més temps a accedir al tren així com en la que treballarà en la posició més inclinada.

2.1.4 SÈRIE 450/451

Els trens de la sèrie 450 van ser adquirits per RENFE el 1988 i es van posar en servei el 1990 amb l'objectiu d'utilitzar-los en línies llargues, amb una distància mínima entre parades de 4 km i forta demanda al final de la línia, cosa que necessitava molta capacitat de places assegudes. A partir de 1993 es van formar, per una banda, les

unitats 450 formades per dues motrius i quatre remolcs intermedis i les unitats 451 formades per una motriu, un remolc intermedi i un remolc amb cabina provinent de les unitats 450 quan circulaven amb la locomotora [27].

Els cotxes de dos pisos aprofiten al màxim el gàlib de RENFE, disposant de dues plantes d'1.9 m. Des de les dues plataformes d'accés per cotxe, que disposen d'amples portes de doble fulla d'accionament pneumàtic a cada costat, s'accedeix a cadascuna de les dues plantes a través d'escales. Cadascun dels cotxes disposa de lavabo [27].

Respecte als trens convencionals les unitats de dos pisos superen en un 90% les places assegudes i en un 30% les places totals.

El lavabo es troba en un dels vagons intermedis –o en el vagó intermedi– on a l'altra banda hi ha un espai i tot i tenir les portes més amples, hi ha una barra vertical que impedeix poder aprofitar aquest ample d'accés de 176 cm, ja que l'ample útil queda reduït a la meitat.



Figura 27. Exterior del vagó PMR de la sèrie 450/451 [33].

Com en el cas anterior, podem observar –Figura 27– com, en aquest mateix vagó –en el que es troba el lavabo que no és accessible– s'indica a l'exterior com a accessible per a PMR²¹, on de nou, ni es tracta d'un vagó rebaixat ni hi ha cap element per permetre el seu accés, on a més a més, es tracta del vagó amb l'ample útil d'accés més petit i en l'espai que hipotèticament es destina a les PMR, se situa just davant del lavabo, on, si bé l'espai en termes d'ample i llarg compleix la normativa, per accedir-hi hi ha un esglaó de 23 cm. En l'apartat 3.8 del RD 1544/2007 s'estableix que no es permeten esglaons entre el vestíbul d'una porta exterior accessible per a cadires de rodes, l'espai destinat a les cadires de rodes, un compartiment dormitori universal i el lavabo universal [2].

En aquest cas, el *Plan de Accesibilidad Universal* de RENFE [11], però i en l'*Actualització del Pla de Rodalies de Catalunya* en la *Taula 112* [3] podem observar com es mostra com a comboi que no és accessible.

En el vagó motor l'ample d'accés és més petit, però com que en aquest cas no hi ha la barra vertical, l'ample útil és més gran i compleix els requeriments d'accessibilitat així com de les dimensions del RTPR.

²¹ En els combois que estan amb l'estampat del color taronja com a corporatiu es va corregir i ja no es pot observar aquesta senyalització.

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
Laia Sánchez Tolo

Tanmateix, en tots els accessos es troba la barra vertical centrada en l'eix vertical dels vagons. A la porta de la cabina del motor, descobrim que també està centrada horitzontalment deixant 80 cm en cada costat i el RTPR no podria estacionar-hi, en canvi, en la porta contrària a la de la cabina, hem mesurat que aquesta barra deixa més espai en la banda contrària a les escales i per tant ens permet l'accés al RTPR.

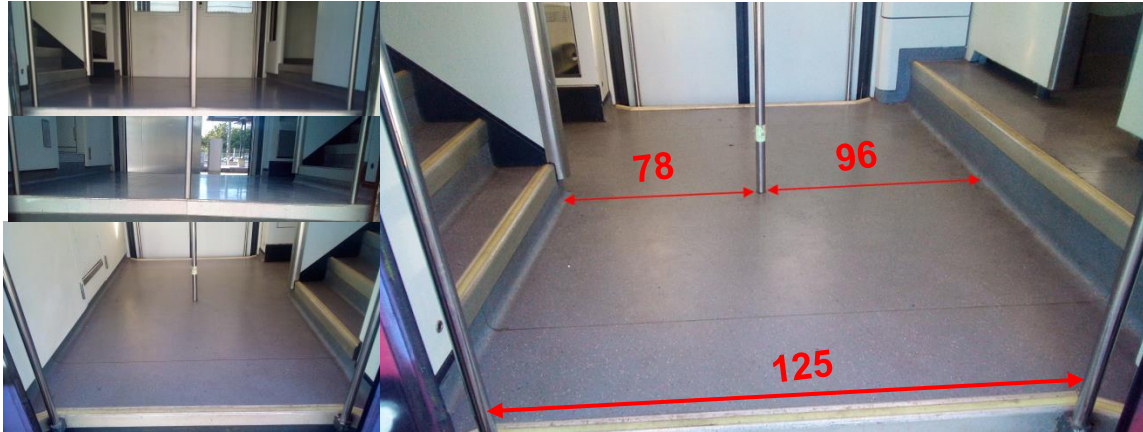


Figura 28. Vagons de la sèrie 450/451 amb mesures expressades en cm.

Com que la llargada d'accés supera amb escreix la llargada del RTPR, si la base d'estacionament la centrem a l'eix vertical del tren, gràcies a la llargada de l'escala per accedir als seients, permetria que el RTPR no bloqueges aquest accés deixant uns 50 cm d'ample a cada costat per accedir-hi.

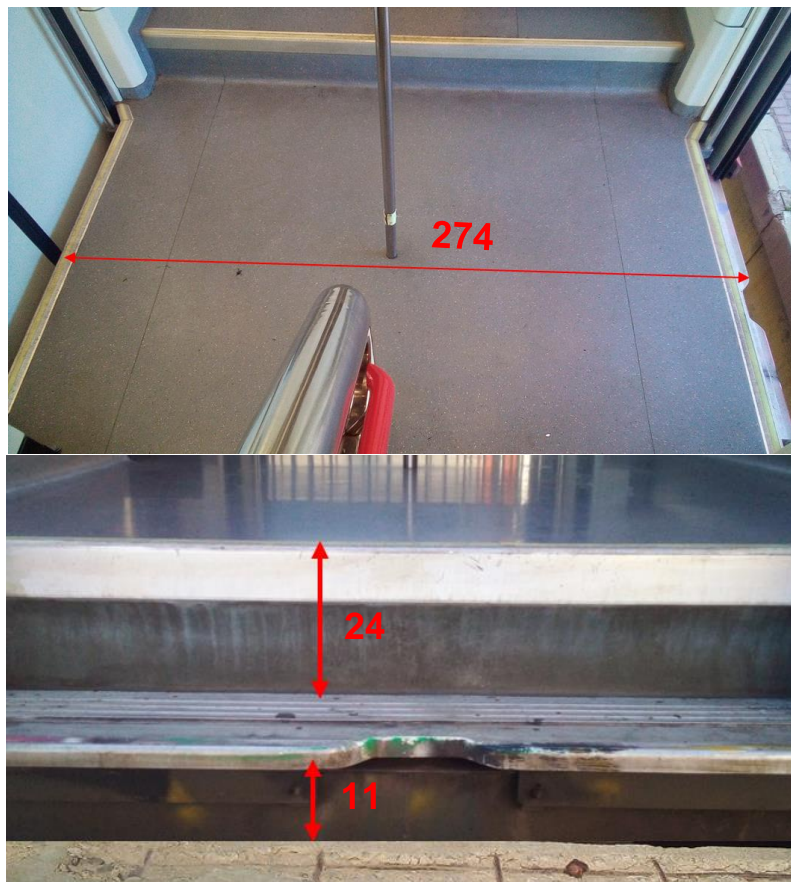




Figura 29. Mides del comboi escollit de la sèrie 450/451 de l'interior i de l'ample –les dues superiors–, l'alçada i la profunditat –les dues inferiors– d'accés.

Les característiques d'accés d'aquest comboi –Figura 29– són, en valor absolut de 48 cm de llargada i de 35 cm d'altura i podem observar que són menys restrictives que les del 447, però més que les del Civia.

Finalment –Figura 30– mostrem de forma esquematitzada i aproximada la posició de la base del RTPR en la sèrie 450/451.



Figura 30. Espai d'aparcament en la sèrie 450/451.

2.1.5 SÈRIE 463/464/465

Els trens Civia, adquirida a partir de l'any 2000 i entre el 2003 i el 2004 es van posar en servei, estan destinats a prestar serveis de rodalia en substitució sobretot de les obsoletes unitats 440. Són l'evolució tecnològica dels trens de les sèries 446 i 447 i poden assolir una velocitat màxima de 160 km/h tot i que comercialment circulen a 120 km/h. Desenvolupats per CAF, Siemens, Alstom i Bombardier [27].

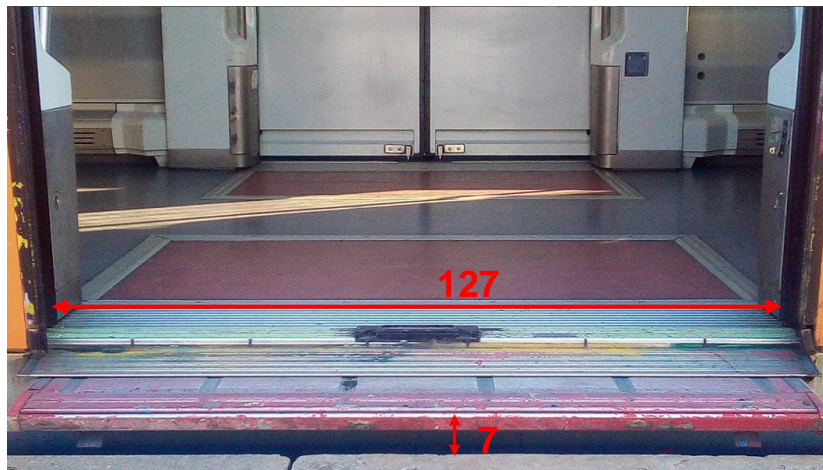
Una de les principals característiques dels trens Civia és la seva modularitat i disposa de tres tipus de cotxe amb dos parells de portes de doble fulla amb estrep abatible cadascun; l'A1: l'extrem amb cabina de conducció i pis normal, l'A2: l'intermedi amb pis normal i l'A3: l'intermedi amb lavabo i pis baix, és a dir, per a PMR. Amb els diferents cotxes existents es formen les sèries de trens Civia; la sèrie 463 és A1+A3+A1, la 464 és A1+A2+A3+A1 i la 465 és A1+A2+A3+A2+A1 [27].

Els trens Civia han estat els primers que disposen en qualsevol de les combinacions d'un vagó per a PMR i el *Plan de Accesibilidad Universal* de RENFE ens diu que proporciona una entra a nivell des d'andanes de 680 mm [11].



Figura 31. Exterior del vagó PMR de la sèrie 465.

En aquest cas, com en el 449, el vagó PMR no s'acaba d'ajustar a l'andana de l'estació i en els casos que hem pogut observar, tot i que tenen una magnitud menor que en la denunciada del 449 –que circula en les línies regionals– segueix sent problemàtica, on per exemple en el cas de les cadires de rodes mecàniques, on algunes de les rodes tenen un diàmetre menor de 20 cm, per tant, fàcilment podrien o bé quedar encaixonades²², o bé passar pel forat on a més a més seria necessari realitzar alguna maniobra tant per evitar que succeís com per superar l'altura i a part de suposar un risc, no es pot reduir a la capacitat de maniobra de la PMR el seu accés al tren.



²² Podeu veure un exemple d'aquesta incidència en el metro de Barcelona a: <http://www.dependenciasocialmedia.com/2017/05/barcelona-se-marca-el-objetivo-de-que-la-ciudad-sea-totalmente-accesible-en-el-2026/barreras-arquitectonicas-1462894914022/>



Figura 32. Mides en cm del comboi PMR de la sèrie 465 de l'ample, alçada –superior– i profunditat –inferior– d'accés.

En el cas de l'accés alternatiu, que farem per mitjà dels vagons no rebaixats, podem observar com en valor absolut tenim una llargada de 35.5 cm i una altura de 52 cm per superar.

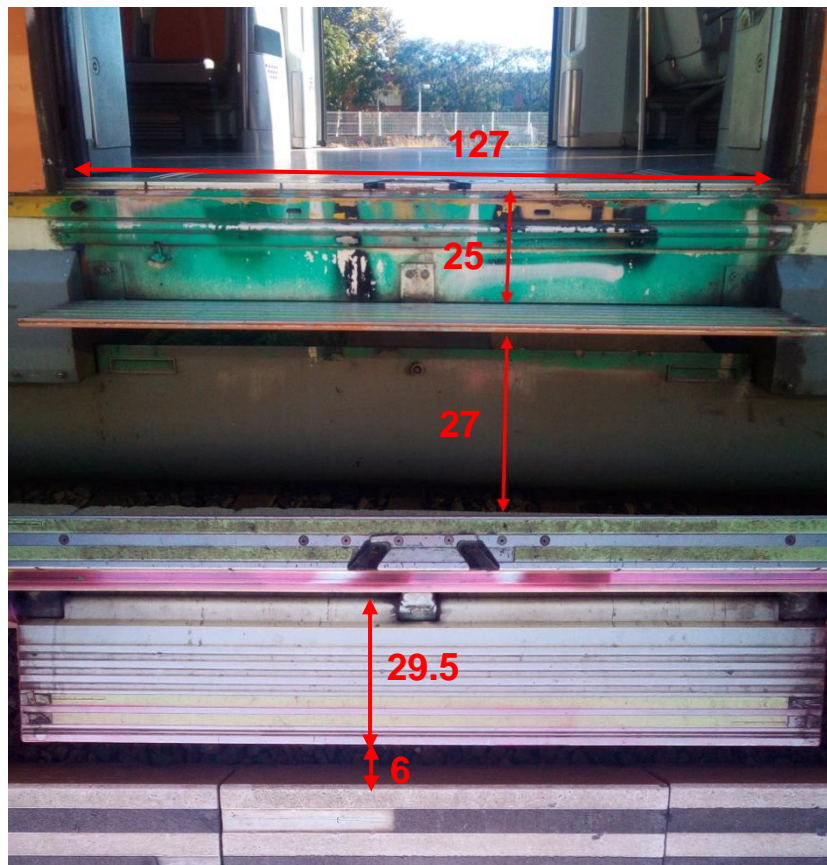


Figura 33. Mides del comboi PMR de la sèrie Civia de l'ample, alçada –superior– i profunditat –inferior– d'accés.

La problemàtica que ens hem trobat en aquest comboi és que l'espai reservat per a PMR, tot i complir amb la normativa, té una amplada inicial de 82.5 cm i això fa que el RTPR no pugui cabre per molt que en la part més ampla assoleix els 92 cm i restaria obstaculitzat la porta d'accés.



Figura 34. Espai d'aparcament en la sèrie Civia.

Per aquest motiu, amb la finalitat de no obstaculitzar l'espai reservat per a PMR en aquells trajectes on podria arribar a no ser necessari el RTPR ni l'accés al tren, en aquest comboi la base se situarà, en tots els casos, paral·lela als seients laterals –que quedarien inutilitzats– en el costat contrari on es troba el lavabo del vagó contigu al per a PMR on tot i que dificultaríem la circulació, no quedaria bloquejada, ja que deixariem 25 cm de marge.

En aquest cas, tampoc podem posar la base a la part posterior del lavabo perquè en l'altre lateral també hi ha seients laterals que conjuntament amb la base, bloquejarien la circulació.

2.1.6 SÈRIE 470

Les unitats elèctriques de la sèrie 470 són el fruit de la reforma que es va fer a partir de 1993 de les 440 on es va canviar el seu aspecte exterior i interior. Les 440 originals van ser adquirides per RENFE entre els anys 1975 i 1985 i tenen una velocitat màxima de 140 km/h. La unitat ha estat fabricada per CAF i Macosa on cada unitat porta 4 motors construïts per GEE, WESA i MELCO sota una llicència de Mitsubishi [26][27].

Les unitats són de tres cotxes, dels quals únicament un està motoritzat, essent els altres dos un remolc intermedi i un remolc amb cabina. Cada cotxe disposa de dos parells de portes de doble fulla. El seu interior és de seients encoixinats específics per als serveis regionals i de mitjana distància.

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
Laia Sánchez Tolo

De nou podem observar –Figura 35– com RENFE gairebé de forma sistemàtica atribueix en els combois que no són accessibles la indicació en un dels vagons per a l'accés per a PMR, on en aquest cas, ni tan sols l'espai habilitat compleix la normativa, on la seva amplada és de 72 cm i la llargada de 108 cm.

En aquest cas, el *Plan de Accesibilidad Universal* de RENFE [11] no fa cap menció d'aquest comboi, per tant, interpretem que no hi ha cap reforma plantejada per permetre l'accés a PMR i en l'*Actualització del Pla de Rodalies de Catalunya* en la *Taula 112* [3] podem observar com es mostra com a comboi que no és accessible.



Figura 35. Exterior i interior del 470 amb indicació de porta PMR.

En aquest cas el RTPR no pot accedir on es troben els seients en cap dels dos sentits, perquè l'ample és de 74 cm. Per aquest motiu l'espai base l'establim en els vagons on es troba la cabina, entrant per la porta més propera, a les portes més distals entre si.

En aquest vagó, la distribució interior és variable. Podem observar –Figura 36– com la distribució dels seients plegables pot variar entre 3 i cap en el cantó on establirem la base, que és el lateral més proper a la cabina, on l'accés a l'espai intermedi hi ha un esglaó –mentre que en la resta d'accessos hi ha una rampa– perquè és el compartiment amb menys seients, on de vegades no n'hi ha cap i d'altres hi ha una màquina expendedora, per tant, en la posició que menor afectació tindria el seu bloqueig a conseqüència de posar el RTPR, perquè creiem que és òptim que deixar el RTPR al centre de l'espai on dificultaria l'accés al tren durant tot el trajecte, com no hem pogut evitar en el 449.

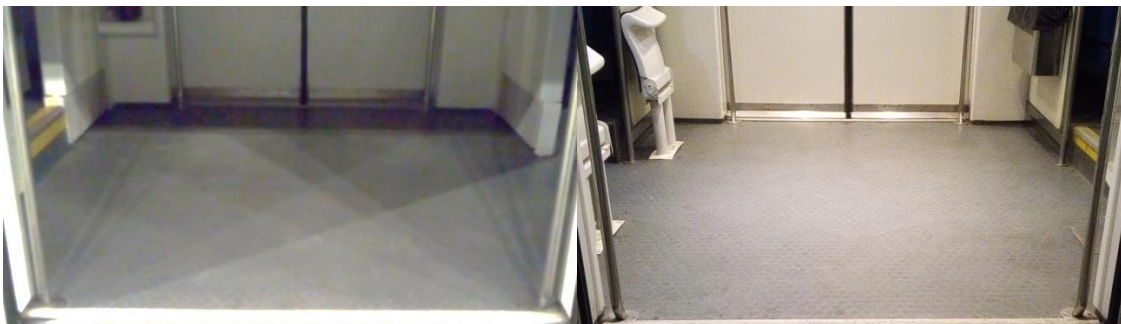


Figura 36. Diferents escenaris del vago de cap o cua del 470.

En aquest cas, podem observar com en valor absolut tenim una llargada de 41 cm i una altura de 42 cm –on hem afegit un incrementarem en 13 cm per poder permetre l'accés també des de les andanes de 55 cm– per superar.

S'ha de remarcar que la llargada real del primer esglaó és lleugerament superior, però com que queda amagada pel sortint del mateix nivell del tren, per aquest motiu, s'ha

considerat l'útil on també podem observar que en aquest comboi tenim l'esglaió unitari més alt.

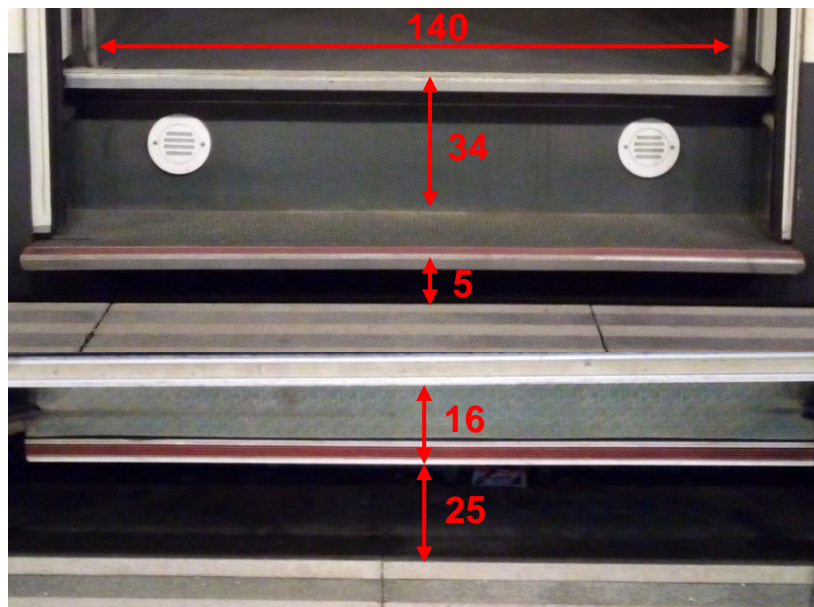


Figura 37. Mides del comboi 470 de l'ample, alçada superior i profunditat inferior d'accés.

A continuació podem observar –Figura 38– la situació de la base del RTPR de forma aproximada, on podem observar que considerarem que sempre hi ha un seient plegable –que quedaria inutilitzat– amb l'objectiu d'estandarditzar i facilitar la col·locació de les línies de seguiment en el seu l'interior.



Figura 38. Interior del 470 amb indicació PMR.

Amb aquesta sèrie, la 470, ja hem introduït i dimensionat totes les sèries que circulen per la xarxa de Rodalies.

Hem pogut comprovar que l'accessibilitat en l'accés al tren està estretament lligada a l'estandardització de les andanes i com, encara que s'arribi al moment on tots els combois disposin de vagó rebaixat on les PMR puguin accedir, l'accessibilitat no serà real si no s'acompanya d'una reforma per part d'ADIF, per tant, el RTPR que plantejarem a continuació seguiria sent funcional i necessari fins que s'arribi a l'accessibilitat completa.

3. PROPOSTA DE VEHICLE AUTÒNOM

Després d'analitzar tant l'estat actual d'accessibilitat com d'assistència d'accés als trens, determinem que és necessari introduir un sistema d'accés que sigui versàtil i autònom que permeti l'embarcament i desembarcament del tren a les PMR independentment de les característiques del tren i l'estació que permeti a RENFE el compliment de la normativa d'accessibilitat.

En el RD 1544, en l'aparat 3.12.1 *Requisits generals* se'ns especifica que quan una porta compatible amb les cadires de rodes s'hagi d'obrir en explotació normal, en una andana d'una estació accessible, s'ha de proporcionar un mitjà auxiliar per a ús entre l'esmentada porta i l'andana, que permeti a un viatger en una cadira de rodes pujar o baixar del tren [2],

La primera solució que vàrem plantejar va ser l'automatització del sistema de plataforma elevadora integrat a l'interior del tren, però va ser descartat perquè: els dispositius integrats haurien de ser específics per a cada comboi, es tracta d'un sistema que en el seu format electromecànic va ser descartat en el comboi 447.

Un altre aspecte que complementa la dificultat d'implementació d'aquest sistema consisteix en el fet que els processos d'adaptació als trens són costosos i només tenim l'antecedent del 447 des de la publicació del RD 1544, on ja hem pogut veure que les propostes de futur és comprar nou material rodant que ja sigui accessible –on ja hem comentat en l'apartat anterior les seves problemàtiques– i no condicionar el material rodant existent o de futura compra que no ho sigui. Per tant, ens fa pensar que els costos de la remodelació no són desitjables per a RENFE i que si és volgués que no afectes la circulació seria un procés de transició molt perllongat.

La segona fou introduir unes rampes a les andanes que permetés l'accés al tren. Tanmateix es va descartar perquè: el nombre d'andanes és superior al nombre de trens, les característiques dels combois són diferents i dificulta la creació d'un sistema que sigui apte per a tots ells, les longituds, també variables, dels combois dificulta que aquesta rampa encaixi amb les portes d'accés, seria necessari una estructura d'obra fixa per poder complir amb la normativa de pendent màxim en els plans inclinats que també variaria segons l'andana i a més a més es tractaria d'un projecte que implicaria la col·laboració entre ADIF i RENFE així com la Generalitat de Catalunya.

Per si no fossin motius suficients, també tenim en el RD 1544 en l'apartat 3.12.2 *Requisits específics per a rampes* [2] se'ns indica que s'ha de desplegar de manera semiautomàtica per mitjans mecànics, accionada pel personal de l'operadora ferroviària on la inclinació d'una rampa ha de tenir un valor màxim del 18% i que aquest valor màxim pot requerir ajuda al viatger.

Podem veure que aquest percentatge no correspon als criteris d'accessibilitat del Decret 135/1995 [38] on el màxim recomanat és del 10% –on per aquest motiu en ser superior ja se'ns indica que la PMR pot “requerir ajuda”– i observem com en aquesta categoria el màxim al qual podem aspirar és al sistema actual en les plataformes elevadores integrades als trens.

Arribats a aquest punt, la solució escollida pretén donar resposta a les problemàtiques sorgides en les propostes anteriors i per tant, com ja hem introduït, volem que amb un únic dispositiu poder accedir a tots els combois, que pugui ser autònom –sense la necessitat d'intervenció del personal de RENFE– on que els criteris de mides i pendents es regeixi per la normativa més restrictiva d'accessibilitat i que es pugui incorporar de manera més immediata possible amb la menor reforma estructural.

La proposta escollida descriu un robot o vehicle mòbil que estarà a l'interior del tren –i que per tant no estarà ni integrat al tren ni a l'andana– que realitzarà de forma autònoma l'embarcament i desembarcament de la PMR en els diferents combois de forma que anirà del tren a l'andana i viceversa.

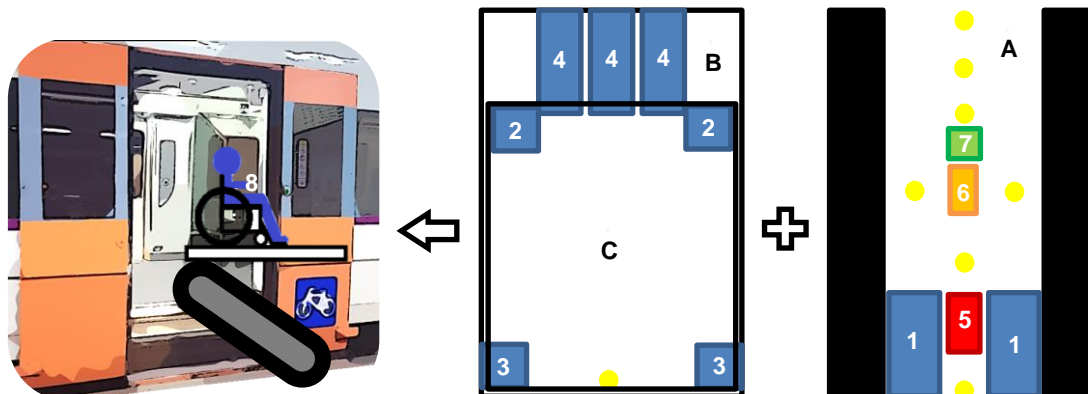


Figura 39. Esquema d'accés i estructura del la solució proposada.

Com es pot observar –Figura 39– la proposta que seguidament descriurem està formada per 3 estructures diferenciades –designades amb lletres– que estan governades per 4 actuadors de potència –representats en blau. També podem veure representats els actuadors de petit senyal –en verd–, l'alimentació –en roig–, el controlador –en carabassa– i finalment –en groc– podem observar també la distribució orientativa dels diferents sensors.

3.1 NORMATIVA REGULADORA

La proposta que hem descrit correspon, com podem observar a la *Tabla D.3 – Robot para el transporte de persona* de l'UNE-EN ISO 13482, a un robot transportador de persones amb rodes [39]

En referència a les dimensions que ha de tenir, podem diferenciar entre les tres estructures de la *Figura 39*, on l'estructura C inicialment havia de ser una rampa retràctil similar a les dels autobusos urbans.

L'inconvenient que ens vam trobar, és que segons les condicions bàsiques d'accessibilitat del CEPAT [40], per a una altura màxima de 350 mm la rampa mínima ha de ser de 800 mm d'ample per 1000 mm de llarg. Tanmateix abans d'aplicar aquestes condicions al RTPR, hem consultat el Decret 135/1995 [38] –i Projecte de Decret que ja s'hauria d'haver aprovat [41]– on podem observar com se'ns representen unes condicions d'accessibilitat més restrictives en l'ANNEX 7, en el punt 7.3.1, on se'ns especifica que el pendent de la rampa per a trams de menys de 3 m, ha de ser màxim del 12% i es recomana que sigui del 10%. L'altura màxima de l'autobús, si es vol complir el decret, hauria de ser de 120 mm, mentre que el pendent que s'assoleix amb l'altura màxima i la llargada mínima de la rampa és del 35%. Si anteriorment amb el 18% de pendent permès en l'accés al tren, la PMR ja necessitava ajuda, la realitat del 35% fa que, si és el cas, deixi de ser funcional i la PMR no pugui baixar o pujar de l'autobús en la parada desitjada.

Per tant, en el nostre cas, on tenim una alçada vertical de similar, concretament de 392

mm –Figura 45– la rampa hauria de ser de més de 3 m, i on el pendent màxim és del 10% i el recomanat del 8%, és a dir, la rampa hauria de ser de 4.9 m o de 3.92 m. Aquestes mesures resulten poc operatives en l'andana i impracticables a l'interior del tren.

Finalment, el sistema d'accés al RTPR augmenta un grau de complexitat i consisteix en una plataforma elevadora. En aquest cas podem observar que les dimensions venen determinades per les mides de la mateixa cadira de rodes [38][41][42] on s'estableix que ha de ser de 800 mm per 1200 mm. Aquestes mateixes mides les podem observar a l'UNE. UNE-EN 1756-2:2005+A1 en la *Tabla 1B* de l'apartat 5.1.1, en la *categoría A* [43]. En aquesta mateixa taula també se'ns indica que ha de poder suportar una càrrega mínima de 300 kg i que la PMR pot ser la pròpia operària de la plataforma elevadora.

En el següent apartat d'aquesta mateixa norma, podem observar que com que el recorregut vertical és menor dels 500 mm, en el nostre cas no és necessari fer ús de les baranes en la pròpia plataforma. Pel que fa a la superfície no lliscant de la plataforma elevadora, ens regirem per l'UNE 111914-13 [44] per a determinar-ho.

En la *Figura 39*, observem amb la lletra A l'estructura del remuntador d'escales que regulada per l'UNE-EN 81-40 i 41 [45]-[47]. Podem veure que en la longitud de la plataforma té la dimensió més restrictiva essent 50 mm més llarga donant un total de 1250 mm, però on la càrrega mínima es redueix a 250 kg [45].

Com que en el nostre cas el remuntador d'escales funciona amb bateria, no s'ha de proporcionar una font d'alimentació específica protegida per un dispositiu de protecció contra corrents residuals i en l'apartat 5.6.2.6 *Sistema de nivelación de la silla*, observem com s'ha de mantenir en un marge de $\pm 5^\circ$ [46][47].

Finalment per aprofundir sobre els criteris de seguretat, podem consultar l'UNE-EN ISO 13849-1 [48], l'UNE-EN ISO 13482-1 [49] i l'UNE-EN ISO 10218-1 [50].

VELOCITAT

La regulació pel que fa a la velocitat de funcionament queda fragmentada en dues parts; la de la plataforma d'elevació i la de circulació.

En el primer cas, la velocitat vertical màxima que pot assolir és de 0.15 m/s [43][46][47]. Aquesta serà la velocitat que s'utilitzarà en tot moment; tant si treballa en buit com en càrrega i tant si el moviment és ascendent com descendent.

La velocitat d'obertura i tancament màxima que pot assolir és de 0.6 m/s [43], com que es tracta d'una velocitat que sempre treballa en buit i el nostre vehicle compta amb sistemes de detecció i detenció del moviment serà la velocitat de treball.

En el segon cas, trobem un rang molt ampli entre la velocitat màxima de circulació de vehicles autònoms, que és de 60 km/h –aprox. 16.67 m/s– [51]²³ i la velocitat màxima de treball en condicions de seguretat per als robots que és de 0.25 m/s [50].

Les cadires elèctriques poden treballar fàcilment en velocitat ràpida, com la del model desenvolupat per Omeo on, tant si es controla mitjançant la palanca de control

²³ Podeu consultar la normativa a: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/G20/087/82/PDF/G2008782.pdf?OpenElement>

(joystick) com el sistema d'autoequilibrat (*self-balancing*), la cadira pot arribar als 20 km/h –5.36 m/s [52].

Pel que fa al cas concret de les cadires elèctriques de conducció autònomes, en el cas de l'empresa japonesa ZMP, que ha desenvolupat un model que permet a la persona usuària seleccionar una destinació de viatge mitjançant una tauleta, la velocitat de treball màxima és de 6 km/h [53]²⁴.

Els robots AGV treballen tant a velocitat lenta com ràpida [54]-[56]. Els AGV bidireccionals comercials consultats treballen a velocitat lenta [57][58].

Finalment, les velocitats dels remuntadors d'escala, són lleugerament més elevats en la pujada que en la baixada, però en tots dos casos és inferior a la velocitat en condicions de seguretat, independentment de si es tracta d'un remuntador per a persones o d'objectes.

En el nostre cas, la velocitat de treball es tracta d'una velocitat lenta²⁵, per tant, ens desmarquem dels vehicles autònoms per assimilar-nos a les cadires elèctriques autònomes.

En els trams inclinats treballarem a una velocitat de seguretat mentre que en els trams rectes ho farem a una velocitat lenta de 0.9 m/s, però en canvi quan s'hagi de realitzar un gir serà lleugerament inferior, de 0.6 m/s. Quan treballem en buit, aquestes velocitats seran superiors, d'aquesta manera reduïrem el temps total de la maniobra i afavorirem al funcionament normal dels trens.

Element	Moviment	Velocitat en càrrega (m/s)	Velocitat en buit (m/s)
Plataforma elevadora	Vertical	0.15	0.15
	Horitzontal	-	0.6
Remuntador d'escals	Horitzontal pla	0.9	1.6
	Horitzontal inclinat	0.2	0.6
	Horitzontal gir	0.6	1.2

Taula 2. Velocitats de treball.

3.2 COMPARATIVA ESTRUCTURES

No hem pogut trobar antecedents de la proposta plantejada, per aquest motiu les comparatives que es realitzen a continuació són emprades en situacions diferents de la concreta de l'accés al servei ferroviari. Per aquest mateix motiu, les diferents estructures s'han buscat per separat perquè no s'ha trobat cap precedent que els integri.

REMUNTADOR D'ESCALES D'ERUGA

Pel que fa a l'estructura –que observàvem amb una A en la *Figura 39*– actualment existeixen dispositius habilitats per a superar les escales de domicilis i establiments i

²⁴ En l'Annex x podeu consultar més exemples de cadires elèctriques de conducció autònoma.

²⁵ Com es recull en la *Nota 3* de l'apartat 6.1.1 *Generalidades* de l'UNE-EN ISO 13482-2014, es considera velocitat "lenta" –fins a 6 km/h [39] –aprox. 1.67 m/s– i es tracta de la velocitat de marxa d'una persona adulta sana.

per tant, serà el primer camp on buscarem el producte que més s'adequa on podem dividir els remuntadors d'escales en tres categories.

Tecnologia	Funcionament	Servei	Model	Angle	Alçada
Mecànics	Assistencial	Persones	300H Mk4	-	-
Elèctrics			STAIR AID SA-3	35°	200 mm
			SHERPA N900	35°	245 mm
			SHERPA N959TM	35°	230 mm
			STAIRMAX	35°	200 mm
	Remot	Objectes	SR 1750 HE	45°	-

Taula 3. Comparativa i característiques dels remuntadors d'escales²⁶.

En la Taula 3, podem observar el recull d'exemples diferenciats dels remuntadors d'escales indicant l'angle màxim d'inclinació i l'alçada màxima de l'esglaó.

Com que els remuntadors d'escales adreçats a persones, estan dissenyats per a habitatges i establiments una de les problemàtiques que ens hem trobat és que l'alçada de l'esglaó màxima acostuma a ser de 200 mm –on suposem que a conseqüència d'alguna regulació arquitectònica d'edificació– i tots els combois als quals volem accedir superen aquesta altura. Tot i que s'ha trobat un model que arriba als 245 mm, segueix sent insuficient per poder accedir a tots els combois.

El segon inconvenient és que els dispositius adreçats al transport de persones no és possible un control remot i en el cas de ser autònom, és necessària la mobilitat del tronc superior i les que tenen un funcionament assistencial i que per tant necessiten una persona externa per al funcionament del mateix remuntador, no deixaria de ser una rèplica del funcionament assistencial que ofereix actualment RENFE i per aquest motiu no els podem considerar una opció vàlida.

Finalment, també hem pogut observar com aquests remuntadors, s'adrecen i s'ajusten a les cadires mecàniques o a les elèctriques, però no hem trobat un remuntador que s'ajusti a les dues cadires.

Altrament, tot i que el principal inconvenient del remuntador d'escales per al transport d'objectes, és justament que no està adaptat al transport de persones, la seva plataforma –un cop ajustada a les mides d'accessibilitat– és apta tant per a les cadires elèctriques com mecàniques, el seu control remot facilita que sigui autònom sense que quedi restringit a la mobilitat del tronc superior i el fet de poder inclinar-se fins a 45° augmenta l'alçada de l'esglaó que pot superar.

Per aquest motiu, el remuntador d'escales escollit és el SR 1750 HE. De totes maneres, amb la finalitat de fer una assimilació a l'angle d'inclinació màxim que tenen els remuntadors d'escales adreçats a les PMR, hem calculat també la longitud que hauria de tenir per poder superar l'accés al tren de forma equivalent a si es pot inclinar fins als 45°.

Per aconseguir-ho, primer vam seguir els consells i procés seguits per en Charles Di Caro-Debizet²⁷, que ens indicava que la longitud del remuntador en la seva màxima inclinació havia de cobrir tres puntes d'escala.

²⁶ Podeu trobar a l'ANNEX D.A. la informació dels productes i un vídeo del funcionament de l'escollit.

²⁷ Podeu veure l'enllaç del procés en qüestió a la secció MUNTATGE DE L'ESTRUCTURA de l'ANNEX C.

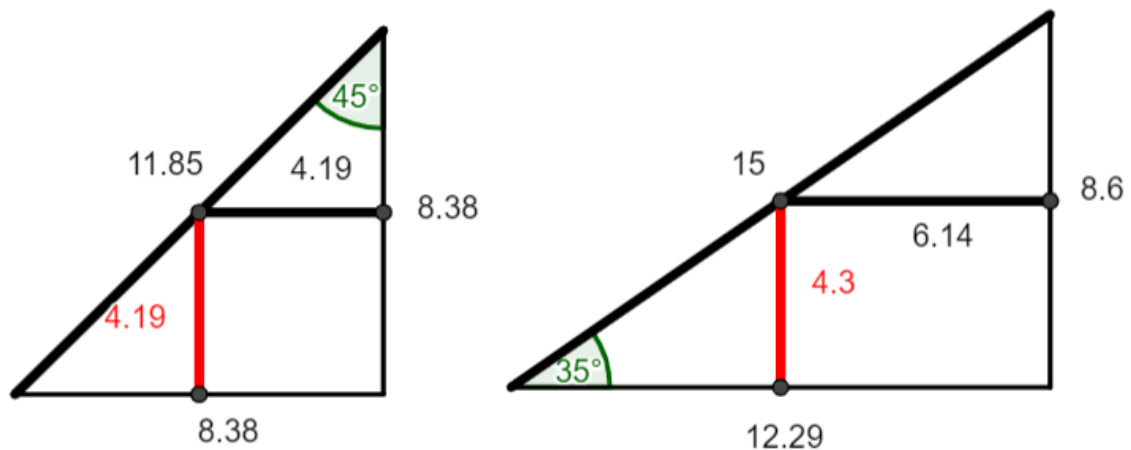


Figura 40. Mides en dm del remuntador segons l'angle d'inclinació.

En la *Figura 40* podem observar la representació orientativa de l'alçada de l'esglaó que es podria superar.

Més endavant vam poder verificar els seus consells [59], on, aquest cas, podem observar més rigorosament la justificació física i mecànica d'aquest funcionament.

PLATAFORMA ELEVADORA

En aquest cas, la mateixa normativa ens fa una classificació de les plataformes elevadores segons els diferents funcionaments en l'*ANEXO A* en l'apartat *A.1 Mecanismes* [43] on, en el nostre cas particular tots ells van dirigits al transport de persones²⁸.

La nostra prioritat, com en el cas anterior, és que no sigui necessària la intervenció d'una persona externa per a l'accionament de la plataforma elevadora, per aquest motiu, les que són un híbrid entre funcionament mecànic i elèctric –com podria ser les plataformes de les figures *A.7* i *A.8* de l'annex en qüestió– quedarien descartades perquè no ens permetrien assolir el nostre objectiu.

Dels sistemes restants, l'únic que no necessita cap instal·lació del mecanisme o suport d'elevació a la plataforma a la qual accedeix –en el nostre cas, la plataforma d'inclinació, en el de l'annex l'interior de la furgoneta– són els sistemes *A.2* i *A.3*, tanmateix, en el cas de l'*A.2* la mateixa plataforma en posició replegada es troba en posició vertical. En el cas de les anteriors la justificació d'exclusió és que farien que augmentarien el dimensionat de la plataforma d'inclinació i per tant dificultaria l'accés al tren per la seva amplada mentre que en aquest darrer –l'*A.2*– si bé l'altura de l'accés al tren no seria un impediment donades les dimensions de la plataforma elevadora, pensem que no seria òptim si en considerem la seva estabilitat i la seguretat per a la PMR durant les maniobres d'embarcament i desembarcament del tren.

Per aquest motiu, el sistema *A.3*, que fa servir el mecanisme del paral·lelogram i que recull la plataforma elevadora sota de la plataforma d'inclinació –sota la furgoneta en l'exemple– ens permet fer la instal·lació més eficient de l'espai que ocupa, sense

²⁸ Podeu observar aquesta classificació i representació d'aquesta a l'*ANNEX D.B.* així com un vídeo del funcionament de l'escollida.

interferir en l'aprofitament de la plataforma d'inclinació, a la vegada que segura per a la mateixa PMR usuària.

Un cop escollit el sistema, s'ha buscat un producte concret que fos apte per al transport de PMR i que l'espai que ocupes en la posició recollida fos la mínima. El producte seleccionat ha estat la plataforma elevadora DH-CH104.03.

PLATAFORMA D'INCLINACIÓ

En aquest cas els requeriments principals per a la plataforma d'inclinació, són el compliment de la normativa en referència a les dimensions accessibles tenint en compte que no s'ha de realitzar cap maniobra de gir, la PMR només efectua moviment d'avenç i de retrocés [38][43] al paviment no lliscant [44] i que sigui capaç de suportar un pes –més restrictiu– de 350 kg [43], on podem veure que totes tres són compartides amb la plataforma elevadora, ja que, en totes dues suporten directament la PMR.

La plataforma d'inclinació que incorpora el remuntador d'escales d'eruga seleccionat, no compleix la normativa pel que fa a les dimensions per al transport d'una PMR i desconeixem les característiques de la seva superfície per saber si és o no lliscant, tanmateix, excedeix la càrrega mínima que estableix la normativa.

Per aquest motiu, es demanaria que s'ajustés la plataforma d'inclinació a les normatives de dimensions i superfície tot mantenint la composició d'aquesta.

3.3 ACTUADORS DE PETITA SENYAL

Els actuadors de petit senyal del nostre robot destinat al transport de persones s'encarreguen d'executar els avisos lumínics i acústics.

El brunzidor del model real ha de produir una intensitat acústica de més de 65 dB i amb una diferència de més de 15 dB respecte al soroll ambiental [60].

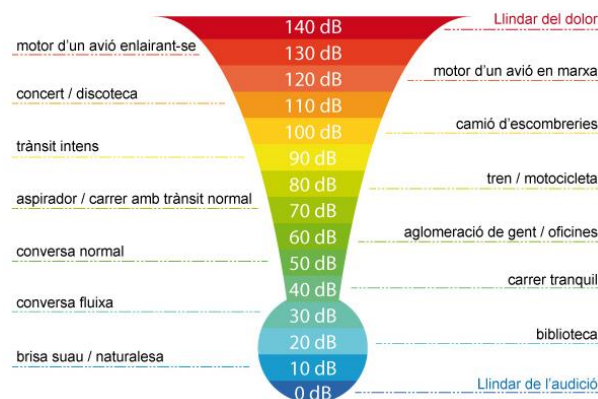


Figura 41. Nivells d'intensitat sonora equivalents de les fonts sonores [61].

Podem veure –Figura 41– com el tren té una intensitat d'entre 80 dB. Hem comprovat que aquest valor correspon a la intensitat ambiental d'una estació transitada un cop el tren més proper està aturat. En el cas d'una estació poc transitada la intensitat

ambiental és de 70 dB²⁹.

Com podem observar a la *Figura 41* ens trobem en una zona de sensibilitat acústica baixa on en l'entorn en el qual ens movem no tenim cap valor límit d'immissió.

Zones de sensibilitat acústica i usos del sòl	Valors límit d'immissió en dB(A)		
	L_d (7 h – 21 h)	L_e (21 h – 23 h)	L_n (23 h – 7 h)
ZONA DE SENSIBILITAT ACÚSTICA BAIXA (C)			
(C3) Àrees del territori afectades per sistemes generals d'infraestructures de transport o altres equipaments públics	-	-	-

L_d , L_e i L_n : índexs d'immissió de soroll en els períodes de dia, vespre i nit, respectivament.

Figura 42. Regulació d'intensitat acústica [62].

Com que el robot emet el senyal acústic quan el tren està aturat la intensitat sonora escollida és de 95 dB, ja que serà audible i tot i poder resultar molesta, no arriba a ser nociva [63] i queda dins de les condicions de la normativa. En el cas que la simultaneïtat de circulació de trens atenués aquest senyal acústic, no hem d'oblidar que sempre anirà acompanyat del senyal lluminós.

En el cas del LED, en el model real també seria necessari produir una intensitat de llum superior, però en aquest cas, s'aconsegueix per mitjà de la quantitat en lloc de la pròpia potencia on en el cas de la intermitència es faria servir l'efecte estroboscòpic³⁰. El color de la llum ha de ser groc o groc ataronjat, ja que segons el codi de colors [64] és el que correspon a la precaució.

Amb la finalitat d'indicar a la PMR la longitud de la plataforma elevadora en la seva posició estesa, s'introdueixen dues projeccions de bandes de llum LED –*Figura 43*– muntades, en el nostre cas, a la part inferior de la plataforma d'inclinació, per marcar la mateixa plataforma i la seva àrea de treball a terra i maximitzar l'avís a altres persones sobre les activitats de càrrega i descàrrega. Aquesta tecnologia utilitza lents òptiques especials dissenyades per emetre un molt intens feix de llum LED, formant unes fortes i molt visibles línies a terra³¹.



Figura 43. Posició i aspecte dels llums de la plataforma elevadora [65].

D'aquesta manera, també facilitaria que la mateixa plataforma pogués estendre's perquè si la PMR es situés en la seva trajectòria, per condicions de seguretat no ho

²⁹ Hem pres l'estació de Barcelona-Sants un dijous feiner cap a les 18.00 h com a transitada i l'estació de Castelldefels Platja un diumenge cap a les 7.45 h com a poc transitada.

³⁰ Modificació aparent del moviment real d'un objecte quan és il·luminat intermitentment a intervals apropiats.

³¹ El primer cop que consultarem el producte no incorporava el conjunt amb els LED del lateral, podeu consultar més informació a: <http://www.dhollandia.be/ES/es/196/Visibilidad-de-la-plataforma-y-su-zona-de-trabajo>

faria.

Per augmentar la seguretat de la plataforma, ja que es troba en un ambient transitat, afegirem un conjunt de 12 LED a la part frontal –en la *Figura 43* es remarca amb línia discontinua el perímetre aproximat de la seva posició– de la plataforma.

Per escollir el consum d'aquest conjunt, agafem com a referència la llum d'emergència V16, ja que té una finalitat clara de seguretat i visibilització que està homologada. Per tant, el nostre conjunt tindrà un consum total de 1.5 W³² i proporcionarà més de 42 cd, que equivaldria a 42 luxs a 1 m de distància o bé a gairebé 264 lm si considerem un angle d'obertura de 180°.

En la part frontal i posterior així com en els laterals del RTPR també distribuïrem aquests conjunts.

Podem observar com, els criteris de seguretat de la mateixa plataforma són més restrictius que els d'enllumenat on se'ns indica que en el punt d'embarca manent s'ha de proporcionar una il·luminació mínima de 50 luxs [47], ja que, un sol conjunt ja en fa 42.

3.4 ACTUADORS DE POTÈNCIA

Tant la plataforma retràctil i elevadora com la base de l'eruga amb la plataforma d'inclinació, compten amb un sistema híbrid com a actuadors. En el nostre disseny, considerem que les forces a exercir es poden realitzar únicament amb sistemes elèctrics sense la necessitat d'instal·lar els sistemes hidràulics, on d'aquesta manera reduïm el manteniment i simplifiquem el seu funcionament.

Com que desconeixem detalladament quins són els elements utilitzats per a la motorització de cada producte seleccionat i amb la substitució del sistema híbrid per l'elèctric, en cada cas, personalitzem a la nostra realitat i fem el càlcul mecànic i elèctric així com la selecció de components de cada part.

Una de les problemàtiques que hem de considerar és que el nostre RTPR no bolqui en el seu punt més crític que és quan la PMR es troba en la posició més elevada i estesa.

Plantegem tres possibles escenaris amb diferents equilibris de forces per valorar quin és l'òptim.

A continuació mostrem els càlculs considerant que hem aplicat la modificació estructural en el remuntador d'escales –amb la finalitat de reduir l'angle d'inclinació dels 45° als 35°– i en aquest cas podem observar com la longitud total és de 1500 mm en lloc dels 1185.

³² Podeu consultar un exemple de fitxa tècnica d'una llum V16 homologada a: <https://descargas.cetronic.es/999536000.pdf>

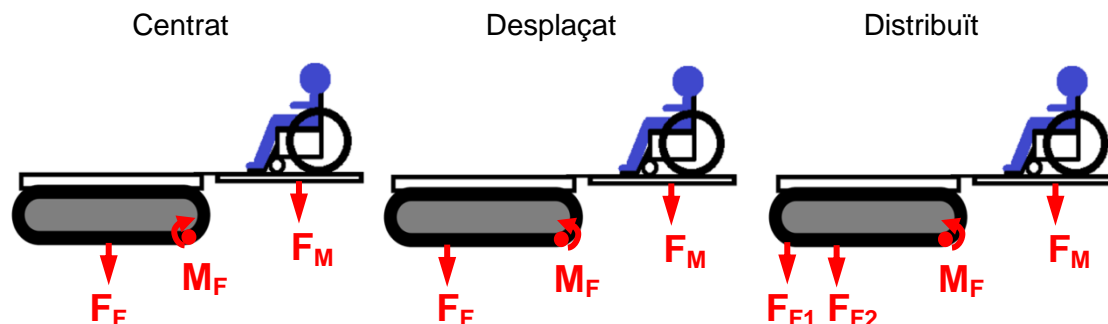


Figura 44. Representació dels 3 casos de distribució de forces.

Pel que fa a les magnituds de les forces, diferenciar entre la dels elements fixos i la dels elements mòbils.

$$F_F = (M_r + 0.25 \cdot M_p + M_e) \cdot g \text{ N}$$

Equació 1.

On:

- F_F : força elements fixos
- M_r : massa del remuntador
- M_p : massa de la plataforma elevadora
- M_c : massa de la càrrega
- M_e : massa de la resta d'elements

La força dels elements fixos F_F és comuna en els tres casos, on; en el cas on les forces estan centrades i on estan desplaçades i pren directament el valor de 2918.5 mentre que quan estan distribuïdes equival al valor del sumatori de les dues forces on se separa la força exercida per la M_e –expressada com a F_{F1} amb valor de 490.5 N– de la resta –de 2428.0 N com a F_{F2} .

$$F_M = (M_c + 0.25 \cdot M_p) \cdot g \text{ N}$$

Equació 2.

On:

- F_M : força elements mòbils
- M_p : massa de la plataforma elevadora
- M_c : massa de la càrrega

La força dels elements mòbils F_M és comuna en els tres casos sense distinció i pren un valor de 5076.7 N.

El nostre objectiu és evitar el bolcament del RTPR que podria ser causat per la F_M en el cas de generar un moment superior a l'exercit per la F_F .

	Centrat		Desplaçat		Distribuït	
	d (cm)	M_F (N·m)	d (cm)	M_F (N·m)	d (cm)	M_F (N·m)
FF1	75.0	2188.9	112.5	3283.3	150.0	735.8
FF2					112.5	2731.5
FM	60.0	3041.6	60.0	3041.6	60.0	3041.6

Taula 4. Característiques mecàniques de les 3 distribucions.

Podem observar com en el cas on les forces estan centrades, la F_M provocaria un moment lleugerament més gran i podria provocar una rotació en sentit horari, per tant,

provocar el bolcament.

Tant en el cas de les forces desplaçades com distribuïdes, és la F_F qui provoca un moment lleugerament més gran i no es produiria el bolcament, ja que la rotació hipotètica seria en sentit antihorari, però com que es troba en contacte amb el terra es mantindrà en equilibri.

Finalment, decidim distribuir les masses de la F_F desplaçades, ja que aconseguim evitar el bolcament i no dificultem tant com en el cas de les forces desplaçades, quan ens toqui treballa en les diferents situacions dinàmiques on el contrapès podria produir sobrecarregues en els motors.

En el cas calculat hem desplaçat el centre de les masses un 25%, però podria estar desplaçat un 19.5 % –donant un moment de 3042.5 N·m i ja evitaríem el bolcament.

Si finalment decidíssim aplicar les mesures originals del remuntador d'escales de 1185 mm de llarg, s'hauria d'escalar els resultats obtinguts.

3.4.1 MOTORS DE TRACCIÓ

CÀLCULS DE POTÈNCIA

Són els encarregats del moviment del RTPR, per tant, es tracta del motor de més potència.

Per poder calcular la tracció necessària, hem considerat els quatre casos en els quals es pot trobar, a continuació es desenvolupen els càlculs quan el RTPR treballa amb càrrega i en un pla inclinat, és a dir, quan està realitzant la maniobra d'accés al tren amb la PMR a sobre. Els valors dels tres casos restants es poden observar a la *Taula 5*.

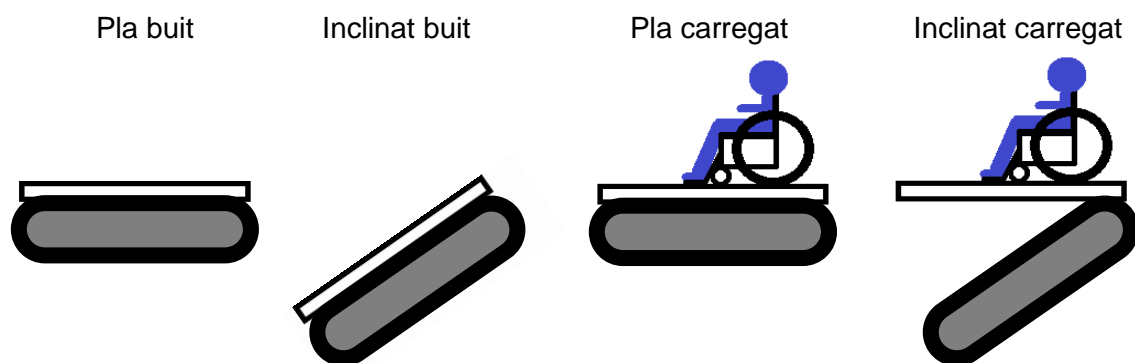


Figura 45. Representació dels 4 casos diferenciats de treball del motor de tracció.

Primer calcularem la massa M , que es tracta de la massa total del RTPR.

$$M = M_r + M_p + M_c + M_e \text{ kg}$$

Equació 3.

On:

M : massa total RTPR

M_r : massa del remuntador

M_p : massa de la plataforma elevadora
 M_c : massa de la càrrega
 M_e : massa de la resta d'elements

La massa del remuntador d'escales –que inclou la plataforma anivelladora– que s'ha escollit és de 175 kg, mentre que la massa de la plataforma elevadora és de 290 kg³³. En el cas de la massa de la càrrega equival al de la PMR, on hem considerat de 300 kg, ja que s'ha de considerar tant el pes de la persona com de la cadira –que pot ser elèctrica i pesar perfectament 150 kg– i es tracta de la càrrega mínima que han de suportar les plataformes elevadores [44]. En la massa de la resta d'elements queden inclosos els elements d'unió de les anteriors així com la bateria i totes les seves connexions que hem fixat a 50 kg. Finalment el valor de la massa total és de 815 kg.

Els accionaments dissenyats són elèctrics, mentre que els dels models escollits són hidràulics. Com que el pes proporcionat és de tot el conjunt, la diferència fa que treballem amb uns valors sobredimensionats amb la finalitat de no fer treballar els motors en condicions de plena càrrega i d'aquesta manera vetllar per una major durabilitat.

Un cop trobada la M , podem calcular la força de fregament. Si el fregament s'oposa al lliscament d'una superfície sobre l'altra, s'anomena fregament de lliscament; si s'oposa al rodolament d'una superfície sobre l'altra, rep el nom de fregament de rodolament. Per tant, en el nostre cas es tracta de la força de fregament de rodolament o senzillament força de rodolament. Quan un cos rodola sobre un altre, la força que s'oposa al rodolament es pot expressar en funció de dos tipus de coeficient de fregament per rodolament; l'adimensional, que és el que hem fet servir i el que té dimensions de longitud i depèn del radi.

$$F_R = \mu_R \cdot M \cdot g \quad \text{N}$$

Equació 4.

On:

F_R : força de rodolament
 μ_R : coeficient de rodolament
 M : massa total robot
 g : acceleració de la gravetat

El valor del coeficient de rodolament, μ_R en aquest cas considerat sobre les escales, és de 0.166 [59]. Podem observar que és un valor superior al que podria tenir una roda convencional d'un automòbil en una superfície lliscant [66], aquesta resistència afegida és intencionada perquè aquest tipus de locomoció, el d'eruga, busca reduir el lliscament per poder superar l'esglaó.

L'acceleració de la gravetat g és un valor conegut i per als càlculs d'aquest treball prendrem el valor amb dos decimals sent, per tant, de 9.81 m/s².

El valor que pren la força de rodolament és de 1279.2 N.

La força aerodinàmica es la força resistent, en el nostre cas de l'aire, al moviment del RTPR i la podem calcular com:

$$F_A = \frac{1}{2} \cdot A \cdot C_p \cdot \rho \cdot v^2 \quad \text{N}$$

Equació 5.

³³ Aquest valor ha estat proporcionat en trucar al 626 869 466 que és el número de mòbil al qual em van redirigir en trucar al de contacte de DHOLLANDIA Barcelona, el 937 180 994.

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
 Laia Sánchez Tolo

On:

- F_A : força aerodinàmica
- A : àrea frontal del robot
- C_p : coeficient aerodinàmic
- ρ : densitat de l'aire
- v : velocitat

Per calcular l'àrea hem agafat els perfils dels dos elements mòbils que controlem, tot i que s'expressen en tres degut a la intercalació de la plataforma retràctil, i el de la PMR.

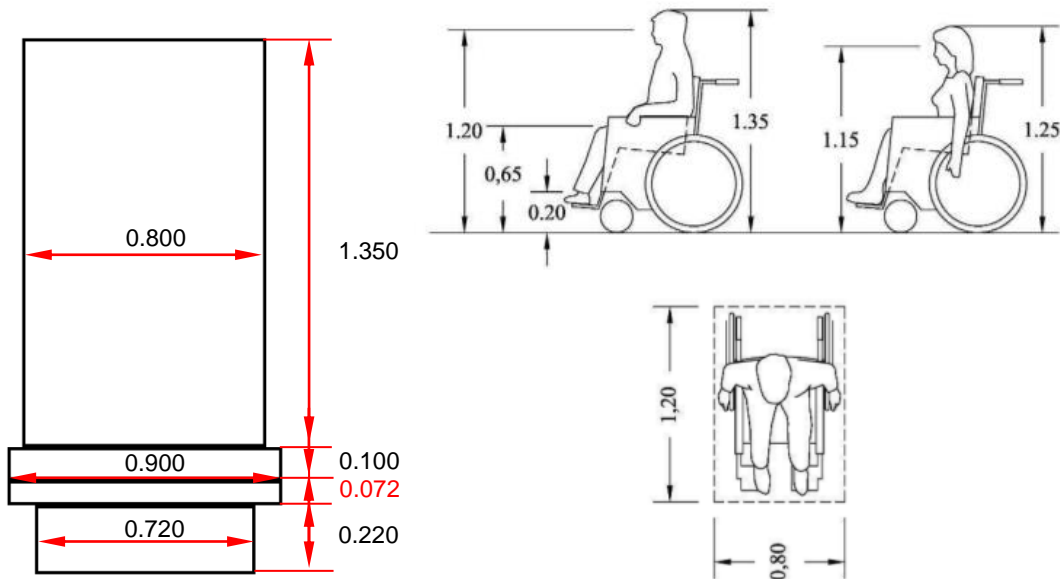


Figura 46. A la dreta el perfil de tot el robot i a l'esquerra les dimensions de una PMR [41].

Com podem observar les mesures més restrictives pel que fa a les PMR són les de les cadires de rodes mecàniques [41]³⁴. Si tot simplificant, considerem tots els perfils com a rectangles i calculem la suma de les seves àrees –fent el producte entre el costat vertical i l'horitzontal– obtenim una àrea frontal A de 1.39 m².

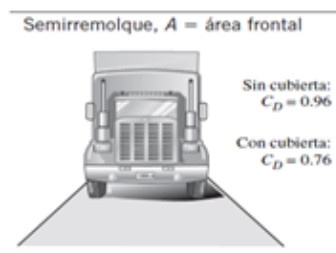


Figura 47. Coeficient aerodinàmic escollit [67].

En el cas del coeficient aerodinàmic C_p considerem que té una geometria equivalent a un semiremolc amb coberta i per tant te un valor de 0.76.

Finalment, la velocitat és la nostra velocitat màxima que com es pot observar a la Taula 2 és de 1.60 m/s.

³⁴ Ha estat necessari consultar el projecte decret, ja que, ni el decret ni la normativa vigents actuals no contempen cap mida pel qual fa a les cadires elèctriques.

Per tant, si substituïm els valors a l'Equació 5, on densitat de l'aire³⁵ és una constant i val 1.20 kg/m^3 , obtenim una força aerodinàmica de 1.02 N . Podem observar com la velocitat és el factor més determinant d'aquesta força, ja que es mostra com a producte quadràtic; mentre que per als vehicles convencionals és una força rellevant i en el cas dels vehicles de carreres és determinant, en el nostre cas, com que es desplaça a una velocitat lenta és pràcticament insignificant.

$$F_G = M \cdot g \cdot \sin \alpha \text{ N}$$

Equació 6.

On:

F_G : força gravitatòria
 M : massa total robot
 α : angle d'inclinació
 g : acceleració de la gravetat

L'angle α és l'angle del màxim pendent en què es pot trobar el robot i és de 45° , per tant, la força gravitatòria és de 5653.4 N .

La força de tracció F_T del motor serà la suma de les forces resistives descrites

$$F_T = F_R + F_A + F_G \text{ N}$$

Equació 7.

On:

F_T : força de tracció
 F_G : força gravitatòria
 F_A : força aerodinàmica
 F_R : força de rodolament

El sumatori de forces dona com a resultat una força de tracció F_T de 6933.7 N .

$$P_T = F_T \cdot v_T \text{ W}$$

Equació 8.

On:

P_T : potència de tracció
 F_T : força de tracció
 v_T : velocitat de tracció

El producte de la força de tracció F_T i la velocitat de tracció v_T que en aquest cas es tracta de la velocitat mínima del remuntador d'escales, dona com a resultat una potència de tracció P_T de 2190.9 W , però com que estarà desenvolupat per dos motors, la potència necessària serà de la meitat, de 1314.5 W .

³⁵ A 20°C i $101,325 \text{ kPa}$, l'aire sec.

	Pla		Inclinat	
	Buit	carregat	Carregat	Buit
F_G (N)	440.3	696.8	5653.4	3572.4
F_A (N)	1.02	1.02	1.02	1.02
F_R (N)	808.3	1279.2	1279.2	808.3
v_T (m/s)	1.60	0.90	0.20	0.60
F_T/2 (N)	624.8	988.5	3466.8	2190.9
P_T/2 (W)	999.8	889.7	693.4	1314.5
Ω (rad/s)	8.901	5.027	1.15	3.35
T (N/m)	112.3	177.0	601.9	392.3
ω (rpm)	85	48	11	32

Taula 5. Característiques mecàniques de les 4 condicions de treball.

SELECCIÓ DE COMPONENTS

Podem observar com la velocitat fa que el cas en què treballa inclinat i buit és el que més potència necessita i, en canvi, quan treballa carregat és el cas que menys. En les situacions intermèdies tenim els casos de treball en pla on es actua amb les velocitats més elevades sempre dins de les velocitats lentes.

Per fer front aquest rang de velocitats –on la més ràpida és gairebé 8 vegades la més lenta– i potències la primera opció plantejada havia estat sobredimensionar el motor, tanmateix, això comportava un sobrecost i sobrepès que no compensava.

En segona opció, ens hem plantejat fer servir un motor de doble bobinat, però si bé aconseguíem acotar el rang de potència, seguíem carregant un sobrepès i afegíem una construcció en desús que requereix un manteniment més constant.

Finalment, hem escollit³⁶ el motorreductor KS073-14P-80-04F-TH-TF, que ens permet treballar a una freqüència variable, per mitjà d'un convertidor fa variar de forma ràpida la potència i la velocitat sense la necessitat de sobredimensionar el motor ni duplicar el bobinat.

En el cas on treballem en pendent i buit correspondria a la freqüència de 100 Hz on en lloc de treballar a 93 rpm reduiríem fins a 32 rpm, en pla treballaríem a 60 Hz i en lloc de 73 rpm augmentaríem fins a 85 rpm o reduiríem a 48 rpm i finalment en pendent i càrrega la freqüència seria de 50 Hz i de 46 rpm reduiríem fins a 11 rpm.

³⁶ Podeu consultar també el catàleg de SEW EURODRIVE com a alternativa a <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11230126.pdf>. Aquesta empresa també permet personalitzar el motor per a que s'ajusti a les necessitat requerides.

Freqüència (Hz)	50	60	100
Tensió (V) (DD/YY)	115/ 200	132/ 230	230/ 400
Potència (W)	750	1100	1500
Parell (N·m)	154	145	154
Velocitat (rpm)	46	73	93
Pes (kg)	59.6		

Taula 6. Característiques del motor

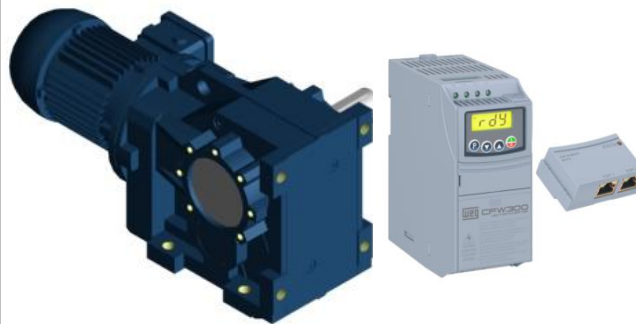


Figura 48. Motorreductor³⁷ i convertidor de freqüència escollits [68].

El convertidor de freqüència escollit és el CFW300A06P0T2NB20 i es pot connectar per Ethernet i la comunicació es farà per mitjà de paquets de dades que s'enviarà des de l'ESP32 de forma equivalent a si el control es realitzes, de forma presencial, per mitjà de la pròpia botonera que incorpora.

3.4.2 MOTORS D'ELEVACIÓ

CÀLCULS DE POTÈNCIA

Es tracta dels motors encarregats d'articular el paral·lelogram que s'encarrega de l'accés a la PMR a la plataforma del RTPR. La seva posició de repòs és horitzontal, és a dir les barres articulades a 0° d'aquesta manera, permet l'extensió i replegament a la part inferior del RTPR.

La plataforma elevadora treballa tant sentit positiu com negatiu en l'eix de les Z de la seva posició de repòs, per poder facilitar l'accés primer va a la seva posició negativa màxima i un cop la PMR es troba sobre la plataforma elevadora, s'eleva fins a la seva altura màxima. Finalment, quan la PMR es troba sobre la plataforma, aleshores torna a la seva posició de repòs per poder replegar-se de forma solidària per mitjà de la guia corredissa.

Si repliquem l'Equació 6 on en aquest cas la massa M és màxima amb la suma de la massa de la plataforma elevadora retràctil M_r , –podem observar a la Figura 42 com només s'eleva aquesta part– que considerem que suposa 3/4 parts, és a dir el 75% del pes de M_p i la massa de la càrrega M_c . Sent el pes de la M_r de 217.5 kg, la massa M pren el valor de 517.50 kg. La plataforma treballa sempre plana, per tant, l'angle d'inclinació α val 90°, com que l'acceleració de la gravetat g és constant, podem trobar que la força gravitatòria és de 5076.68 N.

$$T = F_G \cdot l \cdot \sin \beta \text{ N}\cdot\text{m}$$

Equació 9.

³⁷ La caixa de connexió en el nostre cas, està situada en l'altre lateral del motor. Disponible a: <https://cat4cad.wattdrive.com/cat4cad3/>.

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren Laia Sánchez Tolo

On:

- F_G : força gravitatòria
- l : longitud de la barra
- α : angle d'acoblament

El motor treballa en una barra articulada i en aquest cas, el parell motor T serà qui determinarà el seu dimensionament.

L'acoblament es troba en l'extrem de la barra, la distància serà la mateixa longitud de la barra l i l'angle d'acoblament és de 90° perquè és perpendicular.

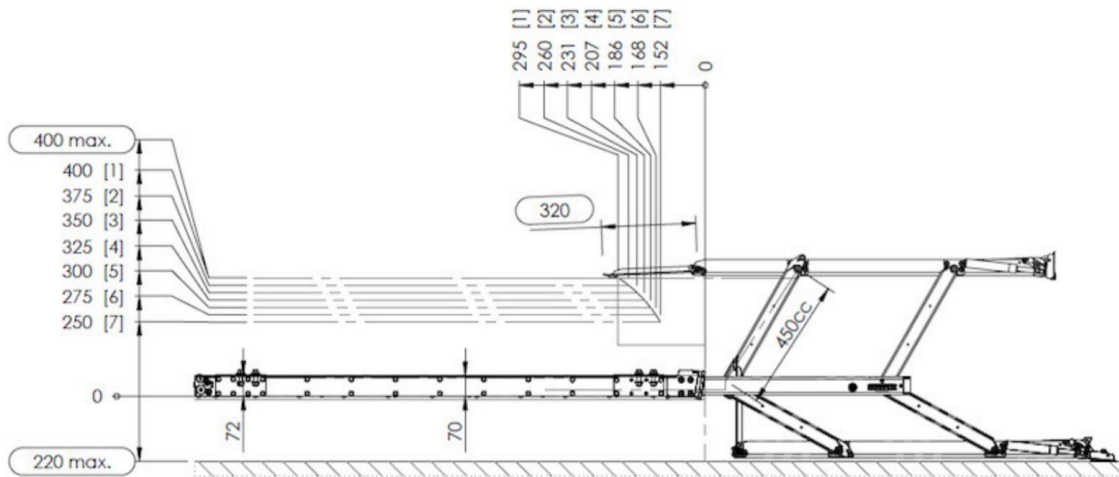


Figura 49. Cotes de la plataforma elevadora [69].

En la *Figura 49* podem observar que la longitud de la barra l és de 0.45 m. Si substituïm aquests valors a l'*Equació 9*, trobem que el parell motor T és de 2284.5 N·m.

Per a la selecció d'aquest motor, com que l'espai és reduït i es necessita precisió s'ha decidit fer servir un motor pas a pas híbrid, ja que també podem observar com les condicions de treball del motor, fa que treballem a velocitats molt baixes, però que requereix un parell motor elevat i els motors pas a pas convencionals no ens les poden proporcionar.

Com que la força que pot exercir un motor és menor a la dels accionaments lineals s'ha decidit accionar la plataforma elevadora per dos motors, un a cada extrem, el parell motor T de cada motor serà de la meitat i per tant de 761.5 N·m.

Finalment, si substituïm l'*Equació 8* on la velocitat d'elevació v_e és 0.15 m/s trobem que la potència d'elevació P_e és de 761.5 W.

A continuació –*Taula 6*– podem veure recollits diferents motors, tan híbrids com pas a pas, on s'ha calculat la relació necessària per a realitzar el parell motor necessari i també la velocitat de sortida.

El primer criteri que s'ha seguit per fer la comparativa ha estat que en les característiques del motor es pogués observar gràficament la relació entre el parell i la velocitat, ja que és necessari conèixer-la per analitzar les condicions òptimes de treball, sobretot perquè en el cas que aquesta relació no es proporcionava es donava

la velocitat nominal i el parell màxim, que es troben en punts diferents de treball. També ens ha permès poder calcular la potència útil –l'Equació 12– un cop convertida la velocitat a rad/s –l'Equació 11– perquè, en el cas tant dels motors pas a pas com dels servomotors híbrids és una dada que no s'acostuma a indicar. D'aquesta manera hem establert el segon criteri, que ha estat descartar els motors amb potència útil trobada inferior a la necessària.

En alguns casos la velocitat del motor s'expressava en PPS –o kPPS– on ha estat necessari convertir-ho en rpm segons la següent equació. On l'angle de pas α , és el que es fa en cada pols per segon que convertim a minuts i a revolucions.

$$w = w_p \cdot \frac{\alpha \cdot 60}{360} \text{ rpm}$$

Equació 10.

On:

w : velocitat angular del motor (en rpm)
 w_p : velocitat angular del motor (en pps)
 α : angle de pas (en °)

$$\Omega = w \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \text{ rad/s}$$

Equació 11.

On:

Ω : velocitat angular del motor (en rad/s)
 w : velocitat angular del motor (en rpm)

$$P_u = T \cdot \Omega \text{ W}$$

Equació 12.

On:

P_u : potència útil
 T : parell motor
 Ω : velocitat

SELECCIÓ DE COMPONENTS

S'ha recollit tant motors de catàleg de fabricants com d'empreses distribuïdores o de comerç.

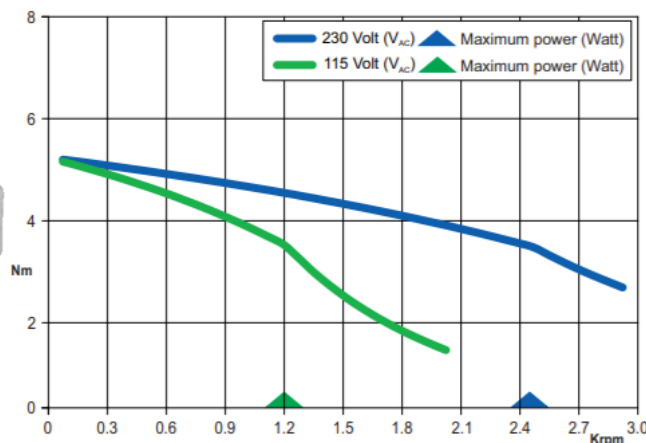
Model	Mida (mm)	Tipus	Potència (W)	Velocitat (rpm)		Parell (N·m)		Relació	
				E	S	E	S	E	S
130BYG 350D	NEMA 52 x280	Híbrid	1047.20 (220 AC)	200	4.348	50	2300	1	46
			9634.22 (220 AC)	2000	40	46	2300	1	50
110HCE 221- 4203A19 -B39	NEMA 42 x221	Híbrid	1884.96 (220 AC)	1500	7.813	12	2304	1	192
			2356.19 (220 AC)	2250	9.783	10	2300	1	230
LC31122	NEMA 42 x216	Híbrid	2513.27 (220 AC)	1200	10.43	20	2300	1	115
R2AAB8 100HXH 29M	86x86 x137	Híbrid	999.03 (230 AC)	3000	4.138	3.18	2305.5	1	725
Q2CA22 700H	220x220 x310	Híbrid	6995.28 (400 AC)	2000	28.99	33.4	2304.5	1	69
Q2CA22 15KVXS 00M	220x220 x394	Híbrid	15001.10 (400 AC)	1500	61.98	95.5	2311.1	1	24.2
SM 2862- 5155	NEMA 34 x 96.5	PaP	907.13 (230 AC)	2475	3.750	3.5	2310	1	660
SM 2863- 5155	NEMA 34 x 127	PaP	918.92 (230 AC)	1950	3.786	4.5	2317.5	1	515
103- H89222- 6341	106.4x10 6.4x163	PaP	1445.13 (230 AC)	1725	5.990	8	2304	1	288
103- H89222- 6541		PaP	1382.30 (180 DC)	1650	5.729				
103- H89223- 6341	106.4x10 6.4x221	PaP	1696.46 (180 DC)	1350	7.031	12	2304	1	192
103- H89223- 6641			1696.46 (180 AC)						

Taula 7. Comparativa motors d'elevació.

Podem observar com els motors que estan sobredimensionats en potencia, són els que necessiten una relació de reducció menor perquè parteixen d'un parell més elevat. També podem afirmar com és més eficient treballar a una velocitat mitjana que a una velocitat baixa amb el parell màxim.

Finalment, el motor que més s'adapta a les nostres necessitats és el SM 2862-5155. Perquè, tot i tenir una relació de transmissió elevada, és el motor de dimensions més reduïdes, per tant, el més compacte i que ens aporta la potència necessària a més de tenir la precisió d'un motor PaP.

Tensió (V_{AC})	230
Potència (W)	907.13
Parell (N·m)	3.5
Velocitat (rpm)	2475



Taula 8. Característiques del motor.

Figura 50. Aspecte, característiques i corba parell-velocitat del motor PaP [70].

Per conèixer la velocitat lineal a la que anirà la plataforma hem de considerar la distància en que la barra s'acoba a la plataforma, com que es tracta del punt final considerem la longitud total de la barra.

$$v = \Omega \cdot r \text{ m/s}$$

Equació 13.

On:

- v : velocitat lineal de la plataforma
- Ω : velocitat angular del motor
- r : longitud de la barra

Per poder accionar el motor PaP es farà servir el controlador X-PLUS C4.1 que podem controlar des de la mateixa placa controladora i que s'adequa –ANNEX E.C– a les condicions de treball del motor PaP.



Figura 51. Aspecte de les E/S del controlador del motor PaP [71].

REDUCTORA DEL MOTOR

Per aconseguir la relació desitjada s'ha decidit de fer servir etapes planetàries³⁸ que ens ofereixen una relació –en el nostre cas de reducció– elevada amb un espai reduït, on també considerem de fer una primera etapa paral·lela.

³⁸ Per a més informació sobre càlculs i disseny vegeu l'ANNEX I, a la secció ENGRANATGES.

Etapas				Relació	T (N·m)	w (rad/s)	V (m/s)
1 paral·lela	2 planetària	3 planetària	4 Planetària				
1:1	1:8	1:9	1:9	1:648	2268	0.400	0.180
1:3	1:6	1:6	1:6				
6:7	1:7	1:9	1:9	2:1323	2315.5	0.392	0.176
2:3	1:7	1:8	1:8	1:672	2352	0.386	0.174
3:4			1:9				
6:7	1:8						
1:2	1:7	1:7	1:7	1:686	2401	0.3778	0.170
1:1	1:9	1:9	1:9	1:738	2551.5	0.356	0.160
1 planetària	2 planetària	3 planetària	4 planetària				
3:8 1:26	1:6	1:6	1:7	1:672	2352	0.386	0.174
50:157 1:3.14	1:6	1:6	1:6	25:16956 1:678.24	2373.8	0.382	0.172
4:11	1:6	1:6	1:7	1:693	2352	0.386	0.168
2:7	1:6	1:6	1:6	1:756	2646	0.343	0.154

Taula 9. Comparativa de la composició de les etapes de reducció.

Tot i que per aconseguir el parell motor necessari amb una relació d'1:660 seria suficient, podem observar com la velocitat de sortida és superior a la velocitat que necessitem a conseqüència del fet que la potència del motor s'ha sobredimensionat.

La velocitat de treball és un paràmetre que ens estableix la normativa i per aquest motiu la relació que escollit és la que més s'ajusta a la velocitat màxima.



Figura 52. Alçat, perfil esquerra i dret de la caixa reductora.

La reductora amb relació 1:756 té com a inconvenient el nombre d'engrenatges que necessita així com el pes que comporta, però que el parell motor pot assumir sense sobrecarregar-se. Altrament, té l'avantatge del fet que no compta amb una etapa paral·lela, i en conseqüència la transmissió no es desplaça de l'eix del motor alhora que permet quedar recollit en un espai més compacte on també ho afavoreix que la relació de cada etapa planetària en ser més petita també ho és la mida de la corona, per tant, l'espai que ocupa.



Figura 53. Vista ortogonal de les diferents etapes reductores.

A continuació podem observar –Taula 10– les característiques de la caixa reductora escollida.

		1	2	3	4
Etapes		1	2	3	4
Relació		2:7	1:6		
Planeta	Nre. de dents	28	12		
	Ø primitiu				
	Ø exterior	25.46	13.48		
Portasatèl·lit	Ø eix	14	8		
Satèl·lit	Nre. de dents	18	24		
	Ø primitiu				
	Ø exterior	19.47	25.46		
	Nre.		3		
Corona	Ø eix		10		
	Nre. de dents		60		
	Ø primitiu				
	Ø exterior		69.98		
Profunditat engranatges			3		

Taula 10. Característiques de la caixa reductora expressada en cm.

3.4.3 MOTORS DEL MECANISME RETRÀCTIL

CÀLCULS DE POTÈNCIA

En aquest cas la plataforma sempre treballa en buit i pla, per tant, només considerarem la massa de la plataforma elevadora retràctil M_r per al càlcul. A partir de

l'Equació 6 on l'angle d'inclinació α val 90° , podem trobar que la força gravitatòria és de 2133.68 N, que és la força equivalent a la força del mecanisme retràctil F_R .

La potència del mecanisme retràctil necessària és de 1280.21 W i s'obté a partir de l'Equació 8, on, en aquest cas la velocitat màxima –com es pot veure a la Taula 2– és de 0.6 m/s i és el resultat del producte amb la força del mecanisme retràctil F_R . Tanmateix, si es disposa de dos motors, la potència de cadascun d'ells serà de la meitat i per tant 640.10 W.

SELECCIÓ DE COMPONENTS

En aquest cas com que el radi que ens permet calcular el parell motor depèn de l'engranatge final del motor i per aquest motiu, hem seleccionat un motor que compleixi els requeriments de potència.

El motor seleccionat és el MV05. Es tracta d'un motor que està pensat per les portes corredores, que com en el nostre cas necessita aplicar un parell reductor per poder suportar el pes i també treballa a velocitat reduïda per seguretat.

Una de les dificultats que hem trobat ha estat per una part trobar motors de la potència requerida i per l'altra interpretar el valor de la força que pot desenvolupar, ja que en els catàlegs buscats no s'expressa el parell.

Freqüència (Hz)	50
Tensió (V)	110
Potència (W)	700
Velocitat (m/min)	12
Pes (kg)	25.55
Pes màxim suportat (kg)	2000
Tipus d'engranatge	M4 Z19
Mida engranatge (mm)	12

Taula 11. Característiques del motor [72].



Figura 54. Aspecte del motor pinyó cremallera [72].

A partir del nombre de dents Z i del mòdul M , podem trobar directament el diàmetre primitiu de l'engranatge que és de 76 mm on el diàmetre exterior és 87.5 mm.

A partir de l'Equació 13 on el r és 0.038 m –la meitat del diàmetre primitiu– i calculem que Ω desitjada val 15.79 rad/s.

A continuació –Taula 12– recollim els valors de velocitat i parell tant en el cas teòric com en el del motor seleccionat on afegim la possibilitat de reajustar la relació calculada a partir de l'Equació 11 i l'Equació 12.

Podem observar com la velocitat és de 0.2 m/s, que és tres vegades més petita que la velocitat màxima a la qual podem treballar. En aquest cas si apliquem la relació 1:3, per poder obtenir la velocitat màxima, hem de tenir en compte de mantenir M i Z de

l'engrenatge de transmissió amb la cremallera, per tant, el que s'hauria de modificar és la caixa reductora que porta incorporada.

		MV05		Teòric
Relació		1:1	1:3	1:1
Potència (W)		700.00	700.00	640.10
Parell (N·m)		133.00	44.33	40.54
Velocitat	(rpm)	50.26	150.78	150.78
	(rad/s)	5.26	15.79	15.79
	(m/s)	0.2	0.6	0.6

Taula 12. Característiques calculades del motor pinyó cremallera.

3.4.4 MOTORS D'INCLINACIÓ

CÀLCULS DE POTÈNCIA

Per trobar la potència necessària hem de considerar tant la massa de la PMR així com la massa de la plataforma anivelladora, que considerarem que és la meitat de la M_r – sent l'alta meitat corresponent al remuntador d'escapes entès com la base mòbil– i per tant de 87.50 kg, on el sumatori de les dues dona com a resultat 437.50 kg.

En aquest cas la força a superar és la F_G , si substituïm l'Equació 4 on α val 90° obtenim que la F_G val 4291.88 N.

SELECCIÓ DE COMPONENTS

En aquest cas, si bé els sistemes originals comptaven amb un sistema hidràulic, l'hem substituït per actuadors lineals accionats directament per motors elèctrics.

Com que es tracta d'un moviment rotacional, hem de tenir en compte el factor de potència que hem d'aplicar a l'actuador lineal.

Angle (°)	FP
10	0.174
20	0.342
30	0.500
38.77	0.622
40	0.643
50	0.766
60	0.867
70	0.940
80	0.985
90	1.000

Taula 13. Variació del FP [73].

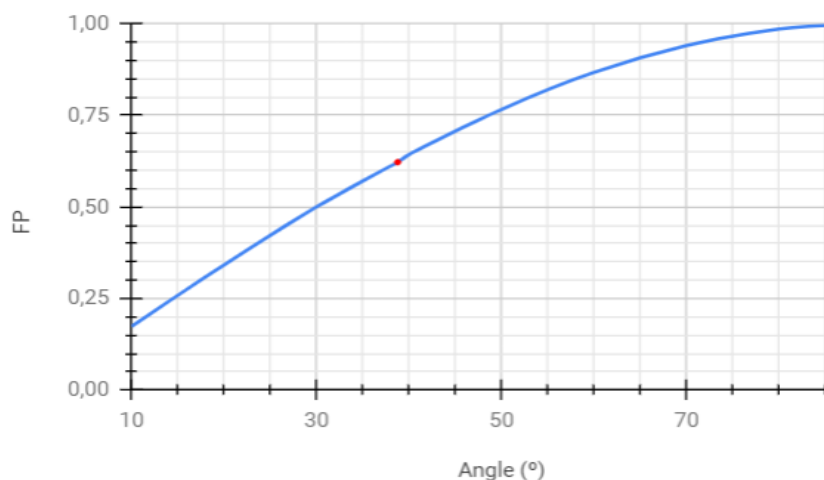


Figura 55. Corba FP-Angle amb punt crític assenyalat.

En els actuadors lineals podem observar –*Taula 13*–, com la condició de treball òptima és quan la càrrega es troba perpendicular. Per calcular el punt més crític, hem fet una interpolació lineal, on ja hem aïllat la incògnita:

$$\frac{(FP \quad i)}{\quad} \quad \text{m/s}$$

Equació 14.

On:

- \quad : factor de potència buscat
- \quad_s : factor de potència superior
- FP_i : factor de potència inferior
- \quad_s : angle superior
- \quad_x : angle conegut
- \quad_i : angle inferior

A partir de l'angle conegut θ_x de 38.77° –que és el que tenim en el prototip, vegeu *Figura 84*– i hem obtingut que el FP_x és de 0.622.

El producte de la inversa del FP obtingut i la F_G és la força d'inclinació F_I i pren el valor de 6834.20 N. Però com que contemplem fer servir dos actuadors la força necessària es divideix a la meitat sent de 3417.10 N. A partir d'aquest nou valor fem la selecció de l'actuador.

En aquest cas l'actuador lineal seleccionat ha estat l'ALI5-PB-VRS³⁹ de 3600 N. Hem escollit una tija de 200 mm, on internament en farem servir com a màxim 197.2 mm, com es pot observar a la *Figura 56* i el motor seleccionat i corresponent és un motor IEC80 B14 d'AC i 400 V trifàsic de 2 pols i 1.1 kW, ja que en el cas de ser monofàsic perdriem un 20% de la potència al que hem canviat la posició de la caixa de borns a sota del motor en lloc de mantenir-la al lateral. També compta amb un fre, un codificador de 1024 PPR, 2 sensors magnètics d'interruptor de llengüeta (*reed switch*) –d'inici i final de carrera de tecnologia NT– i un potenciòmetre de 10 k Ω per poder controlar i conèixer la posició.

Per conèixer el pes de l'actuador lineal, sense incloure el motor, s'aplica la següent fórmula:

$$\quad \text{kg}$$

Equació 15.

On:

- M_a : massa de l'actuador lineal
- \quad : longitud de la tija

Per tant, la M_a , un com ja hem seleccionat l_t , pren el valor de 8.9 kg.

³⁹ En l'ANNEX D.C. podem observar el codi de comanda i totes les característiques del motor.

Freqüència (Hz)	50
Tensió (V)	400
Potència (W)	1100
Força (N)	3600
Velocitat (m/s)	0.223
Pes (kg)	8.9

Taula 14. Característiques de l'actuador lineal [74].

1. Capçal posterior
2. Caixa reductora
3. Cilindre
4. Extrem de la tija
5. Tija
6. Motor elèctric
7. Capçal anterior

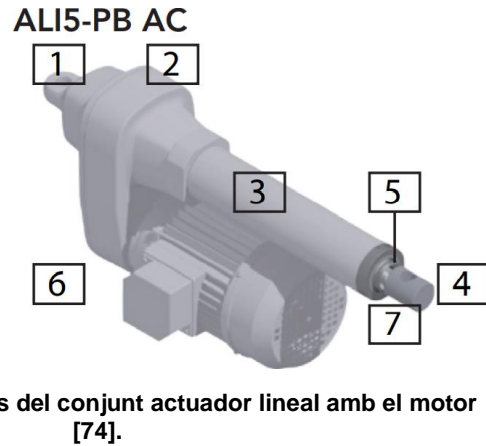


Figura 56. Aspecte i parts del conjunt actuador lineal amb el motor [74].

Mentre que el model AL5-PB mesura 335 mm, podem observar com amb el capçal anterior escollit –l'A4– i que es tracta l'AL15-PB-VRS, la mesura total és de 447 mm – que és la suma de 359 i 88 mm respectivament. Si representem aquesta mesura, podem trobar gràficament l'extensió de la tija necessària per poder arribar als 45° equivalents.

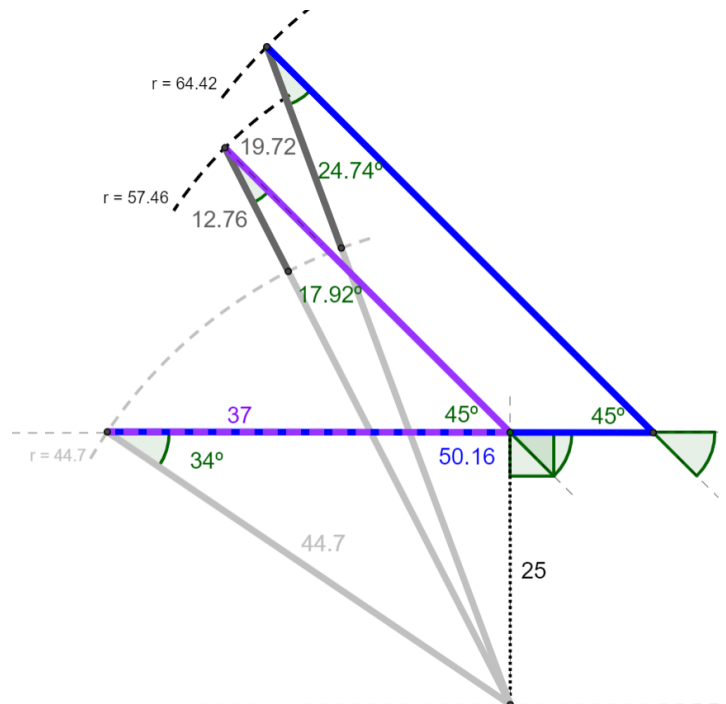


Figura 57. Representació geomètrica de l'actuador lineal en cm.

En aquesta representació podem observar dues situacions; on la capçalera posterior de l'actuador lineal quedaria fixada alineada amb l'eix de rotació de la plataforma i en el segon cas la capçalera està desplaçada de l'eix de rotació, però restà en un eix paral·lel. En aquest segon cas, s'ha de considerar que la distància màxima de fixació de la capçalera anterior queda limitada per la plataforma retràctil –on el valor és proporcional a l'obtingut pràcticament en el prototip– perquè de ser més gran quan la tija queda replegada, és a dir, la plataforma no s'inclina, el seu moviment quedaria impedit. Aquest segon cas és també el més favorable dels dos, ja que l'angle té un FP més gran, per aquest motiu, serà la situació de treball escollida.

Podem observar com l'angle més restrictiu és de 24.74° i és menor que el cas previ calculat, per tant, si repetim la interpolació –Equació z– amb aquest nou valor obtenim

que el FP_x és de 0.417, com a resultat, la F_I que s'haurà de vèncer és de 10292.30 N. En aquest cas, amb dos actuadors seria insuficient, però, en canvi, si n'emprem tres, observem que la força aleshores és 3430.76 N i en aquest cas sí que és executable, per això, serà el nombre d'actuadors escollits.

La capçalera posterior està fixada a 25 cm ocupant 7.05 cm més per la part inferior, on si deixem 2 cm de marge amb el terra, resten 2.65 cm per al gruix de la plataforma i la fixació.

3.5 ALIMENTACIÓ

Els actuadors de potència tenen característiques d'alimentació diferents i per aquest motiu és necessari fer-ne un recull, d'aquesta manera podrem identificar quins són els elements complementaris que necessitaran.

En els motors on no s'especificava la intensitat consumida, hem considerat un factor de potència, $\cos\phi$ de 0.75, que és inferior a l'habitual 0.8 dels motors perquè és preferible sobredimensionar el consum del motor, perquè del contrari, podria ser insuficient i aleshores no ens proporcionaria les condicions de treball desitjades.

	Tensió (V)		Corrent (A)		Potència (W)
KS073-11P	230	T	5.99	A	1500
SM 2862-5155	230	M ⁴⁰	4.00	A	907.13
MV05	110	M	8.49	A	700
ALI5-PB-VRS	400	T	3.67	A	1100

Taula 15. Recull de característiques dels actuador de potència.

Podem observar com en el cas del motor de tracció hem posat les condicions de treball de quan treballa a 100 Hz on més endavant veurem que condicionarà la intensitat de la potència màxima instantània.

L'alimentació dels trens és de CC, però, en canvi, el sistema de servei auxiliar –comú en totes les sèries– és trifàsic i de CA on tenim 380/400 V de tensió.

⁴⁰ Tot i que es tracta d'un motor PaP, l'entrada del controlador és monofàsica.

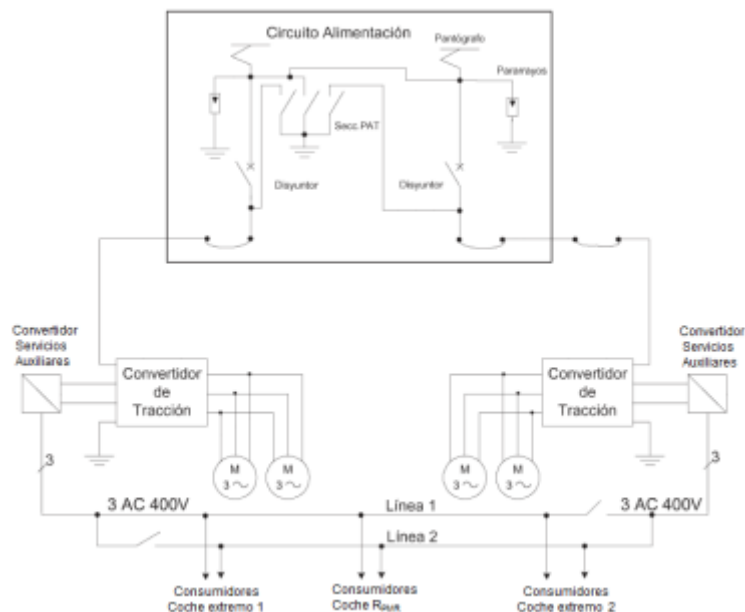


Figura 58. Xarxa d'alimentació del tren Civia [75].

A mode d'exemple, en la *Figura 58*, podem observar la xarxa d'alimentació en el comboi Civia on observem com hi ha dos convertidors per al servei auxiliar i que hi ha dues línies.

3.5.1 DIMENSIONAMENT DE LA BATERIA

Un cop ja hem dimensionat tots els actuadors que componen el RTPR, en aquest apartat, a partir de les seves condicions de treball, farem el dimensionat de la bateria.

CÀLCULS DE CAPACITAT

El disseny del RTPR es desplaça des de l'interior del tren fins a l'andana i viceversa, plantejar aquesta autonomia amb una alimentació cablejada és pràcticament impensable i per aquest motiu la seva alimentació és independent.

Tanmateix, aprofitarem el sistema auxiliar del tren per poder recarregar aquesta alimentació independent i d'aquesta manera aconseguim la llibertat de mobilitat que ens ofereix la bateria sense renunciar al servei d'alimentació continu que ens oferiria l'alimentació cablejada.

Per poder realitzar la recàrrega de la bateria sense fils, farem servir el sistema que actualment ja fan servir alguns AGV, on es disposa d'una zona de recàrrega que serà la mateixa que la d'estacionament i varia en cada comboi malgrat tenir les mateixes característiques.

Per dimensionar l'autonomia que ha de proporcionar la bateria considerarem dues condicions de treball; la de servei i la de manteniment.

La primera, la de servei, el RTPR ha de realitzar tres serveis consecutius.

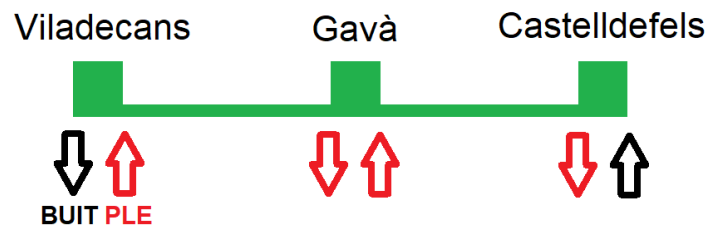


Figura 59. Representació del cas restrictiu d'autonomia.

Aquests tres serveis –Figura 59– corresponen a realitzar dos serveis seguits en el transcurs de tres estacions consecutives on el temps que triga a realitzar el trajecte entre cada estació considerem que no realitza cap recàrrega significativa, perquè considerem que les estacions són properes.

En aquesta suposició, el RTPR realitza dos trajectes en buit i quatre en càrrega. Per calcular el temps de funcionament, com que la distància que recorre és molt reduïda, en canvi, els girs sobre el seu propi eix, és a dir, sense desplaçament, formen part de la seqüència i simplifiquem el càlcul considerant un 50% més del desplaçament de l'interior del tren.

La bateria serà la mateixa indiferentment de quin comboi es troba, per aquest motiu qui determina la distància és el comboi on l'estacionament es troba més lluny, que és el cas de la sèrie Civia o del 447.

A partir de les mesures experimentals determinem que la distància a recórrer a l'interior del tren –considerant maniobres– és de 2.575 m⁴¹ on afegint el 50% tenim 3.863 m i la distància d'accés al tren més restrictiu és la de la sèrie 448 on l'altura acumulada és de 0.62 m i la llargada acumulada de 0.8 m, per tant, aplicant el teorema de Pitàgores trobem que la distància que fa el RTPR és la diagonal i és d'1.012 m.

En el cas de l'operació de la plataforma elevadora, les distàncies –Taula 16– quan treballa en càrrega són diferents de quan treballa en buit.

-	PMR A				PMR B			-
buit	Ple	Buit	buit	Ple	Ple	Buit	Ple	Buit
256	392	136	136	392	392	136	392	256

Taula 16. Seqüència de distàncies de la plataforma elevadora en mm.

Els càlculs s'han realitzat amb el valor de les potències aproximades a l'enter superior més proper.

	Potència (W)	Velocitat (m/s)	Distància (m)	Temps (s)	Nre.	Energia (W·h)
Tracció	2430	0.6	1.012	1.687	2	2.277
	2000	1.6	3.863	2.414	2	2.683
	1780	0.9	3.863	4.292	4	8.489
	1388	0.2	1.012	5.060	4	7.804
Retràctil	1400	0.6	1.200	2.000	6	4.667
Elevació	1524	0.15	1.568	10.453	1	8.850
	321	0.15	0.784	5.227	1	1.864
Inclinació	3145	0.2	1.012	5.060	4	17.682

Taula 17. Balanç energètic servei.

⁴¹ Considerem que recorre la meitat de l'amplada de l'interior del tren i després la meitat més un terç de la longitud on ha d'aparcar.

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
Laia Sánchez Tolo

Podem observar –*Taula 17*– com en el balanç energètic hem considerat el consum total, considerant el nombre de motors que hi ha en cada funció.

Fent el sumatori de les energies obtingudes, trobem l'energia total que haurà de tenir la bateria seleccionada i que és de 54.316 W·h.

La segona, la de manteniment, el RTPR es desplaça des del taller, al llarg de tota l'andana fins a l'interior del tren.

En aquesta situació el RTPR es controlarà de forma remota i la seva finalitat és permetre i facilitar la seva càrrega i descàrrega en la situació en què un tren ha acabat el seu servei i un de diferent el substituirà.

En aquest cas, només intervenen els motors de tracció quan treballen en buit. Considerarem que.

	Potència (W)	Velocitat (m/s)	Distància (m)	Temps (s)	Nre.	Energia (W·h)
Tracció	2430	0.6	1.012	1.687	2	2.277
	2000	1.6	300.0	187.5	2	208.3

Taula 18. Balanç energètic manteniment.

Fent el sumatori de les energies obtingudes, trobem l'energia total que haurà de tenir la bateria seleccionada i que és de 210.61 W·h.

Podem observar com la condició de treball de manteniment és la més restrictiva, que equivaldria a gairebé quadruplicar la condició de treball de servei i per aquest motiu, serà l'energia necessària a proporcionar per la bateria que dimensionem.

Per determinar la tensió de la bateria seguim dos criteris, el primer consisteix a determinar la intensitat que ha de proporcionar que queda determinada també per la potència màxima instantània. El segon criteri consisteix a escollir un valor de tensió proper a les tensions de treball dels actuadors.

Tot i que el funcionament del RTPR és majoritàriament seqüencial, podem observar que quan treballa inclinat en carrega, tenim simultàniament els motors de tracció a la mínima velocitat i els pistons d'inclinació en funcionament, el sumatori de potències dona com a resultant una potència màxima instantània de 4533 W i consumeix màxim 22.99 A, tot i que es tracta d'un consum hipotètic, ja que el consum real seria lleugerament inferior perquè els actuadors lineals treballen per sota de les condicions nominals.

Combinant els dos criteris establim que la tensió de la bateria és de 150 V, d'aquesta manera la intensitat proporcionada és de 30.22 A, que és superior a la intensitat màxima i ens permet estalviar-nos un convertidor de DC-DC.

Tot i que la capacitat de la bateria, a partir de l'energia trobada i la tensió escollida és de 1.4 A·h, podem observar com la màxima autonomia –en funcionament continu- del RTPR està calculada per a 6.25 minuts.

SELECCIÓ DE COMPONENTS

El sistema de recàrrega sense fils escollit és el MOOV^{air} de Delta Electronics, el sistema de càrrega sense fil d'1 kW és de baix manteniment i d'alta eficiència, ideal

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren Laia Sánchez Tolo

per carregar bateries en vehicles elèctrics industrials i AGV, que són els vehicles que més s'assimilen al nostre, on l'electrònica segellada i la transferència d'energia sense contacte ens facilita la seva autonomia [76].

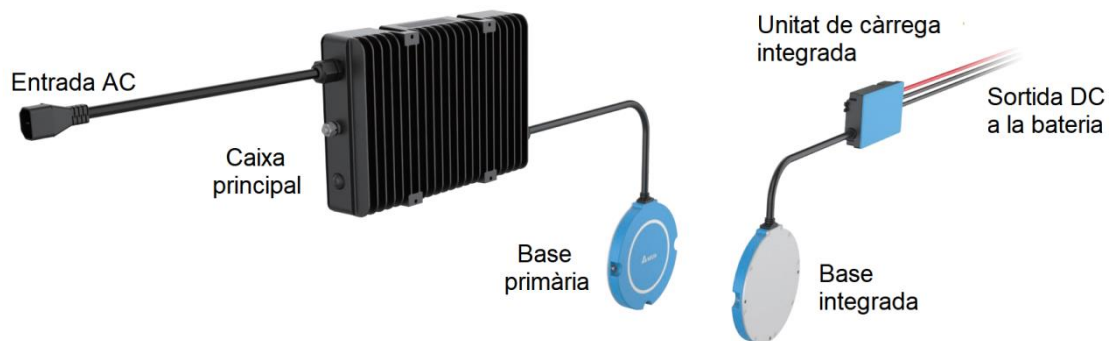


Figura 60. Components del MOOV^{air} [76].

Tanmateix, podem observar –ANNEX G.A– com la tensió de sortida és de 48 V i en els productes destinats a vehicles elèctrics convencionals, no es proporcionava la tensió de sortida. Per aquest motiu, coneixen que la càrrega és en alterna, adaptariem la unitat de càrrega integrada amb la finalitat que s'ajustés a les nostres necessitats, és a dir, tenir 150 V de tensió de sortida.

Totes les sèries tenen una xarxa trifàsica en alterna de 380 V i l'entrada de tensió del MOOV^{air} és de 240 V monofàsic, per tant, es pot aprofitar directament l'alimentació del tren sense necessitat d'aplicar cap convertidor.

Finalment, mostrem l'esquema unifilar simplificat –on no mostrem els controladors dels motors ni el condensador a la sortida dels convertidors de DC-DC– dels convertidors necessaris per alimentar els diferents motors des de la bateria.

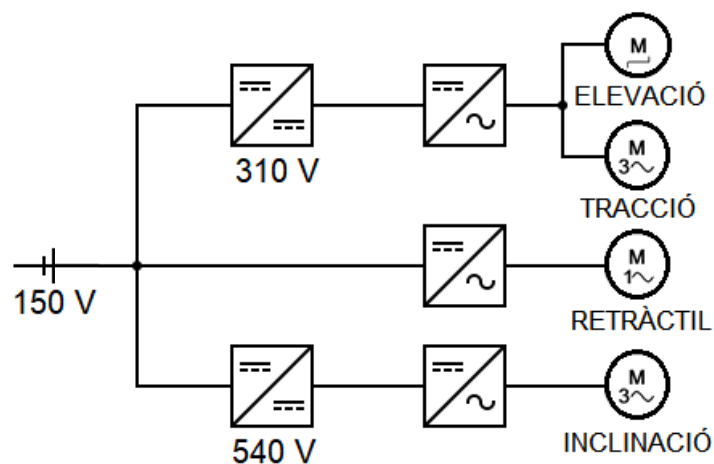


Figura 61. Esquema d'alimentació dels motors.

Podem observar com la tensió elevada en el convertidor DC-DC s'ha ajustat per a la posterior conversió a AC.

En el cas de la bateria, com que les nostres característiques són molt concretes, no s'ajusten a l'oferta comercial i per aquest motiu, es fa un disseny personalitzat que s'ajusti a les nostres necessitats.

Podem veure com el MOOV^{air} admet tant la recarrega de bateries d'ió liti com d'acumulador de plom.

Podem observar com les bateries de plom àcid o acumuladors de plom, tenen un cicle de vida baix, una densitat energètica limitada i a més a més no podem menystenir el seu risc explosiu davant una falta o una degradació acusada.

Tipus ⁴²	Energia específica (Wh/kg)	Temperatura de operació (°C)	Descarrega pròpia ⁴³ (%)	Cicles	Eficiència ⁴⁴ (%)
LAB	25-40	-40-60	4-50	1000	50-75
NCB	30-45	-10-45	5-20	2000	55-70
VRB	10-20	10-40	3-9	5000	65-80
Na-S	150-240	300-350	≈ 0	4000	75-90
C-LC	155	-25-40	2	1000	94-99
LT-LFP	50-70	-25-40	2	4000	94-99

Taula 19. Comparativa de bateries.

Si bé les bateries d'ió liti tenen un cost inicial més elevat les temperatures de treball permeten un funcionament òptim i malgrat necessitar circuits de protecció auxiliars, es tracta de cel·les segellades que no requereixen manteniment ni tenen l'efecte memòria.

Una de les millors combinacions de les bateries d'ió liti és la de LiFePO_4 ⁴⁵ que permet una descàrrega sostinguda que després de 700 cicles obté un rendiment molt proper al 100%.

La bateria ACL9013 –ANNEX G.B– és de la mida 26650; 26.2 mm de diàmetre i 65.6 mm d'altura. El voltatge de tensió d'aquestes bateries és 3.2 V i en aquest cas té una capacitat de 2.3 A·h, superior a la necessària de 1.4 A·h. Tanmateix, la dada característica de la bateria seleccionada és la màxima intensitat de descàrrega, que ha de ser superior a la que ens ha de proporcionar –que eren 30.22 A– que en aquest cas és de 46 A⁴⁶.



Figura 62. Aspecte de la bateria de fosfat de liti escollida [77].

Per poder assolir la tensió desitjada, necessitem 47 unitats que ens proporcionaran 150.4 V. La nostra construcció és en sèrie perquè no necessitem més capacitat.

⁴² LAB: Plom-àcid, NCB: Níquel-Cadmi, VRB: Vanadi Redox (fluxe), Na-S: Sodi-Sofre, C-LC: Li-íó ànode Carboni y càtode de LiCoO_2 , LT-LFP: Li-íó ànode $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ i càtode LiFePO_4 .

⁴³ Al mes, a 20 °C.

⁴⁴ Quantitat d'energia en CC de servei de la bateria per l'energia introduïda en la recàrrega.

⁴⁵ Hydro-Quebec va poder obtenir 20000 cicles de càrrega i descàrrega (50 anys de servei) amb ràtios de descàrrega de 5 C amb aquesta química de cel·la en format cilíndric 18650.

⁴⁶ En altres bateries de la mateixa composició la intensitat màxima de descàrrega no superava els 10 A.

Tanmateix, la distribució serà de 3 files de 12 columnes i una d'11.

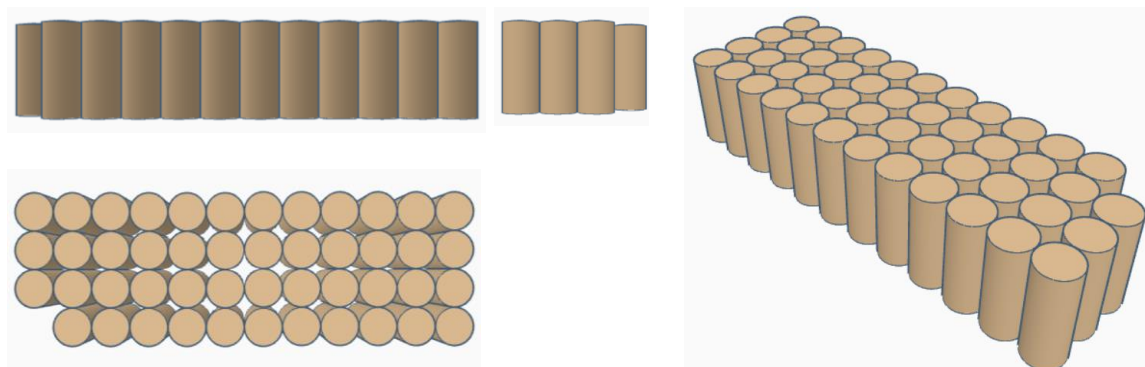


Figura 63. Aspecte de la composició de la bateria.

D'aquesta manera les dimensions de la bateria serà de 2314.4 x 104.8 x 65.5 mm sense comptar amb un encapsulat global.

3.5.2 DIMENSIONAMENT DE CABLEJAT

Encara que el RTPR estigui alimentat per una bateria i en aquest cas no sigui necessari dimensionar proteccions aigües avall com quan s'ha de protegir de les possibles anomalies de la xarxa, sí que és necessari de protegir aigües amunt, per tant, serà necessari dimensionar una protecció per a cada motor i una protecció general per protegir la bateria.

En el cas del motor PaP, el mateix controlador ja proporciona una protecció tant per a la tensió com per al corrent. Per tant, haurem de dimensionar tres proteccions diferents; per al KS073-11P, el MV05 i l'ALI5-PB-VRS.

	Interruptor automàtic	Interruptor en càrrega	Fusible	Contactador	Seccionador
Símbol					
Poder de tall	Sí	No	Sí	No	No
Obertura en càrrega	Sí	Sí	No	Sí	No
Elevant núm. de maniobres	No	No	No	Sí	No
Accionament elèctric	Sí	Sí	No	Sí	No
Accionament per relés	Sí	No	No	Sí	No
Aïllament visible	No	No	No	No	Sí

Taula 20. Recull de les característiques dels elements de protecció.

A partir de la *Taula 20*, podem observar com l'element de protecció que més s'adequa a les nostres necessitats són els contactors que com a mínim ha de deixar circular més d'unes 1.25 vegades la tensió i el corrent nominal I_n , dels motors.

Tanmateix, aquests dispositius, no abasten els rangs de protecció dels motors de corrent altern nominal menor de 10 A i per al contactor general, de 22.99 A de consum màxim nominal, observem que no n'hi ha de corrent nominal de 20 o 25 A⁴⁷ en

⁴⁷ En el cas de subdimensionar el contactor ens trobem que només podem sostenir durant 180

continua i en el cas dels contactors de 30 A, ens trobem poden arribar a circular corrents de 90 A durant 30 s i de 150 A durant 10 s. La bateria dissenyada té una descàrrega màxima a 70 A durant 10 s i per tant no quedaria protegida davant d'un pic de demanda fruit d'una anomalia en el funcionament dels motors.

En el consum màxim, podem observar que els motors de tracció no parteixen del repòs, sinó que en qualsevol de les situacions, tant si es troba a l'interior del tren -on el motor ha arrancat per desplaçar-s'hi des de la base- com si es troba a l'andana -on parteix de la rotació de 90° per poder accedir al tren.

Aquesta casuística fa que només hàgim de considerar la intensitat d'arrencada dels motors dels actuadors lineals, que en aquest cas l'angle d'inclinació és progressiu i per tant la primera condició de treball que ha d'afrontar no es tracta pas de la més exigent i per tant pot tenir una arrencada relativament suau.

S'ha decidit d'escollir l'interruptor magnetotèrmic automàtic A9F92220 d'In 20 A, que permet un pic màxim de 68 A durant màxim 10 s⁴⁸, que és menor dels 70 A màxims i que per tant permetria un pic de corrent de màxim de 2.97 vegades la nominal màxima.

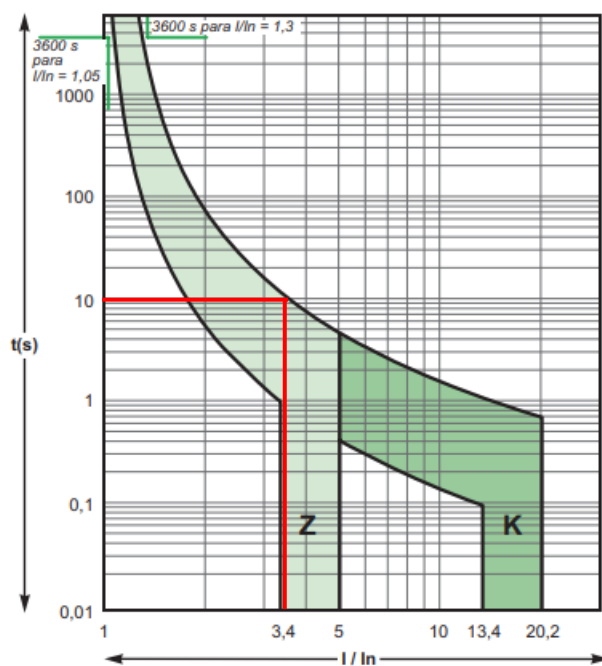






Figura 64. Condió de treball en la corba Z del A9F92220.

Pel que fa als motors, hem decidit fer servir un contactor d'In 10 A en alterna en el motor MV05 on sota cap circumstància circularà més de 120 A durant 10 ms. En els altres dos motors, els guardamotors d'In 4 i 6.3 A en alterna ofereixen una protecció més restrictiva i adequada on limiten el corrent respectivament a 51 i 78 A.

s una intensitat de 20 A i durant 120 s una de 30 A i no permetria el correcte funcionament del RTPR.

⁴⁸ En el cas hipotètic de corrents superiors el temps de tall seria inferior a 10 ms.

Model	A9F92220	SDA3Z-10K-D	GV2ME08	GV2ME10
Aspecte				
Quantitat	1	2	2	3
Protecció	Bateria	MV05	KS073-11P	ALI5-PB-VRS

Taula 21. Recull dels elements de protecció escollits⁴⁹.

En aquest cas, com que el cicle de treball del RTPR és curt i sempre en les condicions de treball dels motors, considerem que el dimensionat del protector tèrmic que disposen els mateixos motors o controladors –ANNEX E i F^{50} – és suficient per al correcte funcionament i no és necessari fer el dimensionat específic de la protecció tèrmica en els mateixos motors.

Totes les connexions seran sempre amb el compliment del REBT aprovat en el RD 1544/2007 [78].

Finalment, afegirem un botó d'emergència en el nostre dispositiu que també podrà ser accionat per la mateixa PMR usuària mitjançant comunicació Bluetooth des de l'aplicació de control.

3.6 CONDICIONS EXTERNES

En aquest subapartat recollirem les diferents consideracions que hem contemplat per manera que el funcionament dissenyat del nostre RTPR sigui possible.

En primer lloc, tenim les condicions d'alimentació. Serà necessari connectar a la xarxa d'alimentació auxiliar del tren la base per a la recàrrega sense fils de la bateria del RTPR.

En segon lloc, tenim l'elecció de la posició. Com hem descrit en l'aparat 2.1 *Càlcul dimensional* hem determinat que cada sèrie tindria habilitat 2 espais diferents. Les avaries de les portes, sovint es coneix des de l'inici del recorregut, per tant, en cas que alguna de les portes avariades coincideixi amb la de sortida del RTPR, s'hauria de traslladar a la posició alternativa abans de començar el primer trajecte mitjançant el control manual via Bluetooth.

Si no fos possible determinar o detectar aquesta avaria a l'inici del primer trajecte del comboi en qüestió aleshores s'hauria de tractar tots els trens com a trens d'alta densitat i establir dos RTPR, ja que la possibilitat que hi hagi dues portes avariades és ínfima i que coincideixin les dues en les que fa servir el RTPR és un risc que assumirem.

⁴⁹ Podeu consultar les fitxes tècniques en l'ANNEX G.C font també de les imatges.

⁵⁰ L'únic motor que no se'ns indica si s'ha incorporat protector tèrmic es el ALI5-PB-VRS.

També serà necessari remarcar amb adhesius lumínics la delimitació de la base del RTPR així com indicar el seu ús amb un senyal adhesiva en posició vertical per a poder identificar i reconèixer l'espai així com prohibir la seva ocupació quan el RTPR es trobi en aquella base.

En tercer i últim lloc, trobem les condicions necessàries per al desplaçament. Dins del tren serà necessari enganxar les cintes de color blanc, negre i vermell brillant amb la seqüència de colors concreta perquè el RTPR pugui desplaçar-se des de la base fins a la porta més propera i viceversa.

També serà necessari, per dinamitzar i reduir el temps d'accés i simplificar-ne el control, habilitar l'obertura automàtica, sense necessitat de prémer el botó, de les portes d'accés del RTPR. En cas que no fos necessari, s'hauria d'implementar una comunicació que permetés substituir l'acció de pulsar el botó.

3.7 PRESSUPOST

A continuació mostrem un esbós del pressupost, en alguns casos no se'ns proporcionava el seu import i per aquest motiu ens hem posat en contacte amb l'empresa per poder conèixer-lo.

En aquest pressupost hem considerat els elements més significatius del projecte, per aquest motiu no es comptabilitzen els actuadors de petit senyal així com els elements de control.

Pel que fa a les estructures, com que el seu cost és global i en el nostre cas es redissenyen de manera que la motorització sigui elèctrica en lloc d'híbrida amb sistemes hidràulics, tampoc els hem incorporat.

El cost del components s'ha obtingut per mitjà de la pròpia web de l'empresa o una de comercial i posant-nos en contacte amb la pròpia empresa en els casos en que no s'indicava.

	Cost unitari (€)	Quantitat	Cost total (€)
KS073-11P	14082.00	2	2816.00
CFW300	224.68	2	449.36
GV2ME10	85.34	2	168.68
SM 2862-5155	184.80	2	369.60
X-PLUS C4.1	284.60	2	569.20
MV05	442.90	2	885.80
SDA3Z-10K-D	389.59	2	779.18
ALI5-PB-VRS	884.00	3	2652.00
GV2ME08	126.72	3	380.16
ACL9013	13.00	47	611.00
MOOV^{air}	1014.30	1	1014.30
A9F92220	348.39	1	348.39

Taula 22. Pressupost del RTPR.

Si fem el sumatori dels costos totals de la *Taula 20*, obtenim que el cost total és de 11.042,99 €. Aquest pressupost⁵¹ és merament orientatiu perquè no s'inclouen els

⁵¹ En els casos on no ens han respost i no ha estat possible aconseguir el cost, com en el

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
Laia Sánchez Tolo

costos de muntatge, homologació, lloguers d'espais de construcció ni contractació que poguessin ser necessaris. També podem observar que aquest cost seria unitari i en el cas de produir les unitats necessàries per cobrir la total accessibilitat dels trens aquest cost unitari seria menor.

Les reformes del 447 que van costar 138 milions d'euros, sabent que hi ha 129 combois, podem considerar que el cost unitari ha estat de més d'1 milió d'euros. Per tant, per molt que el nostre cost sigui merament orientatiu, el marge de maniobra respecte a els costos restants a considerar, només haurien de ser iguals o menors d'unes 90 vegades els costos considerats per tal que fos més rendible que la reparació dels trens.

KS073-11P i el MOOVair s'ha considerat el preu d'un producte alternatiu com a orientatiu, podeu consultar el darrer a <https://aliexpi.com/uty6>.

4. PROTOTIP DE VEHICLE AUTÒNOM

En l'apartat anterior hem pogut seguir el procediment de disseny i selecció de components del RTPR. Tanmateix, com que no disposem dels recursos necessaris per a la seva construcció i implementació aquest projecte recull també en aquest apartat el disseny, l'elaboració i la construcció d'un prototip a escala que té com a finalitat poder simular la seqüència de funcionament el més fidedigne possible al disseny del RTPR real.

La proporcionalitat del prototip consisteix en les mides absolutes, d'aquesta manera, es podrà realitzar la maniobra d'accés al tren sota la mateixa proporcionalitat. Tanmateix, però, no és proporcional pel que fa al pes i per aquest motiu en la selecció de components les forces que han de realitzar els actuadors no segueixen cap proporcionalitat.

Finalment, com que les maniobres dels actuadors tenen dues components importants que són el temps i la velocitat, en cada cas es descriu el criteri escollit segons la prioritat considerada en cada cas.

4.1 ESTRUCTURA

El disseny del prototip, ens ha permès valorar a petita escala les diferents alternatives que tenim per a resoldre l'accés al tren.

SISTEMA

La primera decisió que s'ha pres és la més determinant del remuntador d'escales, és a dir, el sistema utilitzat⁵².

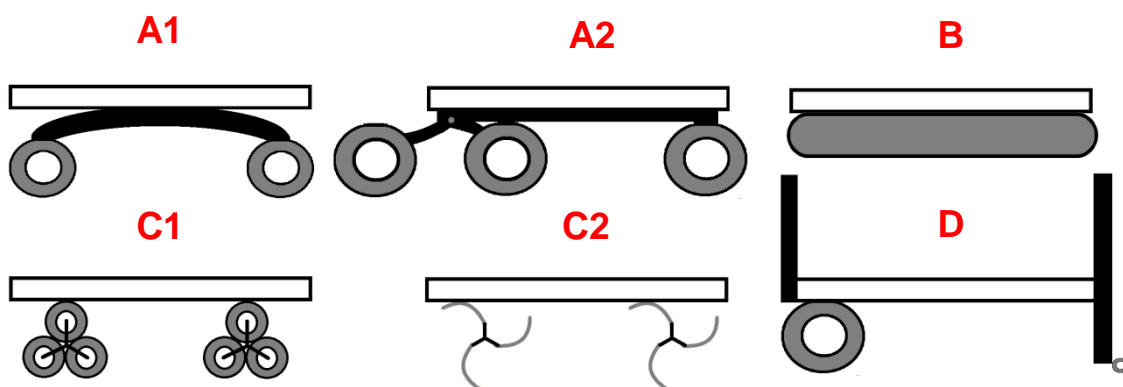


Figura 65. Diferències de funcionament segons el tipus de roda.

Amb la finalitat de facilitar la posterior comparació entre els sistemes possibles del remuntador d'escales, s'han classificat segons tecnologies i subdividit en variants.

Podem veure com els sistemes que fan servir rodes convencionals s'han classificat amb la lletra A i se subdivideix segons el nombre de rodes que empra, on en el cas de

⁵² Podeu veure a l'ANNEX I, en la secció ESTRUCTURES el funcionament de cadascun dels sistemes així com de les bases que es troben a continuació.

l'A1 en son 4 i en el de l'A2, 6. Seguidament observem amb la lletra B el sistema d'eruga, on no contemplem cap variant⁵³. A continuació observem els sistemes de composició triple amb la lletra C on la C1 és pel sistema de triple roda (*tri-star wheel*) i la C2 per a les rodes creuades de triple curvatura (*triple bended crosswheels*). Finalment amb la lletra D representem el sistema d'elevació.

A continuació –*Taula 22*– fem la comparativa de diferents paràmetres per a cada sistema. Es fa servir un codi de colors amb la seva equivalència numèrica on el verd és el més favorable i val 2 punts, el groc és intermedi i val 1 punt i el roig és el menys favorable i no suma cap punt.

	Inclinació	Solidesa	Adaptabilitat	Integració	Resistència	Pes	Total
A1	Red	Red	Yellow	Green	Yellow	Yellow	5
A2	Red	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	6
B	Yellow	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	9
C1	Yellow	Yellow	Red	Green	Yellow	Yellow	6
C2	Yellow	Yellow	Red	Green	Yellow	Green	7
D	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Green	8

Taula 23. Comparativa accés al tren.

Entenem per *Inclinació* la linealitat i suavitat del moviment del sistema, per *Adaptabilitat* els canvis que ha de patir segons la variació de l'esglaó i per *Integració* la facilitat de moviment en l'entorn.

Finalment, el sistema escollit és el B, el de rodes d'eruga. Una de les peculiaritats a l'hora de maniobrar comparativament amb un sistema de rodes pneumàtiques és que no es pot aplicar la geometria de direcció d'Ackermann, les rodes d'eruga són solidàries i no permeten un direccionalment en funció de l'angle de la roda respecte a la vertical. Per aquest motiu la direcció d'aquest sistema no compta amb un radi de gir, sinó que gira sobre el seu propi eix i es regula mitjançant la diferència de velocitat entre rodes si el gir el lleu o bé el sentit de gir si és més accentuat.

⁵³ Tot i que sabem que es poden estructurar en forma triangular o està format per dos conjunts, entre altres variacions, considerem que es tracta de divisions de nivell inferior i no pas de variants i per aquest motiu es recullen sota el mateix sistema.

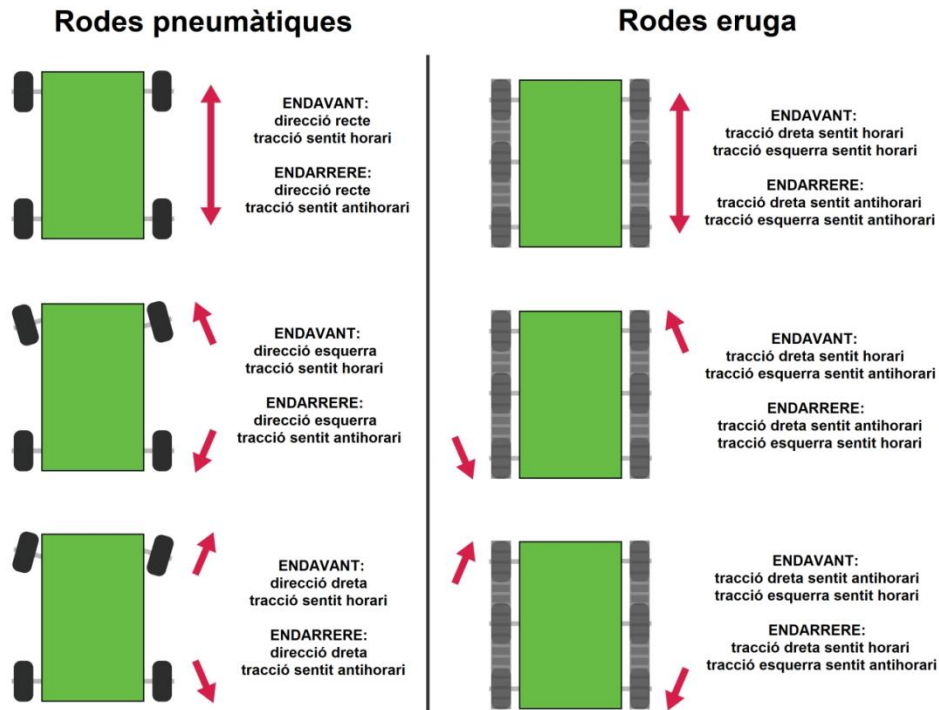


Figura 66. Diferències de funcionament segons el tipus de roda [79].

Aquest sistema, però, ens permet realitzar girs sense desplaçar-nos de la posició, fet que suposa un avantatge perquè disposem d'un espai reduït –l'interior d'un tren– que dificultaria una maniobra que necessites més espai.

BASE

Un cop ja hem escollit quin sistema resoldrà l'accés al tren la següent decisió que hem de prendre és com es construirà aquest sistema, és a dir, la base de l'estructura del nostre prototip.

Com en el cas anterior hem classificat les categories amb lletres. En aquest cas la base feta a partir de disseny i impressió 3D s'ha classificat amb la lletra *A*. Seguidament, amb la lletra *B*, les bases que es poden construir de forma modular, que en aquest cas, tots els trobats s'ha fet servir peces majoritàriament de Lego i residualment de Mecano. En la categoria *C* i *D*, trobem les bases sòlides on l'estructura és un únic mòdul no modular, on en la categoria *1* respectivament tenim les mides més petites o que no inclouen motors o són d'una potència inadequada. Finalment l'última base comparada, l'*E*, recull totes aquelles que són ja un sistema integrat i per tant compten amb un seguit de sensors, actuadors la placa controladora.

A continuació –*Taula 23*– fem la comparativa de diferents paràmetres per a cada sistema on es fa servir el mateix codi de colors i numèric que en la taula anterior.

	Modularitat	Solidesa	Motors	Base	Controlador	Integració	Proporcionalitat	Pes	Cost	Total
A	Yellow	Green	Red	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Green	Green	10
B	Green	Green	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Yellow	11
C1	Red	Red	Red	Green	Red	Red	Red	Green	Green	6
C2	Red	Red	Green	Green	Yellow	Red	Red	Green	Yellow	8
D1	Red	Green	Red	Green	Red	Yellow	Red	Red	Yellow	6
D2	Red	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	8
E	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Yellow	Red	Yellow	Red	10

Taula 24. Comparativa estructures.

Entenem per *Base* l'existència d'aquesta, és a dir, el fet que no sigui necessari construir-la, per *Integració* la facilitat d'afegir els sensors i actuadors que siguin necessaris en la posició més favorable així com les estructures restants.

Finalment, s'ha decidit fer servir les peces de Lego Technic per la versatilitat que oferien⁵⁴.

PLATAFORMA ELEVADORA I D'INCLINACIÓ

En aquest cas per consonància amb el sistema base escollit, s'ha fet servir també Lego Technic, ja que és el sistema amb millor integració i proporcionalitat, gràcies sobretot a la seva modularitat. Tanmateix, amb la finalitat que no quedin bases sense superfícies, es complementarà amb cartó, cartó ploma o similar.

4.2 SISTEMA DE CONTROL

A continuació podem observar l'esquema de connexions de tots els mòduls, convertidors i actuadors així com l'alimentació externa. Pel que fa a l'alimentació de la placa de control es fa mitjançant una bateria portàtil de 5 V genèrica.

⁵⁴ En l'annex C es pot observar l'especejament parcial de la base i el procediment per a l'adherència de les rodes d'eruga.

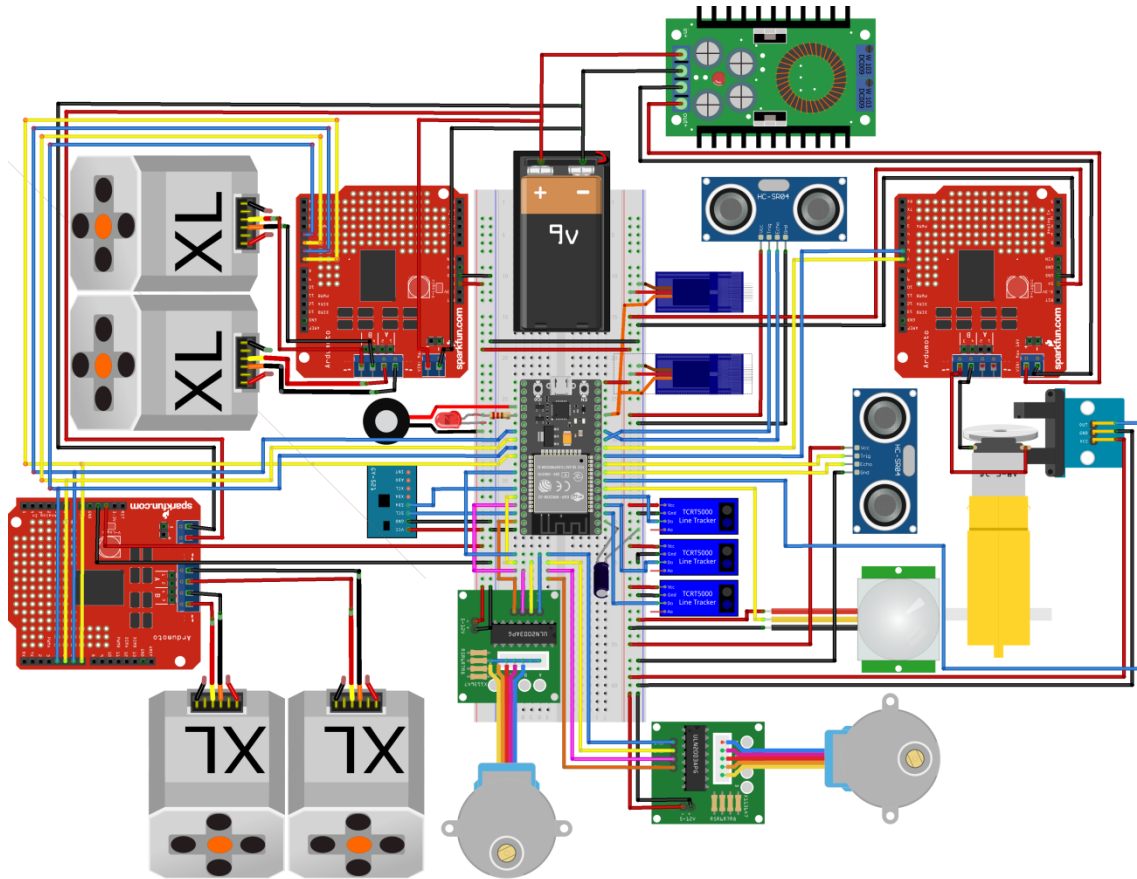






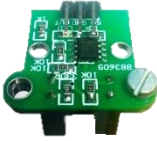

Figura 67. Esquema de connexions.

fritzing

4.3 MÒDULS

Els sensors dels quals disposa el vehicle autònom són els que li permetran funcionar de forma autònoma i que la comunicació amb la PMR sigui directa, sense la necessitat de la intervenció d'una persona externa.

En aquesta taula podem trobar el recull dels sensors utilitzat segons la tasca que desenvolupen així com l'adaptació que seria necessària aplicar en el model real.

Aspecte	Sensor	Mòdul	Funció
	ESP-WROOM-32	ESP32-DevKitC V2	Control de processos
	HC-SR04		Control del moviment
	MPU6050	GY-521	Control de la inclinació de la plataforma
	TCRT5000	KY-033	Control del desplaçaments dins del tren
	HC-020K		Control de velocitat i posició en la inclinació de la plataforma
	LHI778	HC-SR501	Detectar la cadira de rodes

Taula 25. Recull de mòduls utilitzats.

4.3.1 ESP32-DEVKITC V2

L'ESP32 Dev Kit C V2 té un total de 38 pins i compta amb pins GPIO que funcionin a 3.3 V i el corrent màxim absolut consumit per un GPIO és de 40 mA.

Els pins GPIO 34-39 són només pins d'entrada. Aquests pins no tenen resistències internes de *pull-up* o *pull-down* i per aquest motiu els farem servir per a rebre la informació dels sensors KY-033 principalment.

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
Laia Sánchez Tolo

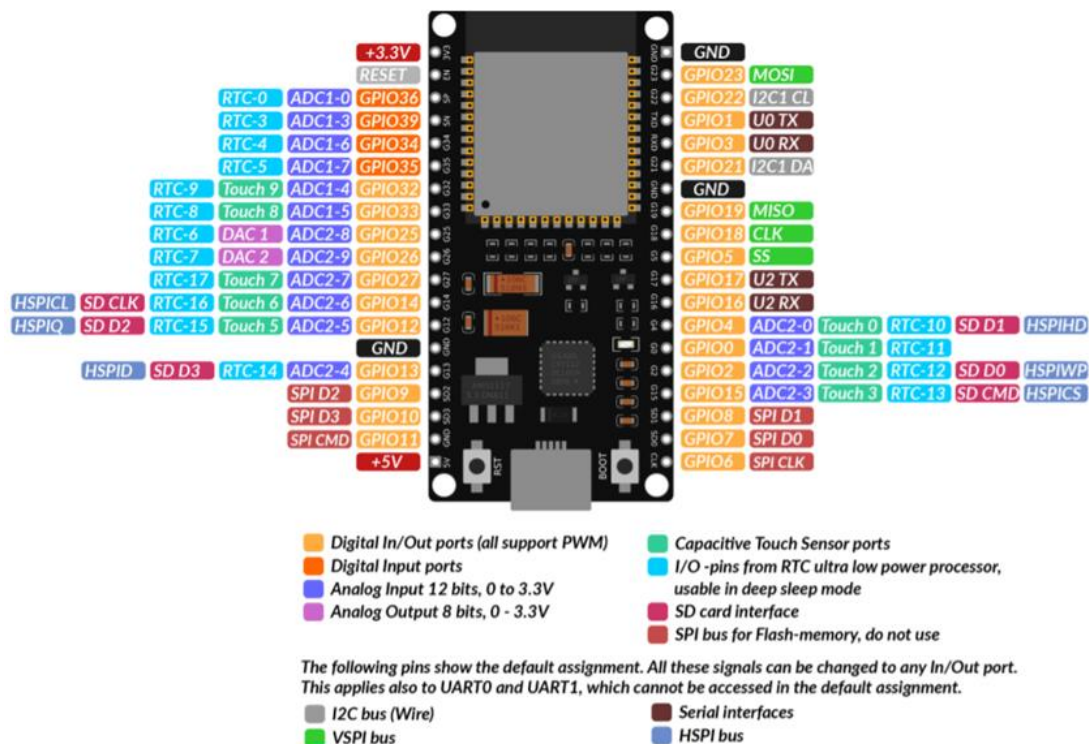


Figura 68. Esquema de pins del mòdul ESP32-DevKitC V2 [80].

L'ESP32-DEVKITC V2 és produïda per Espressif System i forma part de la sèrie de SoC Wi-Fi ESP32 WROOM 32 que integra un microcontrolador Tensilica de 32 bits, interfícies perifèriques digitals estàndard, commutadors d'antena, balun de RF, amplificador de potència, amplificador de recepció de baix soroll, filtres i mòduls de gestió d'energia en un petit paquet. Ofereix Wi-Fi de 2.4 GHz –802.11 b/g/n, que suporta velocitats de fins a 150 MB/s– així com comunicació sense fil BLE i Bluetooth® clàssica, 34 pins d'I/O, interfícies I2C i I2S, ADC i DAC, interfície SPI, UART en pins dedicats i PWM. El nucli del processador, anomenat LX6 per Espressif, es basa en el controlador del processador Xtensa® de doble nucli LX6 de 32 bits i funciona a una freqüència d'entre 80-240 MHz. Té 448 kB de ROM per a l'arrencada, 520 kB de SRAM al xip.

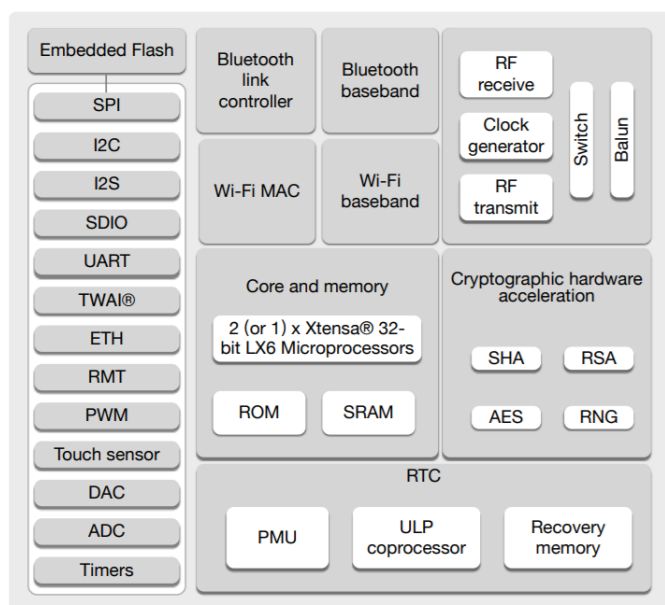


Figura 69. Diagrama de blocs funcionals de la ESP32 WROOM 32 [81].

———— cm

Equació 17.

On:

- : distància
- v_s : velocitat del so
- : temps transcorregut (en μs)

4.3.3 MÒDUL GY-521

L'acceleració és la variació de la velocitat per unitat de temps i la segona llei de Newton indica que en un cos amb massa constant, l'acceleració del cos és proporcional a la força que actua sobre ell mateix.

La seva aplicació consisteix en calcular la inclinació a la que es troba el RTPR per ajustar la plataforma d'inclinació en conseqüència.

El mòdul GY-521 conté el sensor MPU6050 i consisteix en una IMU de 6 GDL, els 3 rotacionals –balanceig (roll), capcineig (*pitch*) i guinyada (*yaw*)– per al giroscopi i els 3 translacionals –vaivé (*surge*), puja-i-baixa (*heave*) i abatiment o deriva lateral (*sway*)– per a l'acceleròmetre, que són les mesures que farem servir. També inclou tres ADC de 16 bits per digitalitzar les sortides del giroscopi i tres per a l'acceleròmetre. Per fer un seguiment de precisió de moviments ràpids i lents, les peces inclouen un giroscopi programable per l'usuari a escala completa de ± 250 , ± 500 , ± 1000 i $\pm 2000^\circ/s$ (dps) i programable per l'usuari rang d'escala completa de l'acceleròmetre de ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g i ± 16 g.

Els acceleròmetres internament tenen un MEMS, per construir-lo, es fa servir una estructura micromecanitzada de polisilici construïda sobre una oblia de silici. Els ressorts de polisilici suspenen l'estructura sobre l'oblia de silici, alhora que proporciona resistència per suportar les acceleracions a què es veurà sotmès el sensor [82][83]. Per tant, l'acceleració provoca un desplaçament en els elèctrodes mòbils que fa variar la distància entre els elèctrodes mòbils i els fixos. Aquesta és detectat per la variació de la capacitat del sistema i permet mesurar l'acceleració.

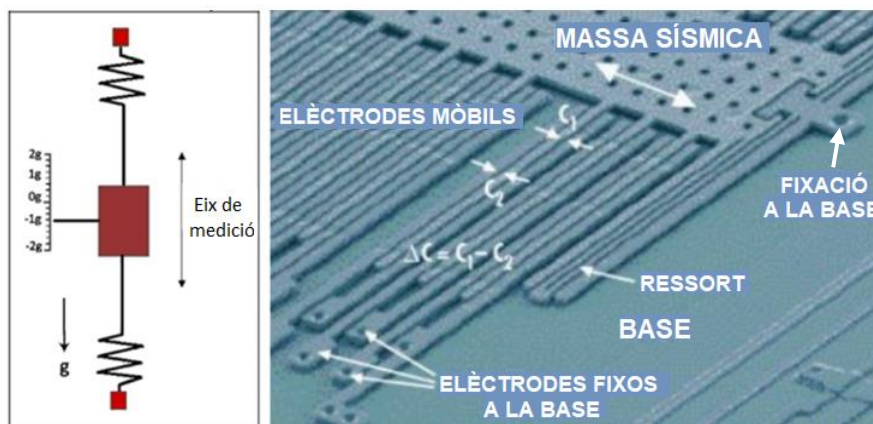


Figura 71. Representació del funcionament i aspecte de l'acceleròmetre [82].

Si integrem l'acceleració podem obtenir la velocitat i si integrem de nou, el desplaçament.

$$a(t) \Rightarrow$$
$$v(t) = v_0 + \int_0^t a dt' \Rightarrow$$
$$x(t) = x_0 + \int_0^t v dt'$$

Equació 18.

On:

- a : acceleració
- t : temps
- v : velocitat
- x : posició
- v_0 : velocitat inicial
- x_0 : posició inicial

A partir del desplaçament podem calcular l'angle d'inclinació. En la *Figura 72* podem observar un exemple en una projecció en perspectiva on la línia i el punt negre representaria el pla i la posició del sensor.

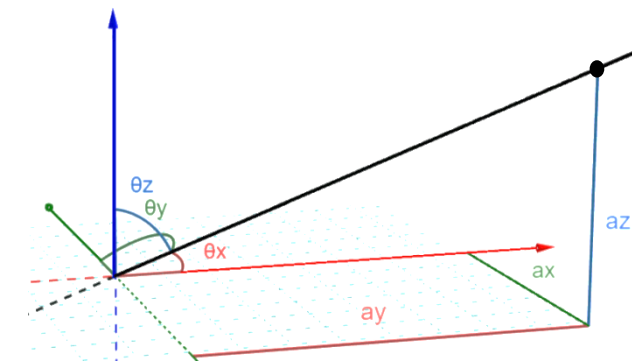


Figura 72. Exemple de descomposició vectorial i angular.

Conegudes les distàncies dels abatiments de cada eix, l'angle s'expressa com:

$$\theta_x = \tan^{-1} \left(\frac{a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}} \right) \circ$$

Equació 19.

On:

- θ_x : component x de l'angle d'inclinació
- a_x : component x del vector
- a_y : component y del vector
- a_z : component z del vector

Tot i que el vector representat ha estat el de la inclinació del sensor, el vector amb el qual treballa el mòdul és el de l'acceleració de la gravetat.

La seva característica especial és el maquinari integrat DMP que facilita la conversió de les dades processades de tots tres sensors a una posició específica respecte a la Terra, alleujant així el microcontrolador.

El mòdul té 8 pins de connexió indicats com *VCC*, *GND*, *SCL*, *SDA*, *XDA*, *XCL*, *AD0* i *INT*. Els dos primers s'encarreguen de l'alimentació, on *VCC* l'alimentarem a 5 V i els dos últims són respectivament un pin per canviar l'adreça I2C –bus de comunicacions en sèrie– de 0x68 a 0x69 i un pin d'interruptió. Els altres 4 pins centrals corresponen als pins de comunicació I2C, compta amb un canal principal i un d'auxiliar. Els pins *SCL* i *XCL* són els senyals dels trens de polsos mentre que els *SDA* i *XCA* són els senyals de les dades.

4.3.4 MÒDUL KY-033

El mòdul KY-033 conté el sensor TCRT5000 que està format per un LED IR i un fototransistor bipolar NPN en un mateix encapsulat, per tant, es tracta d'un sensor òptic de reflexió difusa. També compta amb un potenciòmetre, un primer LED d'estat i un segon que ens indiquen si el mòdul està ben alimentat.

La seva aplicació serà per seguir el camí que ha de recórrer el RTPR a l'interior des de la porta a la base de recàrrega i viceversa.

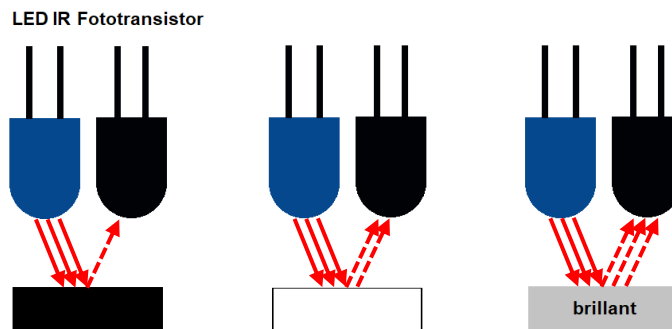


Figura 73. Llum captada per el fototransistor segons el color i la superfície.

El mòdul té 4 pins de connexió indicats com *A0*, *D0*, *GND* i *VCC*. Mentre els dos últims s'encarreguen de l'alimentació, on *VCC* l'alimentarem a 5 V els dos primers són els pins dels senyals analògic i digital respectivament.

El senyal analògic retornar un valor entre 0 –que seria el cas en què arribes tota el senyal emès– i 4096 –quan el senyal emès no retorna– i en el senyal digital es pot acabar d'ajustar el llindar entre els valors de 0 i 1 amb el potenciòmetre. Quan detecta una superfície blanca, tenim al senyal digital un 0 lògic i el LED d'estat s'encén. Quan el mòdul detecta una superfície negra, tenim un 1 lògic i el LED d'estat s'apaga.

4.3.5 MÒDUL HC-020K

Com en el mòdul KY-033, es tracta d'un sensor fotoelèctric IR i un fototransistor bipolar NPN, en aquest cas, però es tracta d'un sensor òptic de barrera; l'emissor i el receptor estan alineats oposats entre si i té una resolució de 0.01 mm i una freqüència de mesurament de 100 kHz.

La seva aplicació és per poder obtenir la posició o velocitat d'un motor per mitjà del codificador (*encoder*) que es col·loca en l'espai entre l'emissor i el receptor per tal d'interrompre o no el senyal. Quan el codificador interromp el senyal és quan es rep el 0 lògic. Com que el codificador es mou a la velocitat del motor, el senyal rebut esdevé un tren de polsos.

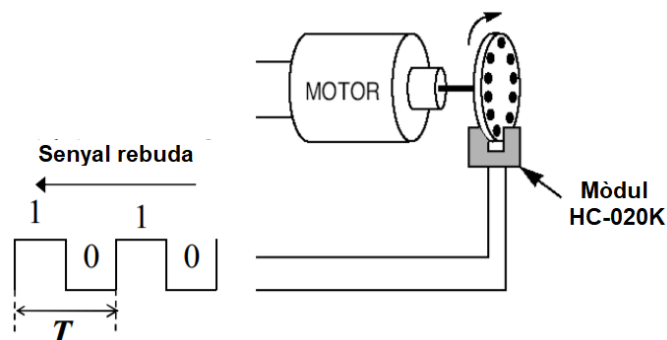


Figura 74. Esquema de funcionament del mòdul HC-020K.

El mòdul té 3 pins de connexió indicats com 5V, GND i OUT. Els dos primers s'encarreguen de l'alimentació i l'últim del senyal.

4.3.6 MÒDUL HC-SR501

El mòdul HC-SR501 conté el sensor LHI778 que es tracta d'un sensor PIR IR. Està encapsulat amb una lent Fresnel semiesfèrica feta de PEAD amb objectiu de permetre el pas de la radiació IR del rang d'entre els 8 i 14 microns. La lent detecta radiació en un angle amb obertura de 110° i, concentra l'energia a la superfície de detecció del sensor PIR, permetent més sensibilitat del dispositiu [84].

La seva aplicació es detectar la presència de la PMR en el RTPR per poder controlar la plataforma elevadora i la d'inclinació.

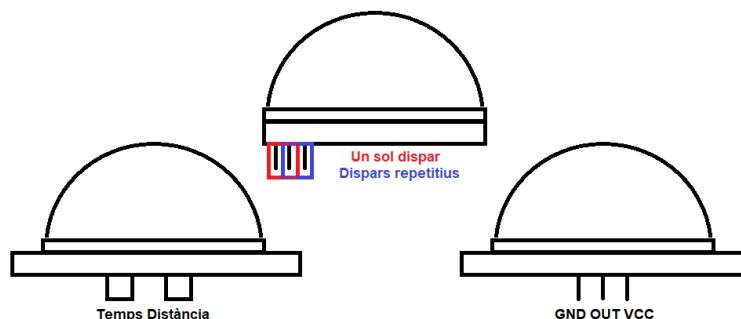


Figura 75. Esquema d'assignació de pins del mòdul HC-SR501.

El mòdul té 3 pins de connexió indicats com GND i VCC. Mentre els dos últims s'encarreguen de l'alimentació, on VCC l'alimentarem a 5 V

4.4 ACTUADORS DE PETITA SENYAL

Són els actuadors que s'encarreguen de les tasques de seguretat tant de la mateixa PMR com del seu entorn.

En totes les maniobres de treball que realitza, és necessari que porti incorporat avisadors lumínics i acústics [60][64]. Segons la maniobra que es realitza la seqüència d'aquests avisos és diferent.

Sempre que la plataforma elevadora s'estén o es replega s'activa l'avis lumínic i acústic de forma intermitent.




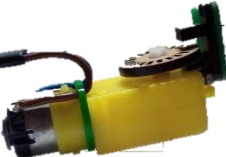
Actuador	Funció	Adaptació
Brunzidor passiu	Avis acústic	Intensitat sonora
LED	Avis lumínic	Quantitat i color

Taula 26. Recull d'actuadors de petita senyal utilitzats.

4.5 ACTUADORS DE POTÈNCIA

En la proposta del vehicle autònom hem pogut observar com, a causa dels esforços que havia de suportar la plataforma elevadora així com el mateix vehicle, s'han presentat actuadors elèctrics i hidràulics. En el prototip que presentem només farem ús d'actuadors elèctrics, ja que no necessitem l'ús de la potència hidràulica. Tanmateix, en aquest cas ha estat necessari fer una anàlisi comparativa per poder justificar l'elecció de cada motor segons la seva funció.

A continuació podem veure els diferents motors que s'han fet servir en el prototip i la seva funció.

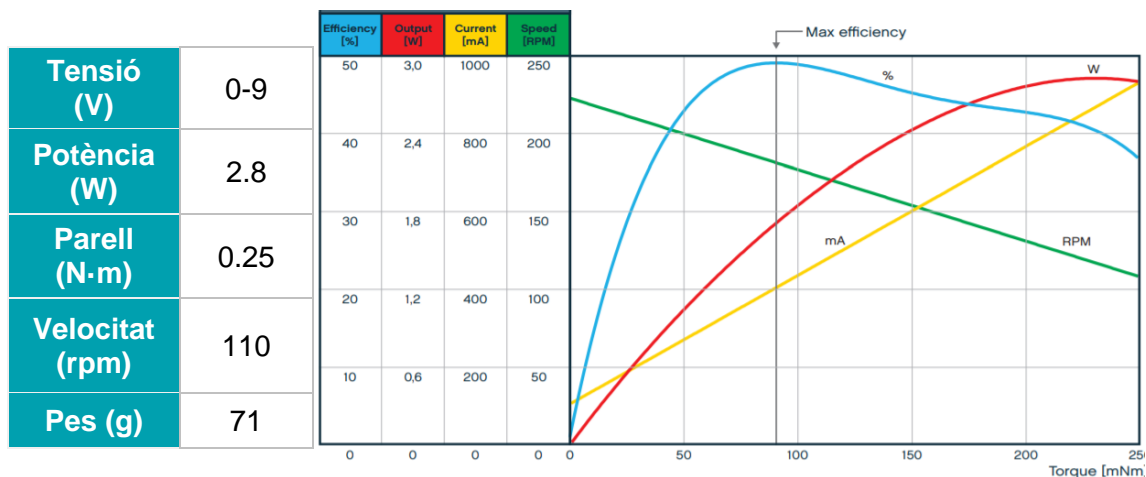
Aspecte	Tipus	Model	Unitats	Funció	Adaptació
	PaP	28BYJ-48	2	Desplaçament vertical de la plataforma elevadora	Potència i caixa reductora
	DC	XL Motor 8882	4	Desplaçament del vehicle	AC i potència
	Microservo	EF90D	2	Desplaçament horitzontal de la plataforma elevadora	DC i potència
	DC + actuador lineal	DG01D	1	Inclinació de la plataforma	Potència

Taula 27. Recull de motors utilitzats.

4.5.1 CONTROL DE TRACCIÓ

En el cas de la tracció del vehicle, s'ha valorat tant l'ús de servomotors com de motors DC. Els primers ens oferien un control molt més precís mentre que els segons una potència més gran. Finalment, el motor que ofereix les majors prestacions en relació amb el seu cost, és el XL motor de Lego, per tant, és el motor escollit.

Podem observar les seves característiques de forma més detallada així com les seves corbes de funcionament.



Taula 28. Característiques del motor.

Figura 76. Corbes característiques del motor.

Quan el vehicle va a càrrega màxima l'eficiència del motor segueix sent superior al 40%. Mentre que quan treballa sense càrrega, podem treballar a la seva màxima eficiència que és del 50%.

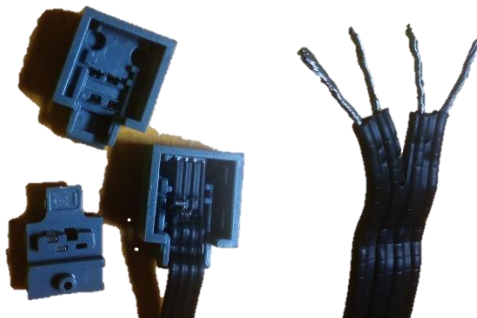


Figura 77. Aspecte intern de la connexió LEGO en el cable d'alimentació.

En aquest cas, podem observar a diferència dels motors DC que acostumem a fer servir te quatre cables en lloc de dos. Primerament, pensàvem que es tractava de dos cables per a l'alimentació i dos per al control [85][86].

Tanmateix, després d'investigar sobre la seva construcció interna hem pogut comprovar⁵⁶ com els cables dels extrems, que inicialment creiem que eren per a l'alimentació, senzillament no tenen cap ús, ja que només els dos centrals estan connectats al motor intern[87][88].

⁵⁶ Hem comprovat com en connectar-los no tenien cap efecte i com en el cas de connectar cada extrem amb el central tampoc no s'observava cap canvi de connectant només els dos centrals.

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
Laia Sánchez Tolo

El motor XL de Lego consisteix en un motor DC amb una reductora constituïda per dues etapes planetàries⁵⁷.

Per poder controlar el sentit de gir i la velocitat dels motors hem fet servir la placa controladora L298N.

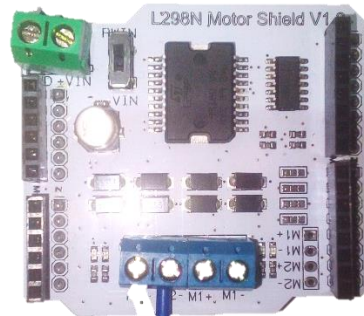


Figura 78. Aspecte de la placa controladora L298N.

El model de la placa que hem fet servir pot controlar dos motors de forma simultània i tot i que està preparada per encaixar-la amb la placa Arduino UNO, en el nostre cas hem mirat quins eren els pins que controlaven cada motor.

En el controlador L298N es fan servir la *In1*, *In2* i *EnA* per controlar un motor, i la *In3*, *In4* i *EnB* per controlar l'altre i la majoria de plaques controladores fan una assignació de pins de forma directa.

Tanmateix, aquesta placa controladora, el que fa és controlar *In1* i *In2* amb el pin 4 i *In3* i *In4* amb el 7 mentre que *EnA* és el 5 i *EnB* és el 6. Per aconseguir-ho estableix una fase prèvia on es nega l'entrada abans de la *In1* i la *In3* respectivament i es fa una doble negació a l'entrada de la *In2* i la *In4* respectivament⁵⁸.

Podem observar com podem alimentar la placa externament o seleccionar, per mitjà de l'interruptor, que s'alimenti de la mateixa placa controladora. Per motors de fins a 5 V i que consumeixin un corrent petit es podria alimentar des de la placa controladora, però en el nostre cas hem d'alimentar dos motors de 9 V que necessiten 1 A cadascun i per aquest motiu, farem servir l'alimentació externa.

Com que finalment fem servir quatre motors –inicialment n'eren dos– per a la tracció, necessitem dues plaques controladores.

4.5.2 CONTROL RETRÀCTIL

En el cas del control retràctil de la plataforma elevadora s'ha decidit fer servir la transmissió de pinyó-cremallera com en el disseny real i serà accionada per un servomotor que en aquest cas no necessita cap placa controladora.

Els engranatges tant del pinyó com de la cremallera s'han fet amb impressió 3D amb PLA amb una densitat entre el 80 i el 100%, densitat (*infill*) necessària tenint en compte que són peces que patiran esforços pel fet de ser les peces de transmissió del moviment.

⁵⁷ Podeu observar la disposició de les etapes de més detalladament en les referències [85][87].

⁵⁸ Per veure el circuit del controlador L298N i l'assignació de pins de la placa, aneu a l'ANNEX G, on podeu trobar totes les fitxes tècniques de sensors i plaques.

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
 Laia Sánchez Tolo

Del disseny que hem fet servir [89], hem pogut aprofitar el pinyó i hem hagut de modificar-ne la cremallera.

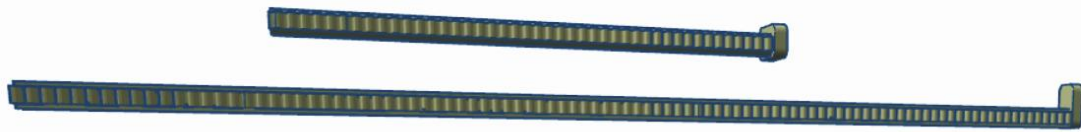
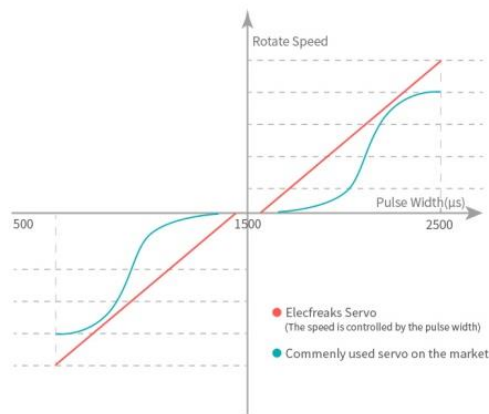


Figura 79. Model de cremallera –superior [89]– i cremallera modificada –inferior– per al prototip.

El –micro– servomotor escollit es el EF90D, que és de rotació continua. Si s'introdueix l'ample de pols mínim, establert com de 544 –vegeu la llibreria corresponent a l'ANNEX A– i introduït com a angle mínim de 0⁵⁹, gira en sentit antihorari a la màxima velocitat i si s'introdueix l'ample de pols màxim, establert com de 2400 i introduït com a angle màxim de 180, gira en el sentit horari a la màxima velocitat.

Tensió (V)	3.0-5.5
Parell (N·m)	0.157
Angle de rotació (°)	360



Taula 29. Característiques del servomotor. **Figura 80.** Corba de funcionament per modulació de polsos [90].

Per tal de poder acoblar el pinyó al microservo, ha estat necessari tallar, polir i encolar l'accessori del braç de plàstic. A continuació –Figura 79– podeu observar el procés.

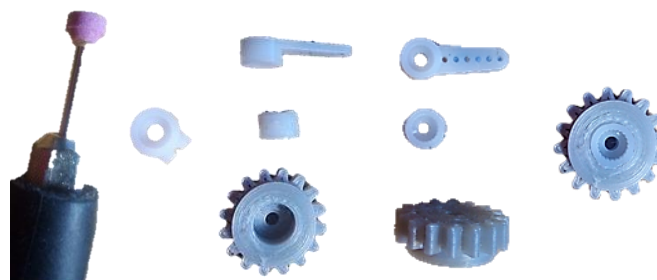


Figura 81. Eina i procés de muntatge de l'engranatge del servomotor.

Per calibrar el servomotor es fa amb l'angle de 90, que equival al repòs del servo i en cas que giri en algun dels dos sentits, amb el tornavis s'ha de girar el cargol central fins que deixi de girar.

⁵⁹ Ja que comparteix codi amb els servos de rotació de 180° on sí que correspon amb l'angle assignat, amb l'angle de gir.

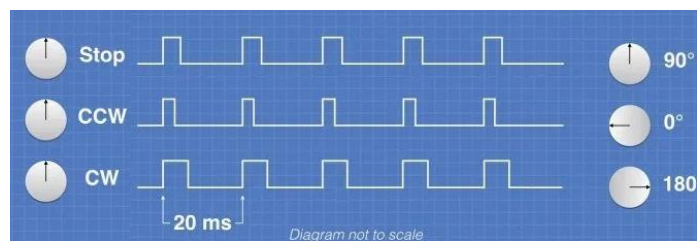


Figura 82. Efecte del PWM segons si el servo es de rotació contínua o de 180° [91].

No se'ns proporciona cap característica sobre la velocitat de sortida del servomotor i per aquest motiu l'hem obtingut experimentalment. Com que el disseny de la cremallera l'hem adaptat a les nostres necessitats, sabem la seva mesura exacta. A partir d'aquesta distància, anem ajustant el temps necessari per recórrer-la. En aquest cas la velocitat obtinguda serà directament amb la relació del pinyó-cremallera.

La velocitat màxima –*Taula 2*– és de 0.6 m/s. Com que treballem amb un prototip amb escala de reducció, per tal de vetllar pels temps reals de treball, també escalarem la velocitat. Per tant la velocitat màxima del prototip seria de 0.1429 m/s.

En un primer experiment hem pogut observar com a 10 triga 30 s a recórrer 0.326 m. Per tant, la velocitat en aquest cas és de 0,0108 m/s. Per tal de treballar en unes condicions més segures, reduïrem aquesta velocitat màxima a la meitat, que és de 0.07143 m. Considerant un comportament lineal, a continuació –*Taula 28*– es mostra les relacions de velocitat-temps calculades segons l'ordre del servo assignada.

Temps (s)	Velocitat (m/s)	Servo (PWM)
30	0.0109	100
15	0.0217	110
10	0.0326	120
7.5	0.0435	130
6	0.0543	140
5	0.0652	150
4.695	0.07143	154
4.286	0.0761	160
3.750	0.0869	170
3.333	0.0978	180

Taula 30. Relació de velocitat-temps del servomotor.

Per tal de veure els valors de temps i l'ordre equivalent del servo hem interpolat –*Equació 14*– però hem pogut observar que ens dona uns valors decimals, que el servo no admet i que tampoc podem establir amb precisió al temps, per tant, finalment l'ordre que s'enviarà serà la inferior.

La velocitat de translació de la plataforma elevadora serà de 0.0652 m/s on l'ordre del servo serà de 150 en el sentit horari i de 30 en el sentit antihorari. En tots dos casos la condició de temps serà de 5 segons.

4.5.3 CONTROL ELEVACIÓ

El moviment vertical de la plataforma elevadora es realitza per mitjà dels motors PaP, concretament el 28BYJ-48⁶⁰ té un pas de 5.625° i 64 passos per volta abans de la reductora, que té una relació de 64:1, per tant, a a la sortida té un pas de 0.088° amb un total de 4096 passos per volta.

Per controlar el motor PaP, es genera des de la placa ESP32, una seqüència d'activació i desactivació de les 4 bobines que conté, on activem les bobines d'una en una –les altres tres resten desactivades– de forma consecutiva, si fem l'activació en l'ordre invers, aleshores canviarem el sentit de gir.

El controlador de corrent que ens permet aplicar aquesta seqüència és el ULN2003A.

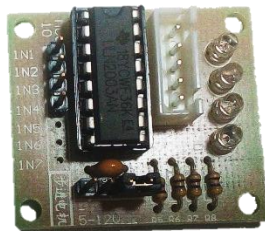


Figura 83. Aspecte de la placa ULN2003A.

Per tal que la plataforma es desplaci a 0.15 m/s –amb l'Equació 13– on la barra és de 0.065 m i aleshores, la velocitat del motor –a partir de l'Equació 11– és de 0.2417 rpm.

La seva velocitat se'ns indica per mitjà de la freqüència de funcionament que és de 100 Hz, fent la inversa trobem que el període és de 0.01 s. Si considerem que tenim 4096 passos per volta i fem el producte amb el període, que triga 40.96 s a fer una volta completa o 1.465 rpm, si fem la inversa del temps en revolució per segon i el producte amb 60 –que són els segons que hi ha en un minut– o 100 PPS on fem el producte amb la inversa i nombre de passos per volta. El màxim de PPS amb càrrega és de 700 i en buit de 1400.

Per tant, treballem a una velocitat inferior a la nominal, on en aquest cas trigaria 242.9 s o entre 16 i 17 PPS.

El parell màxim s'expressa com a *pull in torque* i és de 30 gf·cm que és el mateix que 0.0029 N·m⁶¹.

4.5.4 CONTROL DE POSICIÓ

El primer plantejament era fer un control de la posició per mitjà del pes detectat a la plataforma elevadora mitjançant la cèl·lula de càrrega –que fa servir el sistema de galgues extensomètriques– i el mòdul HX711. A partir del pes, s'ajustaria la força necessària per inclinar la plataforma.

⁶⁰ En l'ANNEX H.A podeu veure la construcció de la reductora –on es pot observar la relació d'1:64 és una aproximació– així com la fitxa tècnica del motor

⁶¹ Podem observar la demostració en el següent enllaç, d'on també tenim algunes equivalències entre retard entre polsos i PPS: http://www.jangeox.be/2013/10/stepper-motor-28byj-48_25.html

Finalment, hem optat per fer servir un codificador en el motor DC que motoritza l'actuador lineal de manera que ens permet controlar la seva velocitat i la posició d'una forma més versàtil on en aquest cas, no considerem significativa la diferència de pes que hi haurà a la plataforma.

Un actuador lineal ens permet exercir forces elevades a velocitat reduïda sense la necessitat d'implementar una caixa reductora, ja que ho permet el mateix mecanisme de l'actuador. A continuació –*Taula 30*– podem observar l'augment de la càrrega que permet suportar amb la seva implementació.

		Càrrega (kg)					
		Sense cilindre ni actuador	Actuador lineal			Cilindre pneumàtic V2 2 x 11	
			S	M	L		
Sense motor		-	2.2	-	-	-	3.0
Motor	M	0.82	-	2.9	6.1	7.7	-
	L	1.91	-	3.5	6.6	6.0	-
	XL	4.81	-	3.0	6.0	9.0	-

Taula 31. Càrrega suportada segons motor i transmissió lineal [92][93].

Finalment, s'ha optat per aconseguir el control de la posició per mitjà d'un codificador, amb un nombre de ranures del disc N_r de 20. Per calcular la velocitat angular w fem servir la següent fórmula:

$$\text{--- rpm}$$

Equació 20.

On:

- : velocitat angular del motor
- r : nombre de ranures del disc
- : temps entre flancs de pujada

Per realitzar aquest assaig de velocitat, les condicions del PWM ha estat a 150 –de 255–, és a dir, al 58.82 % de la seva velocitat màxima. Per conèixer el t_f hem fet la mitjana amb els 30 primers valors, el resultat ens ha donat que t_p 0.056 s. Si substituïm l'*Equació 12*, w és de 59.288 rpm.

En el nostre cas, el nostre objectiu és controlar la inclinació de la plataforma que l'actuador lineal governa, per aquest motiu amb la velocitat angular del motor calcularem el desplaçament lineal de l'actuador que a la vegada ens permetrà conèixer els graus que inclina la plataforma.

Per trobar la velocitat lineal, on considerem que es desplaça a una velocitat constant⁶².

$$\text{--- m/s}$$

Equació 21.

⁶² La relació d'engranatges és de multiplicació i és de 1.66:1.

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
Laia Sánchez Tolo

On:

- v : velocitat lineal del motor
- l : recorregut del pistó
- N_p : nombre de polsos contats
- t_f : temps entre flancs de pujada

Sabem que el recorregut de l'actuador és de 65 mm, si substituïm l'Equació 13, obtenim una velocitat de 0.0024 m/s.

Finalment, coneguda la posició en la qual treballa el pistó, podem conèixer la relació entre el recorregut de l'actuador i l'angle màxim d'inclinació que pot assolir geomètricament.

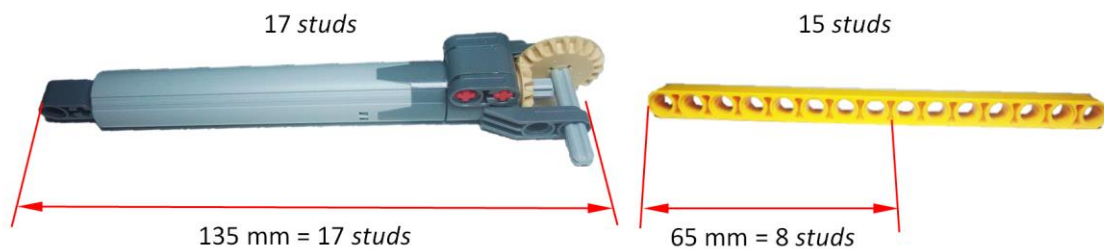


Figura 84. Aspecte i mida de l'actuador lineal i la viga Technic de 15 forats.

Si construïm el triangle on les mesures es mostren en cm:

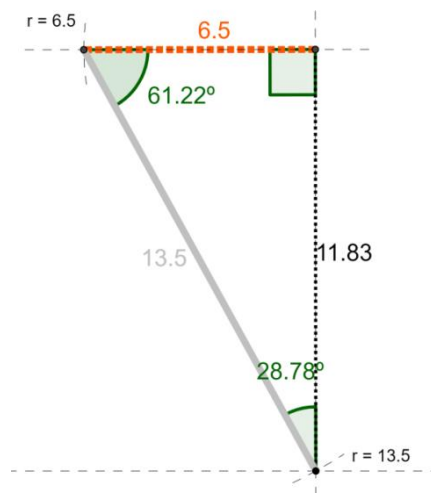


Figura 85. Dibuix de la geometria del triangle.

Per tant, quan l'actuador lineal es troba en la màxima extensió podem observar:

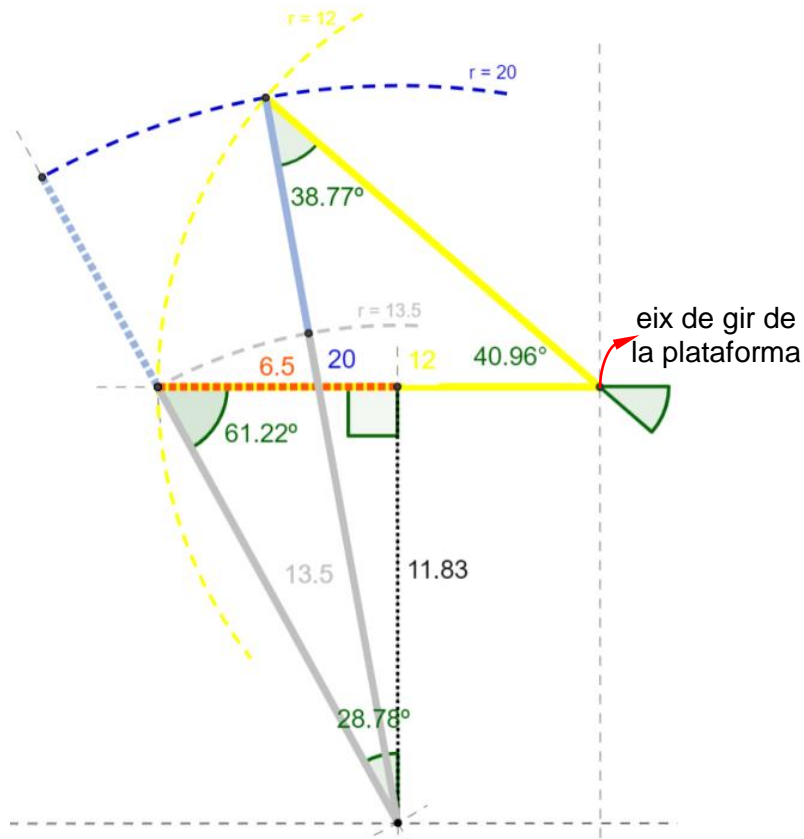


Figura 86. Dibuix de la geometria de l'angle de gir de la plataforma.

Per tant coneixent el temps que triga a assolir la seva màxima extensió⁶³ i l'angle de gir, podem determinar la velocitat angular de l'eix de gir de la plataforma.

$$\text{--- } \text{°/s}$$

Equació 22.

On:

- : velocitat angular de la plataforma (en °/s)
- : angle de gir de la plataforma (en °)
- p : nombre de polsos contats
- : temps entre flancs de pujada

$$\text{--- } \text{rad/s}$$

Equació 23.

On:

- : velocitat angular de la plataforma (en rad/s)
- : angle de gir de la plataforma (en °)
- p : nombre de polsos contats
- : temps entre flancs de pujada

⁶³ Perquè el motor no provoqui que l'actuador giri sobre el seu propi eix, tant en la posició inicial com quan ha assolit la màxima extensió, és important exercir una petita força de bloqueig.

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
Laia Sánchez Tolo

L'angle de gir de la plataforma α és de 40.96° i la velocitat angular calculada amb l'Equació 22 és $1.505 \text{ }^\circ/\text{s}$ –que podem observar que és menor dels $4 \text{ }^\circ/\text{s}$ que estableix la normativa– i amb l'Equació 23 és 0.0263 rad/s i a partir de l'Equació 11 que és de 0.25 rpm .

La inversa de la velocitat angular de l'Equació 22 és el temps que triga en recorre un grau que expressat en ms és de 665.

En aquest cas, el motor que acciona l'actuador lineal és el DG01D, un motorreductor d'engrenatges d'eixos paral·lels⁶⁴.

4.5.5 ALIMENTACIÓ

En la proposta del vehicle real hem observat com es disposava d'una estació de càrrega sense fils. En el cas del prototip es disposa d'una alimentació externa de 9 V.

Com que la programació de la transferència d'energia per mitjà de la tecnologia NFC queda fora de l'abast d'aquest treball i les bateries portàtils que s'adeqüen a les necessitats del consum del nostre prototip tenen un cost elevat, s'ha rebutjat la implementació d'aquest sistema d'alimentació i recàrrega en el prototip.

Per aquest motiu, finalment hem decidit d'alimentar-lo per mitjà de piles recarregables AA, que connectades en sèrie ens donen el valor de tensió desitjat de 9 V –sent de 9.6 V teòrics. Tanmateix, si no estan carregades al 100%, fàcilment esdevenen 9 V.

En el cas del motor DC DG01D, que acciona l'actuador lineal, s'alimentarà per mitjà de l'alimentació externa. Per aquest motiu, per limitar la tensió dels 9 V als 4.5 V de funcionament normal farem servir el convertidor reductor XH-M404 que fa servir el circuit integrat XL4016E1 que ens permet treballar amb corrents d'entrada més elevades.

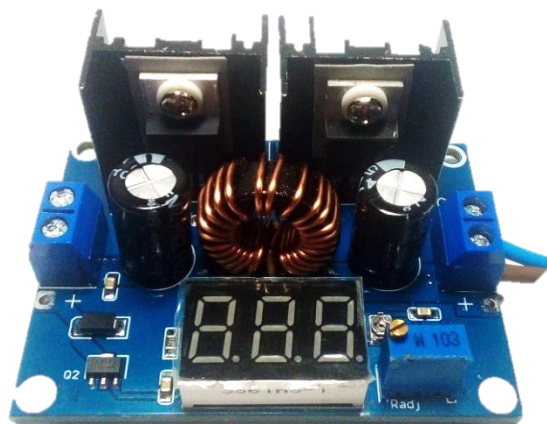


Figura 87. Aspecte del convertidor reductor XH-M404.

Ja que finalment la configuració de la tracció es compon de quatre motors en lloc de dos, provisionalment s'ha treballat amb una configuració d'alimentació independent per cada placa de control motor –Figura 76– amb la configuració de 8 piles recarregables AA per a dos motors XL, 6 piles AA –no recarregables– per als altres dos motors XL i finalment 4 piles AA recarregables per al motor DG01D.

⁶⁴ Podeu observar la disposició de les etapes de més detalladament en el següent enllaç: <https://www.youtube.com/watch?v=rookKsr-8KM>

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
Laia Sánchez Tolo

La configuració final⁶⁵ ha estat 8 piles recarregables C de 1.2 V i 5000 mA·h connectades en sèrie en un únic portapiles. Podem observar que en aquesta distribució la tensió final serà de 9.6 V.



Figura 88. Aspecte de la bateria del prototip.

Com que les plaques controladores s'alimenten per mitjà de l'ESP32 i els motors XL no consumeixen més d'1 A, la placa no subministra més de 2 A, per aquest motiu, treballa de forma òptima.

Per aquest motiu tot el cablejat que va de la pila a les plaques controladores dels motors i als motors s'ha adequat a el corrent admissible, segons la *NTP 169: Condiciones de cableado en máquinas* [94], com que el nostre cas els cables es troben aïllats, per tant, no es troben a l'aire –com passa amb els cables d'alta tensió– ens trobem en el cas que es troben sota canalització.

Podem observar com, considerant que les nostres condicions de treball no són intenses, les considerem normals, el REBT és més restrictiu que la normativa CEI, ja que considera una temperatura ambiental més elevada. Amb la intensitat amb la qual treballem només disposem de seccions segons *MIBT 017 - Tabla I* on podem observar com per a una secció de 0.5 mm² la intensitat admissible és de 5.5 A, tot i que aparentment i teòricament hauria de ser la secció escollida, la nostra bateria proporciona més intensitat de la que especifica les seves característiques tècniques i per aquest motiu, la secció escollida és de 0.75 mm², d'aquesta manera la intensitat no supera l'admissible.

Els servomotors i els motors PaP aniran alimentats des de la mateixa alimentació de la placa, ja que la seva demanda de tensió i corrent és reduïda.

⁶⁵ Havia de consistir en una pila de 9 V i 4800 mA·h, però al final a resultat que el producte no compleix aquestes característiques, però, tanmateix, hem pogut aprofitar la connexió de borns.

5. PROGRAMACIÓ DEL PROTOTIP DE VEHICLE AUTÒNOM

En el procés de programació del prototip primer hem dividit les tasques per sensors i hem provat el seu funcionament de forma integrada. Seguidament, hem combinat progressivament els processos per finalment fer la integració completa.

Hem fet servir funcions *void*, per executar accions i *int* per retornar el valor, l'estat d'una variable fruit de la lectura de senyals i/o càlculs intermediaris o per realitzar accions més versàtils.

Per fer el codi més eficient en l'àmbit d'ocupació de la RAM, una mesura senzilla, però eficaç que hem aplicat, ha estat declarar l'assignació de pins mitjançant constants enters (*const int*) en lloc d'enters (*int*) i l'hem preferit a la forma de definir (*#define*) per poder identificar més fàcilment els possibles errors de codi [95].

mòdul i quan internament s'ha acabat de rebre el xirp –és a dir, ha arribat fins a l'objecte a detectar i ha retornat– el senyal de retorn finalitza i ens retorna el valor de l'ample del pols generat.

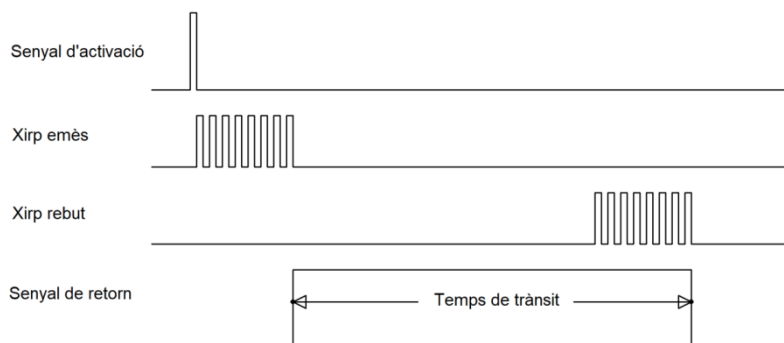


Figura 90. Seqüència de funcionament del mòdul HC-SR04 [96].

En el nostre cas tot i que la velocitat a la qual es desplaça varia, la distància mínima a la qual es trobi la persona que faci aturar el RTDP per motius de seguretat serà de 0.2 m.

Quan el RTDP està aturat i ha d'estendre la plataforma elevadora, aleshores la distància també serà de 0.2 m, però comptant des de la màxima extensió de la plataforma, serà de 1.4 m.

Pel que fa a la detecció de la PMR, com que el sensor HC-SR501 detecta el moviment, per comprovar que la PMR s'hagi col·locat correctament primer haurà de detectar el moviment i després que ja no es mou. Per aquest motiu fins que el senyal no sigui 0, no donarem pas a la següent acció.

Quan ha acabat tot el procés, els senyals a llegir són exactament les mateixes, primer el moviment i després la quietud i de nou, no serà fins que hi hagi un 0 que donarem pas a la següent acció.

5.2 SEGUIDOR DE LÍNIA

Podem observar com aprofitem tant la superfície com el color per crear els llistats de treballs. S'ha decidit que el color brillant sigui diferent dels colors opacs perquè visualment també es pugui distingir i sigui més senzill conèixer la trajectòria que ha de seguir.

En el programa, el negre correspon al rang de valors més elevats del senyal, el blanc als entremetjos i finalment el vermell brillant als més petits.

En aquest apartat ens hem trobat amb un problema d'incertesa davant de la sincronització del moviment; com que no podem diferenciar més enllà dels tres rangs definits, fàcilment podem confondre el color de consigna blanc amb un valor que es trobi o bé fora de la línia a seguir o bé entre canvi de color. Per aquest motiu hem descartat la seqüència plantejada originalment –ANNEX J– i hem optat per canviar la distribució dels sensors a més d'afegir-ne un altre. D'aquesta manera aconseguim resoldre la qüestió de sincronització i incertesa sense necessitar fer un salt tecnològic com podria ser sensors que permetessin la detecció del color o bé un sistema de vídeo els programes dels quals també tindrien un nivell més elevat de complexitat.

En aquest cas la distribució dels 4 sensors formen un quadrat; dos sensors per als laterals i dos per als centrals, un davant i l'altre darrere. Per realitzar la seqüència de gir de 90° el sensor de la posició es troba en roig o blanc –segons el sentit de gir– i els altres tres dins de la línia, és a dir, en negre. Quan el sensor lateral del sentit de gir detecti roig o blanc, voldrà dir que els 90° s'hauran acomplert.

Al tenir aquesta distribució el sensor posterior ens permet discernir entre si ens trobem dins del camí marcat o no.

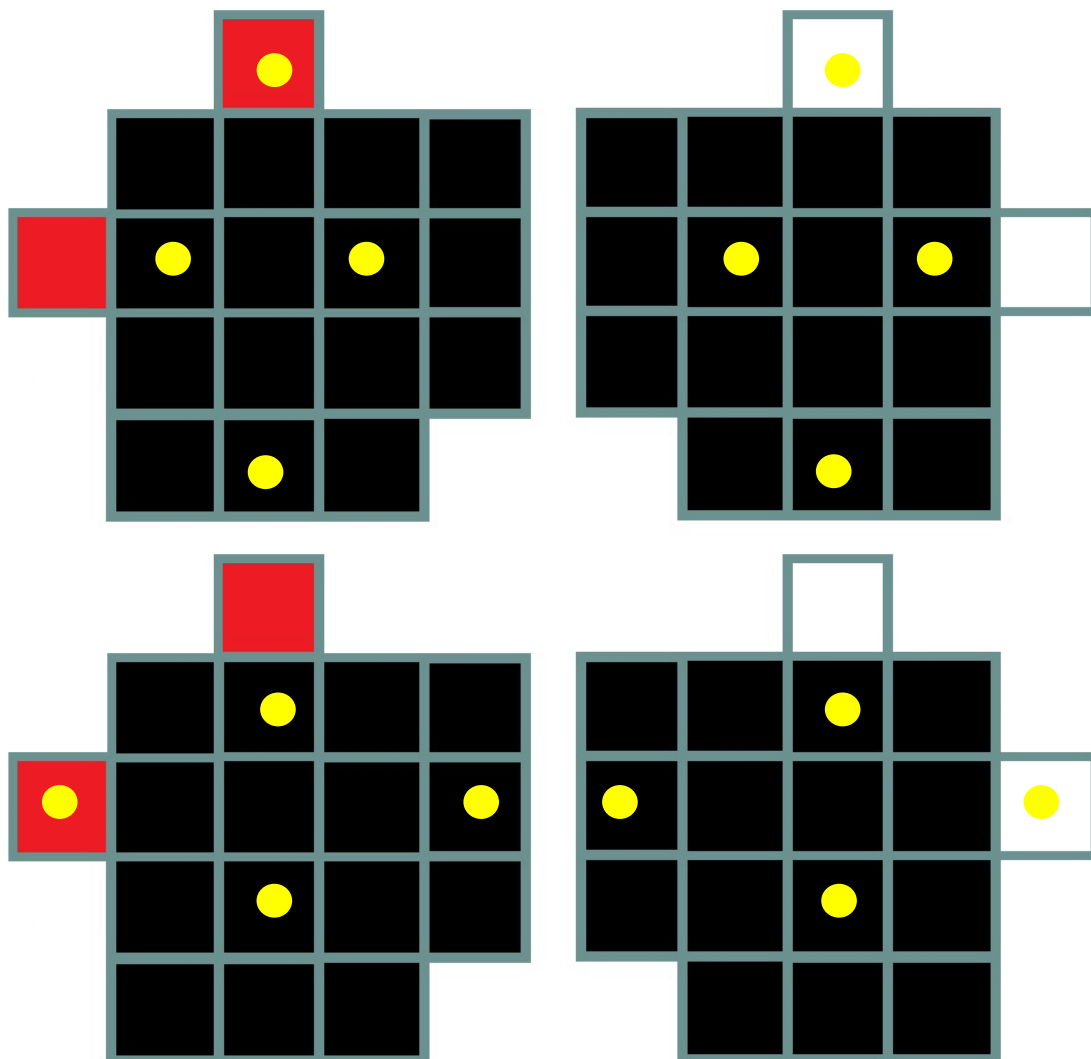


Figura 91. Seqüència de gir.

Per no cometre el mateix error que en el primer disseny, no establim una seqüència concreta per al gir de 45°. Aquesta seqüència es realitzarà de forma més lenta tot seguint el camí de la línia que traçarà el gir de forma més progressiva.

5.3 ACTUADORS

Tot i que la interfície de programació que fem servir per a la placa controladora és la mateixa que per a les plaques d'Arduino, les llibreries que fan servir respecte al PWM, els servomotors i els motors DC, són diferents i no són intercanviables.

5.3.1 AVISOS LLUM I SO

Per al senyal acústic, fem servir la llibreria *Tone32*, que ens permet fer servir la funció *tone* que assigna a quin pin està connectat el bronzidor passiu o l'altaveu, quina freqüència ha d'emetre, quant temps ha de dura el senyal i per quin canal.

La llibreria *Tone32* a la vegada utilitza la llibreria *itches*, que ens defineix cada nota segons la seva freqüència en Hz, com en el cas de *NOTE_B4* definida a 494.

El senyal lluminós consisteix a encendre i apagar un LED que acompanya de forma simultània al senyal acústic.

5.3.2 SERVOMOTOR

Fem servir la classe *Servo* de la llibreria *esp32PWMMUtilities*, ens permet fer servir la funció *attach* per assignar a quin pin està connectat el servo i la funció *write* per assignar el valor de l'ample de pols.

Com que la disposició dels servos està oposada, quan un servo ha de girar en sentit horari, l'altre ho ha de fer en sentit antihorari i viceversa. Per aquest motiu podem observar com la funció *plataforma_retractil* és un aspecte que considera i incorpora i d'aquesta manera es pot fer servir la mateixa funció tant per a l'extensió de la plataforma com per a la recollida, on senzillament s'inverteixen els sentits de gir de cada servomotor.

Per controlar el temps d'activació del servo, establim el temps determinat en recórrer tota la cremallera com a condició. En cas que el temps s'hagi acabat, fem que estigui en repòs i per tal que no se suposi cap consum, canviem la seva assignació per un pin que no fem servir.

Un altre aspecte a considerar és la simultaneïtat d'acció amb els avisos acústics i lluminosos. Per aquest motiu fem servir la funció *millis*, que ens permet tenir aquest control del temps transcorregut en lloc d'un *delay*, que ens atura els processos durant el temps establert.

5.3.3 MOTOR PAP

En aquest cas no es fa servir cap llibreria, es pot veure la funció per fer girar en sentit horari i antihorari respectivament seguint la seqüència d'activació i desactivació de bobines.

Com en el cas dels servos, estan en posicions oposades, però en aquest cas comparteixen pins, i per aquest motiu el que s'inverteix és la connexió dels pins i d'aquesta manera el mateix codi ja fa funcionar els dos motors PaP en els sentits oposats.

Podem observar que hi ha una funció per a baixar la plataforma i una per pujar on, en tots dos casos es compara l'angle de consigna amb els passos que ha donat el motor PaP.

Un cop s'ha assolit l'angle de consigna, desactivem totes les bobines amb la funció *apaga_PaP* d'aquesta manera, els motors PaP no consumeixen sense que sigui necessari i evitem que se sobreescalfin.

Una de les problemàtiques amb què ens hem trobat, és la precisió del moviment en el canvi de sentit, on es pot acumular un error de fins a 6°, per aquest motiu, quan elevem la plataforma, ens excedim 10° per després tornar enrere i d'aquesta manera els engranatges sempre posicionats en una direcció exacta.

La velocitat del motor PaP, la determina la variable *retard_pas_PaP*, que és el temps de retard entre cada activació de bobina⁶⁶, que si menyspreem el temps que triga el processador a executar l'ordre, es tracta del període de pas. A continuació –Taula cc– podem observar la relació inversament proporcional amb la velocitat o freqüència.

Retard (µs)	Velocitat (pps)
1250	800
2000	500
3003	333
10000	100
62500	16

Taula 32.
Característiques del motor.

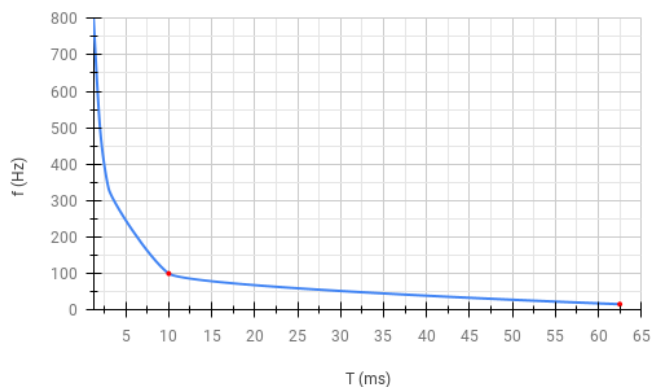


Figura 92. Corba de velocitat del motor PaP.

En la gràfica podem observar dos punts marcats, el de la velocitat nominal, a 100 pps i el de la nostra velocitat de treball a 16 pps on, el retard en µs que hi haurà entre cada pas, serà de 62500. En aquest cas, vist externament, no es percebrà un moviment lineal sinó que s'observarà clarament esglaonat, on es podrà distingir entre cada pas.

5.3.4 MOTORS DE TRACCIÓ

Fem servir la classe *Motor* de la llibreria *esp32PWMUtilities*, ens permet fer servir la funció *attach* per assignar a quin pin està connectat el servo i la funció *moveMotor* per assignar el valor de l'ample de pols on en aquest cas 0 correspon a no alimentar el motor i 255 a la velocitat màxima. En la funció *attach* podem observar com repetim el pin de control ja que com hem explicat anteriorment –apartat 4.5.1– aquesta placa controladora només fa servir un únic pin per controlar el motor i un per activar-lo o desactivar-lo.

En aquest cas, també tenim les funcions *lockMotor* i *freeMotor* que no farem servir, però que serveixen respectivament per bloquejar, és a dir, impedir poder girar el motor manualment i desbloquejar-lo.

A partir de la funció *tracció*, com que la velocitat es regula per mitjà de l'ample de pols

⁶⁶És necessari que deixem aquest retard, ja que del contrari no deixaríem el temps necessari perquè les bobines es puguin imantar o desimantar, el motor no giraria i es podria fer malbé creant curtcircuits en el bobinat.

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
Laia Sánchez Tolo

que s'envia, decidirem quina acció ha de realitzar; avançar, retrocedir o girar en un sentit o en l'altre en un angle concret. Tanmateix, com que en aquest cas treballem amb velocitats més diverses, en lloc de definir una variable per a cada cas, s'introdueix directament la velocitat numèricament.

5.3.5 ACTUADOR LINEAL

Per calcular el temps transcorregut entre polsos hem fet servir la funció *micros* –per tenir més precisió que amb *millis*– i hem fet un comptador on mostràvem el seu valor final pel *Monitor Serie* per poder saber el nombre total de polsos per a la màxima extensió de l'actuador lineal.

Fem servir la classe *Motor* de la llibreria *esp32PWUtilities* de la mateixa manera que en els motors de tracció perquè també es tracta d'un motor DC.

La velocitat del motor per als càlculs ha estat limitada a 150 de 255. Com que en el prototip l'actuador lineal es desplaça més lentament que la base motoritzada pels motors XL, el temps que es multiplicarà per l'angle d'inclinació donada per l'acceleròmetre, serà de 390 ms –en lloc dels 665 ms trobats– que és el temps equivalent quan el motor treballa a velocitat màxima on la velocitat angular resultant –aplicant una relació lineal– és de 2.559 °/s.

6. RESULTATS

En aquest apartat mostrarem l'aspecte final del prototip que escalat aproximadament a 1:4 on podem observar les diferents estructures i actuadors que el componen.

Primerament podem observar en la *Figura 93* la integració de totes les plataformes en l'aspecte general del prototip on hem agafat una posició de repòs.



Figura 93. Aspecte general del prototip del RTPR.

Seguidament mostrem en la *Figura 94* el RTPR en la posició d'accés al tren en la hipòtesi que porta la PMR i per aquest motiu observem com la plataforma d'inclinació es manté paral·lela al terra quan l'estructura base, la de tracció es troba en un pla inclinat. En aquesta situació l'actuador lineal encara li queda recorregut perquè l'angle del pla inclinat encara podria ser més elevat.



Figura 94. Aspecte de la plataforma d'inclinació del prototip del RTPR.

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
Laia Sánchez Tolo

La plataforma que ens resta per veure detalladament és la retràctil. En la *Figura 95* podem observar-la en la posició estesa i inferior, preparada per a l'accés de la PMR. Podem observar els servomotors que amb l'engrenatge que fa de pinyó que permet la transmissió per la cremallera que en les dues figures anteriors hem pogut observar en la posició replegada, on també hem pogut observar una petita estructura groga a l'extrem del RTPR que té com a finalitat subjectar l'últim tram de la plataforma retràctil quan es troba en la posició estesa per tal que les barres no s'inclinin a conseqüència del pes de la mateixa plataforma.



Figura 95. Aspecte de la plataforma retràctil del prototip del RTPR.

En aquesta figura podem observar també com el primer tram, que en la figura anterior tenia una inclinació aproximada de 90° , en aquest cas ha quedat també desplegada per cobrir la diferència d'alçada generada per la mateixa plataforma respecte al terra.

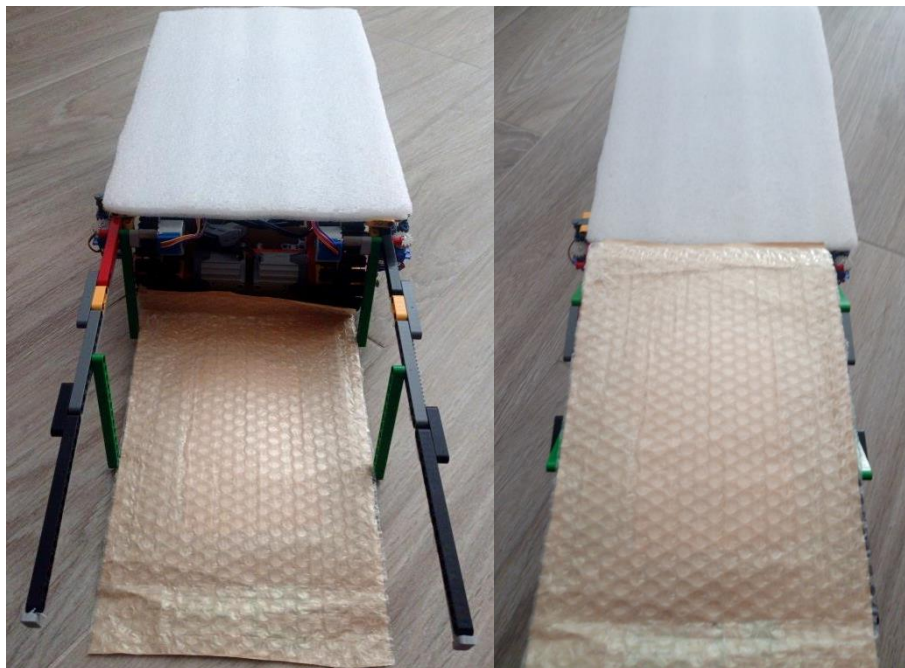


Figura 96. Aspecte de les dues posicions del mecanisme d'elevació del prototip del RTPR.

Finalment mostrem el mecanisme d'elevació del paral·lelogram on mostrem en la

Figura 96 la posició inferior, on les barres articulades es troben en posició vertical i es pot observar el motor PaP a cada extrem i la posició superior, on en aquest cas tenen un lleu angle positiu respecte l'horitzontal, ja que la plataforma d'inclinació que és on se situa la PMR es troba lleugerament per sobre de la plataforma retràctil.

En aquesta figura, podem observar també com l'últim tram de la plataforma retràctil que en la posició inferior queda inclinada aproximadament 90° , en la posició superior queda desplegada per cobrir al diferència generada per l'arc de circumferència que traça el sistema de paral·lelogram.

CONCLUSIONS

Aquest treball ens ha permès conèixer la situació actual i futura de l'accessibilitat dels combois de Rodalies de Catalunya –operat per RENFE– així com la poca convergència en la informació i la manca de detall en aquesta. Hem pogut comprovar que les solucions establertes poden no complir amb una accessibilitat real i com aquestes mateixes mesures s'ha previst de repetir-les en les propostes futures.

També hem pogut comprovar com està previst adquirir nou material rodant que no disposen de cap dispositiu ni estructura que el faci accessible i com les estructures descartades en alguns combois s'ha considerat d'aplicar en d'altres. Tot i l'ample termini de 14 anys per adaptar i adquirir material rodant fins a tenir una flota completament accessible, l'actual i la previsió de futur d'incompliment de la normativa vigent impunement fa que ens qüestionem la intenció mateixa que té Rodalies de Catalunya sobre aquesta.

Aquesta realitat ens ha fet comprovar que l'objectiu d'aquest projecte és i seguirà sent necessari d'assolir per vetllar per al compliment de la normativa actual que regula l'accessibilitat en les xarxes ferroviàries així com per vetllar per la inclusió de les PMR dins d'aquesta mateixa xarxa de transport.

Respecte al disseny del prototip de la solució a aquest problema, hem pogut anar valorant i descartant diverses opcions i alternatives fins a trobar el disseny escollit del nostre RTPR que redueix al màxim els canvis estructurals dels combois i fa que no siguin necessaris canvis estructurals en les andanes. La realitat de no trobar-nos amb cap precedent de la nostra proposta ha fet que hàgim hagut de comparar les estructures que el componen per separat amb els antecedents o productes existents.

Hem pogut conèixer i fer front a la normativa reguladora tant de la part estructural com dels aspectes dinàmics del RTPR on hem hagut de considerar per separat i en conjunt segons les estructures que hem escollit per a la seva composició.

Seguidament, el disseny i construcció del prototip a escala ens ha permès veure l'aproximació del funcionament del RTPR així com la integració de totes les parts i funcions que el componen on hem vetllat per mantenir una coherència en els actuadors escollits per a cada accionament. Els resultats obtinguts amb el prototip permeten validar el disseny i la seva funcionalitat.

També ens ha permès fer front a la construcció i integració de les seves estructures, on ha estat necessari comparar diferents sistemes i possibilitats, així com a la selecció i programació de tots els mòduls, sensors que permeten el correcte funcionament i control tant dels actuadors com del prototip en si.

Finalment podem diferenciar dues línies de treball futur sobre les que podríem treballar que serien respectivament la difusió d'aquest projecte i la consolidació d'alguns aspectes del mateix prototip.

La primera línia de treball passaria per la difusió en les mateixes administracions i empreses responsables per poder donar una continuïtat real a aquest projecte amb la finalitat que fos possible la construcció d'un prototip real que ens permetés veure i corregir tots els aspectes que fossin necessaris perquè finalment poguéssim arribar a prestar el servei per al qual està dissenyat.

En aquest punt, no podem oblidar la importància de l'homologació de totes les normatives reguladores que hem vist al llarg del treball per tal d'oferir un producte

Prototip d'un vehicle automatitzat per a l'accés al tren
Laia Sánchez Tolo

rigorós, segur i funcional a la vegada.

Paral·lelament també seria necessari perfilar la comunicació entre el RTPR i la PMR, de forma que permetés també personalitzar i oferir més versatilitat a i en les persones usuàries, on en aquest projecte s'ha dimensionat per a PMR que facin us de cadira de rodes, així com entrar en més en detall en la seguretat per a la PMR quan es troba en el RTPR en l'interior del tren, ja que les instal·lacions actuals que es troben en els espais reservats per a PMR, consten de dispositius que necessiten tenir una bona mobilitat en el tronc superior i que actualment majoritàriament queden en desús.

BIBLIOGRAFIA

1. COCEMFE. *Barreras_Cercanias* [fotografia]. COCEMFE, 2017-12-26, ©2019-2021. [Consulta: 26-03-2022]. Disponible a: <https://www.cocemfe.es/informate/noticias/el-80-de-las-estaciones-de-tren-de-cercanias-no-son-accesibles/>
2. Madrid. Reial Decret 1544/2007, de 23 de novembre, *pel qual es regulen les condicions bàsiques d'accessibilitat i no-discriminació per a l'accés i la utilització de transport per a persones amb discapacitat* [en línia]. Butlletí Oficial de l'Estat, 2007-12-04, suplement núm. 39, pp. 5140 a 5166. [Consulta: 20-09-2021]. Disponible a: https://www.boe.es/boe_catalan/dias/2007/12/14/pdfs/A05140-05166.pdf
3. Macias i Arau, Pere, Pérez Sanz, Gema, Morón Molina, Virtu i Gota Lozano, Inmaculada. Actualització del Pla de Rodalies de Catalunya 2020-2030 [en línia]. *Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana*. 2010-12. [Consulta: 24-11-2021]. Disponible a: https://www.renfe.com/content/dam/renfe/es/Comunicaci%C3%B3n-y-renfe-al-dia/sala-de-prensa/Local-Delegacion-Nordeste/PDF-y-otros/act%2020210309_PLA%20RODALIES%20DE%20CATALUNYA-CATAL%C3%80.pdf
4. Olabarrieta, Begoña. Viajar sin barreres [en línia]. *Ferrocarril*. 2009-11. [Consulta: 24-09-2021]. Disponible a: <https://www.fomento.gob.es/AZ.BBMF.Web/documentacion/pdf/A21795.pdf>
5. Generalitat de Catalunya. Renfe finalitza la remodelació de 18 trens de la sèrie 447 que presten servei a Regionals [en línia]. *Generalitat de Catalunya*. 2016-09-26. [Consulta: 24-09-2021]. Disponible a: <https://web.archive.org/web/20161031132858/http://rodalies.gencat.cat/ca/actualitat/RemodelacioRegionals>
6. Generalitat de Catalunya. Renfe ha invertit 138 milions d'euros en fer accessibles tots els trens de la sèrie 447 de Rodalies de Catalunya [en línia]. *Generalitat de Catalunya*. Actualització: 2021-02-04. [Consulta: 05-09-2021]. Disponible a: http://rodalies.gencat.cat/ca/alteracions_del_servei/Article/Accessibilidad-00014
7. Renfe. Què és el servei d'assistència? [en línia]. *Renfe*. 2021-07-01. [Consulta: 05-03-2022]. Renfe. Disponible a: <https://www.renfe.com/es/ca/viajar/informacion-util/servicio-de-asistencia/que-es>
8. Renfe Data. Número de asistencias del Servicio Atendido por los diferentes tipos de discapacidad o movilidad reducida. Años 2013 a 2019. [en línia]. *Renfe*. Actualització: 2020-11-10. [Consulta: 24-03-2022]. Disponible a: <https://data.renfe.com/dataset/atendo-por-tipo-de-discapacidad/resource/b59b5dc6-d9ad-41b1-8185-34ffc2f2b64e>
9. Renfe Data. Número de asistencias totales del Servicio Renfe Atendido. Años 2013 a 2019 [en línia]. *Renfe*. Actualització: 2020-11-10. [Consulta: 24-03-2021]. Disponible a: <https://data.renfe.com/dataset/numero-de-asistencias-del-servicio-renfe-atendo/resource/63d540e9-a76c-4000-9b92-60fd5ff0eb58>
10. Ábalos Meco, José Luis. Pla de Rodalies de Catalunya 2020-2030 [en línia]. *Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana*. 2020-12-11. [Consulta: 24-11-2021]. Disponible a: <https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/>

notasprensa/transportes/Documents/2020/111220_Presentacio_plan_rodalies_2020-2030.pdf

11. Renfe. Plan de Accesibilidad Universal [en línea]. *Dirección de Accesibilidad, Innovación y Sostenibilidad*. 2011-03. [Consulta: 10-09-2021]. Disponible a: https://web.archive.org/web/20200602164655/https://www.renfe.com/docs/plan_accesibilidad_universal.pdf
12. Renfe. Renfe adjudica a Alstom y Stadler el contrato para la compra de 211 trenes de gran capacidad para Cercanías [en línea]. *Renfe*. 2021-03-08. [Consulta: 09-03-2022]. Disponible a: <https://www.renfe.com/es/es/grupo-renfe/comunicacion/renfe-al-dia/sala-de-prensa/Renfe-adjudica-Alstom-Stadler-contrato-Cercanias>
13. Renfe. Renfe y Stadler firman el contrato para la compra de 59 trenes de gran capacidad para Cercanías [en línea]. *Renfe*. 2021-07-15. [Consulta: 09-03-2022]. Disponible a: <https://www.renfe.com/es/es/grupo-renfe/comunicacion/renfe-al-dia/sala-de-prensa/Renfe-Stadler-firman-contrato-trenes-gran-capacidad>
14. Bustos, Miguel. Nuevas imágenes de los Stadler KISS de Renfe Cercanías [en línea]. *Trenvista*. ©2000-2022, 2021-03-31. [Consulta: 09-03-2022]. Disponible a: <https://www.trenvista.net/noticias/nuevas-imagenes-de-los-stadler-kiss-de-renfe-cercanias/>
15. Renfe. Así serán los nuevos trenes de Cercanías [en línea]. *Federico Domenech S.A.*. 2021-03-31. [Consulta: 22-03-2022]. Disponible a: <https://www.lasprovincias.es/economia/seran-nuevos-trenes-cercanias-20210331212311-ga.html#imagen1&ref>
16. Renfe. Renfe y Alstom firman el contrato para la compra de 152 trenes de gran capacidad para Cercanías [en línea]. *Renfe*. 2021-07-26. [Consulta: 09-03-2022]. Disponible a: <https://www.renfe.com/es/es/grupo-renfe/comunicacion/renfe-al-dia/sala-de-prensa/Renfe-Alstom-firman-contrato-compra-152-trenes-gran-capacidad>
17. Bustos, Miguel. Más información e imágenes sobre los trenes de Cercanías de Alstom [en línea]. *Trenvista*. ©2000-2022, 2021-03-29. [Consulta: 09-03-2022]. Disponible a: <https://www.trenvista.net/noticias/mas-informacion-trenes-de-cercanias-de-alstom/>
18. Fluxà Millán, Carles. 447-051-4 (*Barcelona-Francia*) [fotografía]. LISTADO DEL MATERIAL FERROVIARIO ESPAÑOL, 2016-11-22. [Consulta: 24-09-2021]. Disponible a: <https://www.listadotren.es/comunes/getimage.php?section=motor&id=12929>
19. Serrano, Ricard. 448-013 [fotografía]. LISTADO DEL MATERIAL FERROVIARIO ESPAÑOL, 2018-04-18. [Consulta: 24-09-2021]. Disponible a: <https://www.listadotren.es/comunes/getimage.php?section=motor&tid=1604&photo=13761>
20. Alonso, Luis Raúl. 449-040 [fotografía]. LISTADO DEL MATERIAL FERROVIARIO ESPAÑOL, 2013-05-09. [Consulta: 24-09-2021]. Disponible a: <https://www.listadotren.es/comunes/getimage.php?section=motor&tid=5130&photo=10768>

21. Munuera i Roqué, Oriol. *451-012 en Barcelona-Francia* [fotografia]. LISTADO DEL MATERIAL FERROVIARIO ESPAÑOL, 2014-09-16. [Consulta: 24-09-2021]. Disponible a: <https://www.listadotren.es/comunes/getimage.php?section=motor&id=11655>
22. Pérez Lanuza, Daniel. *465-265 BCN-Término* [fotografia]. LISTADO DEL MATERIAL FERROVIARIO ESPAÑOL, 2016-02-07. [Consulta: 24-09-2021]. Disponible a: <https://www.listadotren.es/comunes/getimage.php?section=motor&id=12342>
23. Femenia Salamé, Joan. *470 Madrid-Barcelona* [fotografia]. LISTADO DEL MATERIAL FERROVIARIO ESPAÑOL, 2015-03-10. [Consulta: 25-09-2021]. Disponible a: <https://www.listadotren.es/comunes/getimage.php?section=motor&tid=3204&foto=11880>
24. Rodalies de Catalunya. *Línia RT1* [imatge digital]: *Tarragona – Reus*. Generalitat de Catalunya, [sense data]. [Consulta: 20-09-2021]. Disponible a: http://rodalies.gencat.cat/web/resources/fwkResponsive/fpca_horaries/img/ico_rt1.png
25. Rodalies de Catalunya. *Comunicació per divendres 24 de setembre* [cartell]. Generalitat de Catalunya, actualització: 2021-09-20. [Consulta: 20-09-2021]. Disponible a: http://rodalies.gencat.cat/web/.content/01_Actualitat/2021/09_20_FestiuMerce/Cartel.JPG_2138004818.jpg
26. Rodalies de Catalunya. Trens de Rodalies [en línia]. *Generalitat de Catalunya*. 2008-12-15. [Consulta: 23-09-2021]. Disponible a: http://rodalies.gencat.cat/ca/sobre-rodalies/tipus_de_trens/
27. Borrell, Bernat. Xarxa convencional de via ampla a Catalunya [en línia]. *trenscat*. Actualització: 2020-11-09 [Consulta 26-09-2020]. Disponible en: <https://www.trenscat.com/renfe/>
28. Terrádez. *447 PMR con asientos laterales* [fotografia]. LISTADO DEL MATERIAL FERROVIARIO ESPAÑOL, 2020-07-23. [Consulta: 26-09-2021]. Disponible a: <https://www.listadotren.es/comunes/getimage.php?section=motor&tid=0&photo=15895>
29. Terrádez. Interior *447 original* [fotografia]. LISTADO DEL MATERIAL FERROVIARIO ESPAÑOL, 2019-12-22. [Consulta: 26-09-2021]. Disponible a: <https://www.listadotren.es/comunes/getimage.php?section=motor&tid=0&photo=15341>
30. Blasi, Josep. *Interior 447 PMR y con asientos R3 en Lleida* [video]. Google LLC YouTube ©2021, 2015-11-02. [Consulta: 27-09-2021]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=05wanE1xyEY>
31. fusquet. *447 "adaptada" a PMR* [fotografia]. Flickr. *fusquet* [en línia]. Flickr, 2010-09-11. [Consulta: 03-10-2021]. Disponible a: <https://www.flickr.com/photos/fusquet/>
32. Tren Bus. *Renfe ut 448 vista detalladamente interior y exterior* [video]. Google LLC YouTube ©2021, 2020-12-26. [Consulta: 04-10-2021]. Disponible a:

<https://www.youtube.com/watch?v=-d8w5Uq9CLw>

33. ecom. Propostes i seguiment de les accions de promoció de l'accessibilitat al servei de transport ferroviari de Catalunya [en línia]: Accessibilitat als serveis de transport de RENFE rodalies i regionals de Catalunya. ecom. Actualització: V.10. 2018-02 [Consulta 15-12-2020]. Disponible en: http://www.ecom.cat/sites/default/files/images/2018_octubre_accessibilitat_renfe_rodalies_i_regionals.pdf
34. Borràs, Bernat. *Porta d'accés a la unitat 449 adaptada a PMR* [fotografia]. Trenscat, 2009. [Consulta: 26-09-2021]. Disponible a: <https://www.trenscat.com/renfe/images/trens/449/P091102230.jpg>
35. Torreblanca, Joan Antoni. *La rampa dels nous trens de mitja distància encara no arriben fins a l'andana* [fotografia]. diari més, actualització: 2017-02-19. [Consulta: 10-10-2021]. Disponible a: https://cdn01.diarimes.com/uploads/imagenes/10col/2017/02/19/51_853bf0ce.jpg?31af3da7c7c28ec3436795f7560b6eb0
36. CAF. *slider5[1]* [fotografia]. CAF. Tren Regional Temd S/449 Renfe [en línia]. Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, S.A. 2013-02-14. [Consulta: 14-11-2021]. Disponible a: <https://www.caf.net/es/soluciones/proyectos/proyecto-detalle.php?p=219>
37. Borràs, Bernat. *Espai per a cadires de rodes* [fotografia]. Trenscat, 2009. [Consulta: 26-09-2021]. Disponible a: <http://www.trenscat.com/renfe/images/trens/449/P091102232.jpg>
38. Catalunya. Decret 135/1995, de 24 de març, de desplegament de la Llei 20/1991, de 25 de novembre, de promoció de l'accessibilitat i de supressió de barreres arquitectòniques, i d'aprovació del Codi d'accessibilitat [en línia]. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, 1995-04-28, núm. 2152, pp. 3369 a 3389. [Consulta: 25-09-2021]. Disponible a: <https://portaldogc.gencat.cat/utillsEADOP/PDF/2043/55028.pdf>
39. UNE. UNE-EN ISO 13482. *Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de Seguridad para robots no Industriales. Robots de asistencia personal no médicos*. Madrid: AENOR, 2014.
40. Redondo Martín-Aragón, José A. Condiciones básicas de accesibilidad. AUTOBUSES INTERURBANOS. (SUBURBANOS). Clase II [en línia]. Centro de Referencia Estatal de Autonomía Personal y Ayudas Técnicas. 2007. [Consulta: 26-09-2021]. Disponible a: <http://riberdis.cedd.net/bitstream/handle/11181/3352/Condiciones%20b%C3%A1sicas%20de%20accesibilidad.pdf?sequence=1>
41. Catalunya. Projecte de Decret /2021, pel qual s'aprova el Codi d'accessibilitat de Catalunya, 2021-05-10. [Consulta: 25-09-2021]. Disponible a: https://dretssocials.gencat.cat/web/shared/Transparencia/normativa-en-tramit/DSO/en-tramit/projectes_normatius_tramit/decrets/Decret_codi_accessibilitat/5.Text-projecte-de-decret-Codi-Accessibilitat-10-5-21.pdf
42. UNE. UNE 111915. *Sillas de ruedas. Dimensiones totales máxima*. Madrid: AENOR, 1991.

43. UNE. UNE-EN 1756-2:2005+A1. *Compuertas elevadoras. Plataformas elevadoras para montaje sobre vehículos rodantes. Requisitos de seguridad. Parte 2: Plataformas elevadoras para pasajeros*. Madrid: AENOR, 2010.
44. UNE. UNE 111914-13. *Sillas de ruedas. Parte 13: determinación del coeficiente de fricción de las superficies de ensayo*. Madrid: AENOR, 1995.
45. UNE. UNE-EN 81-41. *Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Ascensores especiales para el transporte de personas y cargas. Parte 41: Plataformas elevadoras verticales para el uso por personas con movilidad reducida*. Madrid: AENOR, 2011.
46. UNE. UNE-EN 81-40. *Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Ascensores especiales para el transporte de personas y cargas. Parte 40: Salvaescaleras y plataformas elevadoras inclinadas para el uso por personas con movilidad reducida*. Madrid: AENOR, 2009.
47. UNE. UNE-EN 81-40. *Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Ascensores especiales para el transporte de personas y cargas. Parte 40: Salvaescaleras y plataformas elevadoras inclinadas para el uso por personas con movilidad reducida*. Madrid: AENOR, 2021.
48. UNE. UNE-EN ISO 13849-1. *Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño*. Madrid: AENOR, 2016.
49. UNE. UNE-EN ISO 13482-1. *Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots no industriales. Robots de asistencia personal no médicos*. Madrid: AENOR, 2014.
50. UNE. UNE-EN ISO 10218-1. *Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots*. Madrid: AENOR, 2014.
51. LA VANGUARDIA. Qué limitaciones tendrán los coches autónomos a partir de 2021 [en línea]. *La Vanguardia Ediciones, SLU*. 2020-07-16. [Consulta: 22-09-2021]. Disponible a: <https://www.lavanguardia.com/motor/actualidad/20200716/482332337915/limitaciones-reglamento-onu-coches-autonomos-2021-conduccion-autonoma-alks-normas.html>
52. Omeo Technology. Omeo [en línea]: Designed and built with the best safety and the most unique features of any self-balancing personal transportation device. *Omeo Technology Ltd*. 2020-09-01, ©2021. [Consulta: 27-09-2021]. Disponible a: <https://omeotechnology.com/omeo/>
53. Reimondo, Gustavo. Silla de ruedas robòtica [en línea]. *Tecnologia Humanizada*. 2020-09-01, ©2018-2022. [Consulta: 16-02-2021]. Disponible a: <https://humanizationoftechnology.com/silla-de-ruedas-robotica/revista/robot/09/2020/>
54. Justiadi, Justiadi, Hair, Jumaddil i Yusdianto, Yusdianto. *AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV) PENGIKUT GARIS MENGGUNAKAN RODA MECANUM DENGAN KENDALI PID ADAPTIF TERINTERPOLASI* [en línea]. The Institute for Research and Community Services (LPPM) ITB, 2019. [Consulta: 14-11-2021]. Disponible en: doi:10.5614/sniko.2018.42

55. Jiang, Yong, Cao, Jie i Du, Yaling. *Container shipping AGV system guided by vision in ports*. Nanjing Hangkong Hangtian Daxue Xuebao/Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics 38, 628–633, 2006.
56. Lee, C. L., Su, R. K. L. and Wang, Y. P. *AGV-induced floor micro-vibration assessment in LCD factories by using a regressional modified Kanai-Tajimi moving force model* [en línia]. Structural Engineering and Mechanics. 테크노프레스, 45(4), pp. 543–568, 2013. doi: 10.12989/SEM.2013.45.4.543.
57. casun. El auto bidireccional del AGV dirigí el vehicle, sistema de transporte del AGV RF/comunicación de Wifi [en línia]. *agvrobotor.com*. 2018-09-30, ©2018-2020. [Consulta: 16-11-2021]. Disponible a: <http://spanish.agvrobotor.com/sale-10984987-two-way-agv-auto-guided-vehicle-agv-transport-system-rf-wifi-communication.html>
58. TATOMATECH. Vehículo de Guiado Automático Bidireccional S (AGV) [en línia]. *Filiales, Ingeniería y Montajes Monzón S.L., SERVIMOSA, S.L. y Transformados Torres Martí S.L.* 2019-07-24. [Consulta: 16-11-2021]. Disponible a: <https://www.tatomatech.com/agv-bidireccional-s/>
59. Tinizaray Romero, Paúl Isaías. *Diseño e Implementación de una Plataforma Robótica Móvil Inalámbrica con Tracción Intercambiable para el Laboratorio de Mecatrónica de la ESPE-L*. [Latacunga, Ecuador]. Treball de Titulació. Escuela Politécnica del Ejército, 2016-01-11. [Consulta: 19-10-2021]. Disponible a: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/10580/T-ESPEL-MEC-0072.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
60. UNE. UNE-EN ISO 7731. *Ergonomía. Señales de peligro para lugares públicos y lugares de trabajo. Señales acústicas de peligro*. Madrid: AENOR, 2008.
61. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Ordenança Reguladora Del Soroll I Les Vibracions. Model A [en línia]. *diba*. 2010-04-28. [Consulta: 16-11-2021]. Disponible a: <https://www.diba.cat/documents/471041/85278245/xarxasost-pdf-ordenancasorollmodela-pdf.pdf/e1ac4766-1bfe-4237-b7aa-b08fd92a6ff6>
62. OSSMA. *Exemples de fonts sonores i els nivells sonors equivalents (en decibels)* [imatge digital]. OSSMA. La Contaminació Acústica: reduir el soroll per millorar la salut! (Eco2.0 – 14) [en línia]. *Oficina de Seguretat, Salut i Medi Ambient de la Universitat de Barcelona*. 2014-03-28, ©2021. [Consulta: 16-11-2021]. Disponible a: <https://www.ub.edu/ossma/actualitat-medi-ambient/la-contaminacio-acustica-reduir-el-soroll-per-millorar-la-salut-eco2-0-14-2>
63. Diputació de Barcelona. Exposició adéu soroll! [en línia]: Contra la contaminació acústica. *diba*. 2008-06-02. [Consulta: 17-11-2021]. Disponible a: <https://www.diba.cat/documents/471041/29949598/guia+i+sugeriments+didactics.pdf>
64. Madrid. Reial Decret 842/2002, de 2 d'agost, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo [en línia]. Boletín Oficial del Estado, 1997-04-23, núm. 97, pp. 12911 a 12918. [Consulta: 31-10-2021]. Disponible a: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1997/BOE-A-1997-8668-consolidado.pdf>
65. DHOLLANDIA. DH-CH104.03 > 300 Kg [en línia]. *DHOLLANDIA N.V.* 2019-12-11. [Consulta: 11-10-2021]. Disponible a:

<http://www.dhollandia.be/ES/es/8/category/130/product/148>

66. Cruz Encinas, Ignacio. Coeficiente de fricción por rodadura de un auto en un estacionamiento. [en línea]. *Universidad de Sonora*. 2014-02-15. [Consulta: 19-10-2021]. Disponible a: <http://paginas.fisica.uson.mx/ignacio.cruz/Coeficiente%20de%20friccion%20por%20rodadura%20de%20un%20auto%20en%20un%20estacionamiento.pdf>
67. Miranda Rios, Juan Carlos. Resistencia Del Fluido [en línea]. *Blogger*. 2015-11-20. [Consulta: 09-10-2021]. Disponible a: <https://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2015/11/resistencia-del-fluido.html>
68. WEG. CONVERTIDOR CFW300A06P0T2NB20 [en línea]. *WEG S.A. - HEADQUARTERS*. 2019-02-17, ©2022. [Consulta: 03-02-2022]. Disponible a: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Automatizaci%C3%B3n-Industrial/Drives/Convertidores-de-Frecuencia/Micro-y-Mini-Drives/Convertidores-de-Frecuencia-CFW300/CONVERTIDOR-CFW300A06P0T2NB20/p/13059538>
69. DHOLLANDIA. Elevador de casete para pasajeros DH-CH104.03. 300 Kg [en línea]. *DHOLLANDIA N.V..* 2019-12-11. [Consulta: 11-10-2021]. Disponible a: <http://www.dhollandia.com/files/pocket/leaflet/DH-CH104.03/ICOM-DH-CH104.03-ES-2021-A4.pdf>
70. RTA. MOTOR PASO A PASO SM2862-5155 [en línea]: Brida 85.5 mm. Nema 34. *LipsiaGROUP S.r.l.*. 2017-11-19. [Consulta: 27-10-2021]. Disponible a: <https://www.rta-iberica.es/es/product/2392-motor-paso-a-paso-sm2862-5155>
71. RTA. Accionamiento en caja X-PLUS C4.1 (ADVANCED) [en línea]: (110 - 230 VAC 2.4 - 4.0 Amp) con Plug_in Conectores. Nema 34. *LipsiaGROUP S.r.l.*. 2020-10-08. [Consulta: 05-11-2021]. Disponible a: <https://www.rta-iberica.es/es/product/4773-accionamiento-en-caja-x-plus-c4-1-advanced>
72. Carbone. Motor Corredizo Rhyno 2000Kg.110V/60Hz.4 Cont,4M Cremallera,2Par Fococelda,Lampara. Rolling Code. *Empresas Carbone*. 2020-10-08, ©2022. [Consulta: 05-11-2021]. Disponible a: <https://carbonestore.com/products/motor-corredizo-rhyno-2000kg-110v-60hz-4-cont-4m-cremallera-2par-fococelda-lampara-rolling-code?variant=32423165067361>
73. Aceros y Sistemas. Cilindro Trabajando Con Ángulo De Carga [en línea]. *ASHM S.A. de C.V.*. 2015-06-29. [Consulta: 09-02-2022]. Disponible a: <http://www.ashm.mx/blog/cilindro-trabajando-con-angulo-de-carga/>
74. MecVel. Electric linear actuator. ALI5 series. [en línea]. *MecVel Srl*. 2021-05-12, ©2022. [Consulta: 17-02-2021]. Disponible a: https://www.mecvel.it/wp-content/uploads/2021/05/HB-ALI5_IT-EN_2021.pdf
75. Asociación de Amigos del Ferrocarril de Collado Villalba. Los trenes Civia [en línea]. *Asociación de Amigos del Ferrocarril de Collado Villalba* 2018-07-09. [Consulta: 13-10-2021]. Disponible a: <http://www.amigos-ferrocarril-villalba.es/secciones/t%C3%A9cnica/tren-civia/>
76. Delta Electronics. MOOVair 1kW Wireless Charging System [en línea]. *Delta Electronics, Inc.*. 2020-02-23, ©2022. [Consulta: 24-09-2021]. Disponible a: <https://www.deltaww.com/en-US/products/Industrial-Battery-Charging/5776>
77. allbatteries. Acumuladores de Litio Hierro Fosfato IFR-26650 LiFePO4 HD 3.2V

- 2300mAh [en línia]. *Upergy*. 2019-10-17, ©2010-2022. [Consulta: 03-05-2021]. Disponible a: <https://www.all-batteries.es/acumuladores-de-litio-hierro-fosfato-ifr-26650-lifepo4-hd-3-2v-2300mah-acl9013.html>
78. Palma de Mallorca. Real Decret 1544/2007, de 2 d'agost, pel qual s'aprova el Reglament electrotècnic per a baixa tensió [en línia]. Butlletí Oficial de l'Estat, 2002-09-18, suplement núm. 18, pp. 2526 a 2720. [Consulta: 10-05-2021]. Disponible a: https://www.boe.es/boe_catalan/dias/2002/10/01/pdfs/A02526-02720.pdf
79. Prodoehl, Pete. *Tank Steering* [imatge digital]. BROWN DOG GADGETS GUIDES, 2021-09-28. [Consulta: 06-12-2021]. Disponible a: <https://d3t0tbmlie281e.cloudfront.net/igi/browndoggadgets/AF3pcGbERRGWpftq.full>
80. AZ-Delivery. ESP-32 Dev Kit C V2_ES [en línia]. *AZ-Delivery*. 2020-03-21. [Consulta: 20-10-2021]. Disponible a: <https://www.az-delivery.de/a/downloads-/a6ecdfb0d041296c/9d51e8d26569fe87>
81. Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet v3.8 [en línia]. *Espressif Systems (Shanghai) Co., Ltd.*. 2018-06-08, ©2021. [Consulta: 04-01-2022]. Disponible a: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
82. Naylamp Mechatronics. Tutorial MPU6050, acelerómetro y giroscopio [en línia]. *Naylamp Mechatronics SAC*. 2016-03-23, ©2021. [Consulta: 25-01-2022]. Disponible a: https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html
83. LUIS LLAMAS. Cómo usar un acelerómetro en nuestros proyectos de Arduino [en línia]. Lourdes Martin Lacasta. *Luisllamas*. 2016-09-01, ©2021. [Consulta: 25-01-2022]. Disponible a: <https://www.luisllamas.es/como-usar-un-acelerometro-arduino/>
84. Punto Flotante. PIR Sensor infrarrojo de movimiento *Punto Flotante S.A.* 2017-02-02. [Consulta: 10-01-2022]. Disponible a: <https://puntoflotante.net/MANUAL-DEL-USUARIO-SENSOR-DE-MOVIMIENTO-PIR-HC-SR501.pdf>
85. Hurbain, Philippe. Power Functions™ presentation [en línia]. *philohome*. Actualització: 2012-10-15, ©2000-2021. [Consulta: 01-10-2021]. Disponible a: <https://www.philohome.com/pf/pf.htm>
86. ReadyMaker. "Ready Maker" - Control Over "Lego Power Functions" Project [en línia]. *Autodesk, Inc.*. 2018-10-08, ©2022. [Consulta: 05-10-2021]. Disponible a: <https://www.instructables.com/Ready-Maker-Control-Over-Lego-Power-Functions-Proj/>
87. WildlyFunny. *LEGO XL Motor - look inside!* [video]. Google LLC YouTube, 2013-11-25, ©2021. [Consulta: 12-10-2021]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=YeMgn4zY6ZQ>
88. Dawid Marasek. *Inside the Lego M motor* [video]. Google LLC YouTube, 2017-10-18, ©2021. [Consulta: 12-10-2021]. Disponible a : <https://www.youtube.com/watch?v=GehYVVDXW2Q>

89. Potent Printables. Servoactuadores Lineales [en línia]. *Cult3D*. 2018-10-28. [Consulta: 27-09-2021]. Disponible a: <https://cults3d.com/es/modelo-3d/artilugios/linear-servo-actuators>
90. ELECFREAKS. EF90D micro:servo 360 degrees digital servo for micro:bit [en línia]. *ELECFREAKS, Inc.*. 2018-05-20, ©2013~2022. [Consulta: 18-02-2022]. Disponible a : <https://www.electfreaks.com/ef90d-micro-servo-360-degrees-digital-servo-for-micro-bit.html>
91. DroneBot Workshop. *Using Servo Motors with the Arduino* [imatge digital]. Dronebotworkshop. 2018-05-20. [Consulta: 18-02-2022]. Disponible a : <https://dronebotworkshop.com/servo-motors-with-arduino/>
92. ProjectSky. *All Lego Power Functions Motors Comparison | Speed, RPM and Power* [video]. Google LLC YouTube, 2018-09-08, ©2021. [Consulta: 12-11-2021]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=TD0kVH48b9g>
93. 896gerard. *The big Lego Technic Linear Actuator review | power testing each actuator* [video]. Google LLC YouTube, 2020-02-06, ©2021. [Consulta: 12-11-2021]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=uBMGJQKA5cw>
94. Blanch Gonzálbez, Pedro. NTP 169: Condiciones de cableado en máquinas [en línia]. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. 2009-10-06. [Consulta: 30-11-2021]. Disponible a: https://www.imcprl.net/NTPs/@Datos/ntp_169.htm
95. DocJC. *HC-SR04 Timing Diagram 2* [imatge digital]. Microchip Technology Inc., 2020-03-03, ©2022. [Consulta 04-02-2022]. Disponible a: <https://www.avrfreaks.net/sites/default/files/HC-SR04%20Timing%20Diagram%202.jpg>
96. Lewis, James. Const vs #define – When do you use them and why? [en línia]. *THEMESPERE*. 2013-11-14, ©2019. [Consulta 04-02-2022]. Disponible a: <https://www.baldengineer.com/const-vs-define-when-do-you-them-and-why.html>