

Treball de Fi de Màster

Màster universitari en Enginyeria d'Organització

Proposta de modernització dels ascensors de l'ETSEIB

MEMÒRIA

Autor:
Director:
Convocatòria:

Jordi-Aleix Tomàs Morató
Lluís Pérez Vidal
Setembre 2016



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

Aquest projecte fa un anàlisi de la situació actual dels ascensors de l'ETSEIB (Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona), mentre posa en context l'afluència dels usuaris i la capacitat per plantes de la universitat. Per altre banda pretén donar una visió detallada de les tècniques i algorismes que utilitzen els ascensors en general i els de la universitat en concret.

L'objectiu és tractar d'elaborar una proposta de millora del règim de treball dels ascensors, exclusivament centrada en millorar la qualitat del servei als usuaris, sense contemplar costos econòmics o mediambientals. Amb aquest propòsit, s'exposa la bibliografia més rellevant sobre les tècniques i algorismes tradicionals fins a les més recentment descobertes, trobant-se més detallades aquelles que són importants pel cas estudiat.

Per observar l'anàlisi del tràfic actual en el sistema d'ascensors, s'han pres dades *in situ* obtenint més de 150 mostres de viatges realitzats en sentit de pujada i baixada, repartides en parts equitatives segons el tipus d'ascensor i de viatge. Aquestes, han estat obtingudes a través de l'observació i contenen dades com ara el temps d'espera entre plantes d'un usuari dins l'ascensor, el temps total del viatge, el nombre de parades, el flux d'usuaris entre plantes, la densitat d'usuaris dins l'ascensor entre plantes, etc. Prèviament, s'ha determinat un model matemàtic que permeti explicar les dades de manera sintetitzada. Amb els valors calculats, s'han pogut prendre decisions coherents i concloure l'estat del tràfic de la universitat.

En aquest projecte, s'ha conclòs tant des d'un punt de vista bibliogràfic com també tècnic els conceptes i les idees que es troben relacionades amb l'optimització del trànsit d'usuaris als ascensors de l'ETSEIB, servint també com a primer contacte amb l'enginyeria d'ascensors, i proporcionant una visió de l'escenari que es podria obtenir en cas d'optar per oferir un servei innovador.

Finalment, no s'inclou en el projecte l'anàlisi tècnic de la proposta final ja que no es pot realitzar de cap altre manera que no sigui a través d'un software especialitzat en simulació d'ascensors, com s'explica al llarg del treball, de manera que es contemplen les propostes de millora com a hipòtesis fonamentades en l'exposat durant el projecte.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
ÍNDIX FIGURES	5
1. GLOSSARI	7
2. PREFACI	8
2.1. Origen del projecte	8
2.2. Motivació	8
3. INTRODUCCIÓ	9
3.1. Objectius del projecte	9
3.2. Abast del projecte	9
4. CONTEXTUALITZACIÓ	10
4.1. Historia	10
4.2. Situació actual	10
4.3. Dades tècniques	11
4.4. Afluència i capacitat de les aules	12
5. ESTAT DE L'ART	17
5.1. Maniobres de funcionament	17
5.1.1. Maniobra automàtica simple	18
5.1.2. Maniobra col·lectiva en baixada	18
5.1.3. Maniobra col·lectiva selectiva	19
5.1.4. Maniobres dúplex i de grup	19
5.1.5. Sistemes d'intel·ligència artificial	19
5.2. Criteris de gestió	26
5.2.1. Restriccions	26
5.2.2. Criteris d'optimització	27
5.3. Tècniques i algorismes	28
5.3.1. Algorismes avançats	29
5.3.2. Algorismes d'optimització: THV i PDCU	30
5.3.2.1. Discussió comparativa entre els algorismes PDCU i THV	32
5.3.2.2. Elements addicionals de control	33
5.3.2.3. Actuacions dels elements de control	34

6. ANÀLISI TÈCNIC	35
6.1. Sistema d'anàlisi	35
6.1.1. Paràmetres fonamentals del tràfic	35
6.1.1.1. Flux	35
6.1.1.2. Velocitat	36
6.1.1.3. Densitat de tràfic	37
6.1.2. Relacions entre flux, velocitat i densitat	37
6.1.2.1. Relació velocitat - densitat	38
6.1.2.2. Relació flux - densitat	39
6.1.2.3. Relació velocitat - flux	40
6.2. Metodologia de presa de dades	41
6.3. Anàlisi de les dades obtingudes	42
6.3.1. Paràmetres	42
6.3.2. Resultats i exposició de les conclusions	44
6.3.2.1. Comportament dels usuaris segons tipus ascensor	44
6.3.2.2. Gràfiques fonamentals del tràfic	48
7. SISTEMA PROPOSAT	52
7.1. Argumentació	52
7.1.1. Maniobra	52
7.1.2. Algorisme	53
7.1.3. Distribució dels ascensors	54
7.2. Cost econòmic, impacte social i impacte mediambiental	55
CONCLUSIONS	57
BIBLIOGRAFIA	58
Referències bibliogràfiques	58
Bibliografia complementària	60
ANNEX	61

Índex Figures

Figura 4.1 Ascensors de l'ETSEIB	11
Figura 5.1. Exemples de polsadors, botoneres i indicadors de planta.....	17
Figura 5.2. Exemples de botonera de cabina, denominació d'ascensor, indicador de destinació i botonera de planta.....	22
Figura 5.3. Usuaris d'ascensors en maniobra convencional i maniobra DCS.....	23
Figura 5.4. Posició de la senyalització per a diferents maniobres DCS.....	24
Figura 5.5. Temps d'espera d'un sistema convencional i control de destinació en "Up-Peak".	25
Figura 5.6. Interval de servei (a) i temps d'espera dels usuaris (b) per quatre tipus diferents de maniobra de control.....	25
Figura 5.7. Consum diari d'energia d'un tiristor-DC, VVVF AC i tecnologia EcoDisc que utilitza DCS.....	26
Figura 6.1. <i>Diagrama fonamental del flux vehicular</i>	38
Figura 6.2. Relació lineal entre velocitat i densitat.....	39
Figura 6.3. Relació parabòlica entre flux i densitat.....	40
Figura 6.4. Relació parabòlica entre velocitat i flux.....	41
Figura 6.5. Comparació parades i temps d'espera en plantes parells.....	44
Figura 6.6. Comparació parades i temps d'espera en plantes senars.....	45
Figura 6.7. Flux de trànsit en plantes parells.....	46
Figura 6.8. Flux de trànsit en plantes senars.....	46
Figura 6.9. Temps de viatge i ocupació en plantes parells.....	47
Figura 6.10. Temps de viatge i ocupació en plantes senars.....	48
Figura 6.11. Fonamentals del tràfic, ascensors parells en sentit de pujada.....	49

Figura 6.12. Fonamentals del tràfic, ascensors parells en sentit de baixada.	49
Figura 6.13. Fonamentals del tràfic, ascensors senars en sentit de pujada.	50
Figura 6.14. Fonamentals del tràfic, ascensors senars en sentit de baixada.....	50
Figura 7.1. Llicència del software de simulació Peters-Research.....	55

1. Glossari

Uppeak: Tram horari coincident amb l'accés a l'edifici, i per tant es produeixen viatges de pujada des de la planta baixa.

Downpeak: Tram horari coincident amb l'abandonament de l'edifici, i per tant es produeixen viatges de baixada des de les diferents plantes a la baixa.

Lunchpeak: Tram horari en el qual l'edifici s'abandona per anar a menjar, però també s'accedeix a ell després de venir de menjar, donant-se una mescla dels patrons *uppeak* i *downpeak*.

Interfloor: Resta de trams horaris on existeix la probabilitat de viatges entre plantes (aquest patró només es produiria en edificis destinats a ús professional i en aquest tram horari específic).

Prefaci

1.1. Origen del projecte

Històricament els ascensors de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona han estat un punt de discussió entre els estudiants de la universitat, generalment per el gran nombre d'avaries o indisponibilitats d'alguns ascensors. Tanmateix, observant el funcionament dels mateixos, presenten algunes ineficiències que, *a priori*, podrien tenir solució. Aquests fets, permeten pensar que la qualitat del servei podria millorar si es realitza un estudi amb aquesta finalitat.

1.2. Motivació

Aquest projecte vol analitzar el cicle de funcionament dels ascensors de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona i valorar si l'estat actual és el òptim per la finalitat proposada o bé si es poden incloure alternatives que redueixin el temps d'espera de les persones que en desitgen fer-ne ús, millorant la qualitat del servei.

2. Introducció

2.1. Objectius del projecte

L'objectiu establert és el d'analitzar quina és la situació actual del servei dels ascensors de l'ETSEIB, si són eficients o tenen marge de millora en quan a temps d'espera dels usuaris fa referència.

Amb aquesta finalitat, es vol realitzar una recerca de les últimes tecnologies, algorismes i tècniques que s'han inventat per a millorar el règim de treball de grups d'ascensors en edificis amb alt nombre d'ocupació (com oficines, hospitals, etc.) i valorar si en el cas dels ascensors que són objectes d'estudi aquestes tindria sentit que fossin implementades.

Més individualment, pretén ser una introducció a l'enginyeria dels ascensors i les variables que hi intervenen.

2.2. Abast del projecte

El present projecte s'ha definit mitjançant la lectura de bibliografia tècnica i la síntesi dels coneixements adquirits, de manera que inclou informació rellevant per contextualitzar la situació actual de les tecnologies més recents, que intervenen com a opcions de millora dels ascensors. Per altre banda, s'ha exposat tota la informació recollida referent als ascensors objectes d'estudi i a l'edifici de la universitat a la que s'ha pogut tenir accés.

Aquest projecte no pretén qüestionar, avaluar i proposar millores dels algorismes i les tècniques de maniobra que ja existeixen, sinó contemplar-les com a possibles optimitzacions del funcionament dels ascensors. No pretén concentrar-se en el pressupost necessari o la millora a nivell mediambiental, sinó en el servei.

3. Contextualització

3.1. Historia

En els inicis de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (d'ara en endavant, ETSEIB), es van instal·lar quatre ascensors de gran capacitat i un de menor capacitat. Si bé no s'ha decidit d'incorporar o de treure cap més unitat de les cinc inicials fins al moment, el cert és que quan van ser instal·lats tenien un règim de treball altament ineficient. Aquest, consistia en perseguir les ordres de polsada de cada línia d'ascensors individualment i a través de les 11 plantes de l'edifici, sense ninguna acció que optimitzés el funcionament. Sense entrar en aquest apartat al detall de quines ordres seguien per moure's (prioritzant primer la polsada o el trajecte que s'estava portant), el circuit tenia marge de millora.

Uns anys més endavant, es va decidir separar els quatre ascensors de major capacitat en dos grups de dues unitats, obligant a un grup a servir les plantes parells i la primera planta, i a l'altre a servir les plantes senars a partir de la tercera, mantenint la parada a la planta baixa pels quatre ascensors. El cinquè ascensor es va mantenir lliure per servir totes les plantes i va adoptar un altre rol.

Amb el canvi descrit en el cicle de treball dels ascensors, es va observar una millora del servei, aportant un increment en la satisfacció dels usuaris al reduir el temps d'espera de fer-ne ús.

Després d'aquest avenç, van haver de passar molts anys fins la següent (i última) millora. Recentment, s'ha instal·lat en un ascensor que serveix a les plantes parells, un panell a la planta baixa que indica quin és el recorregut que està seguint l'ascensor a temps real, mostrant el sentit en el que s'està desplaçant i permetent a l'usuari de valorar si pot estalviar més temps desplaçant-se a peu, o bé polsant un altre ascensor.

3.2. Situació actual

En l'actualitat el sistema descrit anteriorment es considera que no està optimitzat. Tot i que dona servei correctament als estudiants, professors i visitants de l'ETSEIB, aquests solen esperar estones llargues a la planta baixa i en les plantes amb més tràfic. Per evitar aquesta espera o bé després d'impacientar-se, sovint es fa ús d'un dels ascensor que no et porta a la teva planta, però et deixa un pis més amunt o més a baix del que interessa.

Un altre factor que incrementa la ineficiència del sistema actual és que a partir de la segona

planta s'ha detectat que molts estudiants polsen els botons de pujada i de baixada indistintament del seu destí, provocant així que l'ascensor es retardi més estona en el seu trajecte al haver de fer una parada innecessària pel camí.

Per altre banda, un alt percentatge del temps algun dels ascensors no funciona correctament degut a una parada de manteniment o bé perquè està avariat, produint una alteració en el sistema habitual.

A primera vista es considera que l'ETSEIB disposa dels recursos suficients per fer que l'espera dels usuaris sigui mínima, però no estan sent utilitzats correctament o no han posat en ús les millores correctes per tal de donar un servei òptim.

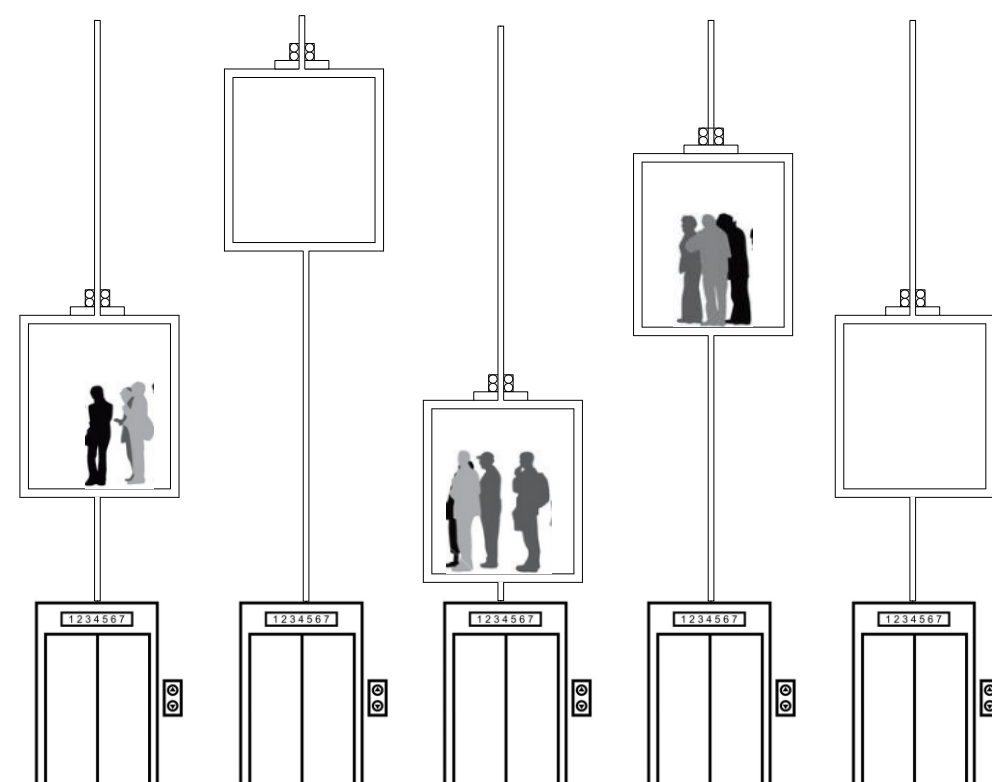


Figura 3.1 Ascensors de l'ETSEIB (Font pròpia)

3.3. Dades tècniques

Aquests són els elements principals que s'observen:

Panells de comandament de cabina: Dos panells de comandament i senyalització de cabina per ascensor, situats a altura d'entre 1 i 1,4 metres.

Panells de comandament en els pisos: El polsador superior es troba a 1,4 metres de distància a terra. Les plantes dels extrems disposen d'un sol polsador, mentre que les

plantes intermèdies disposen d'un de pujada i un de baixada.

Panells de senyalització en els pisos: Els panells estan situats sobre les portes, i representen mitjançant fletxes el sentit en el que l'ascensor està viatjant (fletxa verda cap avall en sentit descendent i fletxa vermella cap amunt en sentit ascendent). Un dels cinc ascensors inclou informació sobre la planta a la que es troba l'ascensor si l'usuari és a la planta baixa.

Característiques principals dels ascensors:

Denominació	Ascensor d'alumnes	Ascensor de professors
Número d'unitats	2 x 2	1
Capacitat nominal	2.250 kg / 26 persones	630 kg / 8 persones
Velocitat nominal	1,25 m/s	1,25 m/s
Recorregut	- 1 i 2: 43,8 m. - 3 i 4: 39,8 m.	43,8 m.
Parades	- 1 i 2: 6 parades (0,3,5,7,9,11) - 3 i 4: 7 parades (0,1,2,4,6,8,10)	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11
Temps d'obertura i tancament de les portes	2,4 s	1,7 s

Taula 4.1. Característiques principals dels ascensors de l'ETSEIB.

3.4. Afluència i capacitat de les aules

La determinació dels patrons de tràfic resulten un problema d'elevada dificultat en si mateix. Tradicionalment s'han emprat, o bé les dades procedents de macro-enquestes realitzades per centres de recerca de reconegut prestigi com els realitzats pel CIBSE (*The Chartered Institution of Building Services Engineers*) i pel BRE (*Building Research Establishment*), o bé estimacions de tràfic mitjançant mètodes de diferent grau de sofisticació.

Entre aquests mètodes es poden citar com més representatius el *Mètode manual utilitzant observadors*, de fàcil implementació però que es fa impracticable en el moment en el qual el tràfic és dens i es converteix en impossible per a un observador humà.

També es pot citar el *Mètode SP Invers*, que estima el nombre de passatgers que utilitzen l'ascensor, basant-se en el nombre de pulsades i en els moviments del mateix (aquest mètode mostra més efectivitat durant els períodes *uppeak* i *downpeak*).

Un altre mètode alternatiu és el de *l'Estimació del flux de tràfic complet de Peters* [1], que proporciona les dades de tràfic mitjançant procediments basats en càlculs estadístics, mitjançant l'establiment dels intervals de temps en els quals el tràfic és més intens.

Més avançat en quant a grau de sofisticació és el *Model de reconeixement del patró de tràfic mitjançant regles de lògica difusa* que es basa en vuit patrons de tràfic i s'aplica en el *Fuzzy Elevator Group Control System*.

També existeix el *Model de predicció del patró de tràfic mitjançant xarxes neuronals* [2], que tracta d'acoblar una xarxa neuronal en el sistema de control d'un grup d'ascensors per millorar l'actuació del controlador del grup. Així, es tracta que la xarxa neuronal proporcioni un mecanisme d'aprenentatge dinàmic del comportament de l'edifici i realitzi la predicció de futurs esdeveniments basant-se en el que ha après al llarg del temps.

Per al desenllaç d'aquest treball s'ha tractat el tràfic mitjançant el *Mètode manual amb un observador*. En la Taula 4.1 mostrada a continuació es recull el nombre d'usuaris que utilitzen els diferents ascensors en funció del dia durant una setmana. El nombre de persones que es comptabilitzen com a total usuaris hauria de ser igual a la suma dels usuaris comptabilitzats en les tres sortides (ascensors parells, ascensor senars i ascensor restringit). Aquesta hipòtesis no es compleix degut a que existeixen usuaris que abandonen el sistema, és a dir, no entren a cap ascensor, bé sigui perquè decideixen pujar per les escales, anar als serveis, a la fotocopiadora, etc.

Dia	Total usuaris	Ascensors Parells	Ascensors Senars	Ascensor Restringit	Abandonen
1	106	48	48	6	4
2	151	71	63	13	4
3	78	30	31	15	2
4	53	20	25	4	4
5	52	16	24	7	5

Taula 4.2. Afluència entre 15.35h i 16.05h per tipus ascensor

S'observa que tant el dia 4 com el 5 el nombre d'usuaris que utilitzen els ascensors descendeix notablement en comparació als dies anteriors. La raó d'aquest descens per al dia 4 és que el divendres els alumnes de grau no compten amb hores lectives. Per altre banda, el motiu del descens per al dia 5 és que donava començament el període de parcials a l'escola i les classes van ser suspeses.

També cal remarcar que aquestes dades han estat preses entre les 15.35h i les 16.05h que no és el període de més afluència a l'escola i que per al desenvolupament de un altre tipus d'estudi més endavant detallat, les dades sí corresponen a moments més crítics d'afluència d'usuaris, i a una variació més alta de dies.

Per determinar hipòtesis sobre la quantitat de tràfic en el que es veuen immersos els ascensors de l'ETSEIB en moments crítics, es vol conèixer la quantitat d'estudiants que poden absorbir les classes a cada planta (incloent la planta baixa), i el percentatge d'implicació de cada planta.

A partir de l'elaboració d'aquests paràmetres, a priori es podrà assumir quines plantes són les més transitades i en quina proporció respecte les demás.

A través de les dades que proporciona la web de l'ETSEIB (veure *Annex* per l'extracció), s'ha calculat la capacitat total de les aules que són objecte d'estudi, separades en plantes i en funció de si es tracta de període d'avaluacions o de classe magistral:

Ubicació	Capacitat exàmens	Capacitat aules
Planta Baixa	412	1.043
Planta 1	92	184
Planta 2	50	130
Planta 3	161	312
Planta 4	172	424
Planta 5	210	439
Planta 6	28	131
Planta 7	47	120
Planta 8	14	28
Planta 9	59	140
Planta 10	0	90
Planta 11	0	0
TOTAL	1.245	3.041

Taula 4.3. Capacitat de les aules objecte d'estudi per ubicació dins l'ETSEIB.

Amb l'objecte de determinar una quantitat realista d'estudiants que es troben en cada aula

en el dia a dia durant les classes magistrals, s'assumeix que el nombre d'alumnes per a cada aula serà el total de la següent equació:

$$N = \text{Capacitat Exàmens} + 0,25 \cdot (\text{Capacitat aules} - \text{Capacitat Exàmens}) \quad (\text{Eq. 5.1})$$

Que determina el percentatge afegit a la capacitat de les aules en examen, definit com el 25% de la diferència entre el nombre màxim d'estudiants i els que caben quan hi ha exàmens. Aquest valor de percentatge s'ha considerat idoni observant els valors d'estudiants per aula resultants en diferents casuístiques i tenint en compte l'experiència pròpia d'estar en les aules en les que s'han impartit classes magistrals.

Ubicació	Capacitat examen	Capacitat aules	Ocupació durant les classes	% sobre el total
Planta baixa	412	1.043	570	33,6%
Planta 1	92	184	115	6,8%
Planta 2	50	130	70	4,1%
Planta 3	161	312	199	11,7%
Planta 4	172	424	235	13,9%
Planta 5	210	439	267	15,8%
Planta 6	28	131	54	3,2%
Planta 7	47	120	65	3,9%
Planta 8	14	28	18	1,0%
Planta 9	59	140	79	4,7%
Planta 10	0	90	23	1,3%
Planta 11	0	0	0	0%
TOTAL	1.245	3.041	1.694	100%

Taula 4.4. Capacitat i percentatge per planta de les aules objecte d'estudi.

Amb les dades de la Taula 4., s'observa que la majoria dels estudiants haurien d'impartir classe a la planta baixa, ja que absorbeix el 33,6% de la capacitat de les aules objecte d'estudi. En una primera lectura podria significar una reducció en el trànsit dels ascensors, però val la pena recordar que en moltes ocasions els estudiants i els professors s'han de moure de classe en classe cada hora, hora i mitja, o dues hores, fet que comporta:

- 1- Els estudiants que es troben en aules diferents de la planta baixa hauran de desplaçar-se cap a la planta baixa, produint un tràfic en sentit descendent.
- 2- En moltes ocasions, s'acumularan usuaris des de la planta baixa cap a pisos superiors degut a la finalització d'una o més classes, sumats als estudiants que acaben d'arribar a l'escola, més tots els que es poden trobar en altres espais públics de l'escola, com la biblioteca, el pati, etc.

Per altra banda, *a priori*, es podria extreure que les plantes de més ús dels ascensors serien la tercera, quarta i cinquena planta, a l'acumular-se entre les tres un 41,4% del total de la capacitat de les aules.

4. Estat de l'art

Es procura en els següents apartats, determinar la situació actual de les investigacions més recents en l'àmbit d'interès del projecte. Es definiran i exemplifiquen diferents procediments, algorismes, i les hipòtesis contemplades del funcionament dels ascensors de l'ETSEIB. S'ha de tenir en compte que per realitzar l'estudi que es proposa en aquest treball, les *hipòtesis* s'assumeixen com a fets verídics, justificats des d'un rerefons analitzat al detall.

4.1. Maniobres de funcionament

Abans de definir les maniobres de funcionament dels ascensors, s'ha d'exposar els elements més bàsics dels que es componen, englobats en aquest cas en el 'circuit de maniobra'. El circuit de maniobra té com a component principal al sistema de control i els següents elements d'interacció amb els viatgers:

- Polsadors de plantes: un o dos, per a sentits de pujada i baixada, segons el tipus de maniobra.
- Botonera de cabina: comprenen els polsadors per seleccionar el viatge i d'altres opcions (botó emergència, obrir / tancar portes,...).
- Indicadors de planta i cabina: són opcionals i informen al viatger sobre el sentit de viatge i la planta en la qual es troba l'ascensor.
- Memòria de maniobra: gestiona les polsades produïdes i les atén segons un patró programat en la memòria amb la finalitat d'optimitzar el servei.



Figura 4.1. Exemples de polsadors, botoneres i indicadors de planta.

En moltes ocasions, especialment en edificis amb tràfic intens, l'ascensor rep multitud de polsades alhora. Atès que no es poden respondre totes les polsades simultàniament, ha de prioritzar-se en quin ordre s'atenen.

A continuació es definirà els principals tipus de maniobra que poden incorporar-se a un ascensor. La selecció de la maniobra estarà condicionada al tipus d'edifici en el qual s'instal·la, ja que les demandes de transport no seran les mateixes, en un edifici d'oficines per exemple, que en un hospital. La solució es trobaria en un compromís entre el temps d'espera dels viatgers i els costos d'instal·lació.

En els següents subapartats s'exposaran les maniobres més rellevants i quina és la que s'assumeix com a maniobra de funcionaments dels ascensors de l'ETSEIB.

4.1.1. Maniobra automàtica simple

És la maniobra més senzilla en ús actualment. La cabina pot ser reclamada i utilitzada només per una persona o un grup de persones alhora. Quan registra una polsada en un pis, el senyal lluminós del botó de cada pis s'il·lumina, mostrant que la cabina està prestant un servei. Mentre duri i fins que no acabi aquest servei no podrà ser reclamada des de cap altre pis.

L'ascensor està sota el control exclusiu del passatger que l'ha reclamat primer. Una vegada l'ascensor queda lliure, pot efectuar-se una altra polsada. Aquesta maniobra és apropiada per a ascensors d'edificis d'habitatges amb poc tràfic.

4.1.2. Maniobra col·lectiva en baixada

Està basada en el principi d'acumulació de les ordres que són registrades en la cabina i de les efectuades en els pisos en sentit de baixada, per ser ateses successivament en un ordre lògic que minimitzi el nombre de viatges de la cabina. La cabina està normalment parada a la planta d'accés. En aquesta planta, es troba un botó amb fletxa de pujada i en els altres pisos hi ha un botó amb fletxa de baixada.

Aquesta maniobra memoritza les polsades de pis i les ordres de cabina. Quan s'efectua més d'una polsada des de pisos diferents, la cabina anirà a la polsada més alta i posteriorment, atindrà successivament a les polsades descendents mentre baixa. Si la cabina va pujant respondrà únicament a les ordres ascendents registrades des de cabina, segons puja. Quan atén a l'última canvia el sentit del viatge i atén a les polsades descendents de pis i a les ordres descendents de cabina segons baixa.

És adequada per a tràfics no intensos, típics d'edificis d'habitatges en els quals predominen les polsades de planta d'accés a plantes altes i viceversa.

4.1.3. Maniobra col·lectiva selectiva

La característica principal d'aquesta maniobra és que en els pisos existeixen botoneres amb dos botons, un de pujada i un altre de baixada, excepte en els pisos extrems on només es disposa d'un botó de pujada o un de baixada. Les polsades de pis i les ordres de cabina són memoritzades i ateses, seguint una seqüència lògica, segons el sentit de viatge de l'ascensor, independentment de l'ordre en què aquestes hagin estat registrades. Aquesta maniobra maneja de forma adequada el tràfic entre plantes pel que és aconsellable per a hospitals, hotels, comerços, etc.

- Es considera que aquesta era la situació inicial dels ascensors de l'ETSEIB quan van ser instal·lats.

4.1.4. Maniobres dúplex i de grup

Les maniobra dúplex o de grup són aquelles que impliquen a dos o més ascensors, treballant amb una sola botonera. Funcionen com la maniobra símplex (d'un ascensor) però amb les següents consideracions:

- Quan el sistema no registra cap polsada, una cabina queda en la planta d'accés i l'altra, normalment en l'últim pis servit.
- El sistema realitza càlculs continus en temps real sobre les polsades de pis i ordres de cabina, posició, sentit de marxa i càrrega de l'ascensor, per prendre decisions immediates sobre les arrencades i les parades registrades en cabina de la manera més eficaç.
- Una comunicació bidireccional d'alta velocitat per a la transmissió de dades permet a tots els grups de maniobra comunicar-se entre si, podent determinar-se quin ascensor acudeix a la polsada d'un viatger.
- El seu especial disseny permet que els ascensors agrupats es programin automàticament si un d'ells queda fora de servei.

Aquesta és la *hipòtesis* de partida que es considera, en els ascensors de l'ETSEIB posteriorment al canvi d'agrupació entre ascensors parells i senars.

4.1.5. Sistemes d'intel·ligència artificial

Els sistemes d'intel·ligència artificial, com els sistemes de control de destinació que es veuran més endavant, s'han introduït amb èxit en l'àmbit del transport vertical, per a aquells edificis amb tràfic molt intens, ja que són sistemes que, registrant tots els desplaçaments

diaris del grup d'ascensors al seu servei, són capaços d'adaptar l'estratègia del transport dels viatgers per l'endemà, en funció dels resultats obtinguts. En aquest sistema, cada ascensor és una unitat autònoma que conté tota la programació necessària per al control i funcionament del mateix, però de manera que les cabines estan en permanent comunicació bidireccional. El sistema s'assegura, mitjançant monitors informatius, de que tots els viatgers que es dirigeixin a una mateixa planta o plantes properes utilitzin un mateix ascensor per reduir parades i estalviar temps. S'utilitza doncs, un procediment anomenat zonificació amb el qual s'assigna a les cabines un sector diferent seqüencial.

Els passatgers saben a quina planta serveix cada cabina observant les pantalles de senyalització. D'aquesta forma el temps d'espera i viatge pot reduir-se en gran mesura. El sistema d'intel·ligència artificial registra diàriament totes les dades relatives a la demanda de tràfic i elabora l'esquema de tràfic per als dies següents. A més permet, dins del procés de zonificació, canviar la grandària dels sectors durant el dia per donar un servei més adequat.

Un tipus de maniobra d'intel·ligència artificial és la **Maniobra de Control de Destinació (DCS)**, que conté les tècniques que es descriuen a continuació. :

- Arquitectura d'assignació de polsades

Un algorisme d'assignació de polsades processa prèviament les dades de l'ascensor i de les polsades de destinació que s'utilitzaran mentre que també emmagatzema les previsions estadístiques del tràfic de passatgers. L'algorisme genètic busca les rutes òptimes perquè els ascensors atenguin les polsades de pis actives. Les decisions d'assignació de polsades òptimes i estables queden garantides si s'utilitzen els temps de parada mesurats i el temps de trajectòria de l'ascensor.

- Intel·ligència artificial

La informació sobre el tràfic de passatgers es gestiona en quatre etapes. El flux real de tràfic de passatgers es mesura utilitzant un dispositiu pesa cargues i senyals de fotocèl·lula i es guarden en les estadístiques a curt termini i diàries. A més a més, el flux del tràfic de passatgers a cada destinació es guarda en les previsions. Es recullen les estadístiques del nombre de passatgers que entren i surten per pis durant tot el dia, en períodes de cinc minuts.

Una vegada al dia les estadístiques de l'últim dia es guarden en les estadístiques a llarg termini (previsions estadístiques). En aquesta segona etapa, un suavitzat exponencial s'utilitza quan s'afegeixen noves dades a les previsions estadístiques de llarg termini. Es fan previsions per a cada dia de la setmana. En la tercera etapa, les previsions estadístiques s'utilitzen quan es reconeix el patró de tràfic. Els límits difusos dels patrons de tràfic es dissenyen mitjançant la lògica difusa o borrosa (*fuzzy logic*).

En la quarta etapa, el tràfic de passatgers que s'ha mesurat i la informació del patró de tràfic predominant s'utilitzen per assignar una polsada de destinació donada a una cabina i per enviar els ascensors als pisos.

- Previsions estadístiques

Les previsions estadístiques a llarg termini del tràfic de passatgers s'emmagatzemen i s'utilitzen en diverses operacions de control. Les mesures de tràfic dels sistemes d'ascensors han mostrat que el tràfic es repeteix sovint d'un dia a l'altre. En la majoria de les situacions un mètode de suavitzat exponencial simple aporta el millor resultat d'emmagatzematge estadístic.

$$F_t = \alpha \cdot Y_t + (1-\alpha) \cdot F_{t-1} \quad (\text{Eq. 5.1})$$

on, F = el valor suavitzat, i α = la constant de suavitzat, amb un valor entre zero i u.

Aquest mètode disminueix exponencialment la part relativa de les dades antigues.

Les dades antigues s'esborren gradualment quan s'afegeixen les noves. Si canvia el tràfic de l'edifici, s'aprèn. En altres paraules, les estadístiques s'adaptaran als canvis a l'edifici. Les previsions estadístiques s'emmagatzemen en períodes de cinc minuts cada dia de la setmana.

En la fase d'inicialització, el primer mes, les previsions estadístiques només es recullen. Durant aquest temps el control de grup no utilitza les dades de les previsions, que poden reduir l'eficàcia del control. Durant aquest període s'optimitzen els temps de viatge fins al pis, mitjançant l'algorisme bàsic d'assignació de polsades, en lloc dels temps d'espera i viatge dels passatgers.

Les estadístiques de tot un dia es recullen abans d'utilitzar-se per modificar les previsions. Les variacions estacionals en les dades de tràfic mesurats s'eliminen mitjançant el calendari i dues proves d'acceptació. Amb aquestes proves, els canvis periòdics, com ara el període de Nadal, no estan inclosos en les previsions estadístiques. Els dies excepcionals o les fallades en el registre de dades s'eliminen de les estadístiques.

- Lògica difusa

A partir de les estadístiques, es preveu el patró de tràfic. Els patrons de tràfic es defineixen usant la lògica difusa. Les parts relatives dels components de tràfic "entrades", "sortides" i "entre plantes", i la "intensitat de tràfic" es comparen estadísticament cada cinc minuts. El grau de pertinença dels components de tràfic es compara amb les funcions BAIX, MITJÀ i ALT dels components de tràfic i es compara amb les 36 regles de lògica difusa.

Un exemple d'una regla de lògica difusa del pic en pujada seria:

SI la intensitat de tràfic = PESADA i tràfic entrant = ALT i tràfic sortint = BAIX i tràfic entre plantes = BAIX, llavors el patró de tràfic = **PIC EN PUJADA**. Es comparen totes les regles i es selecciona la que millor s'adapta a la situació prevista de cinc minuts.

Maniobra de Control de Destinació (Full DCS)

En el sistema de control de destinació, el passatger fa la polsada de destinació ja en les plantes, i el sistema de control li suggereix immediatament l'ascensor que l'atendrà. En el sistema de control de destinació completa (Full DCS), no s'utilitza cap panell de botonera de cabina (panell COP) dins de la cabina. El sistema de control de destinació té més informació d'entrada que els sistemes de control convencionals amb polsadors de pujada i baixada al moment en que s'assigna una trucada de passatgers a un ascensor. Amb la informació de destinació avançada, el sistema de control pot assignar destinacions als ascensors perquè els passatgers que volen anar al mateix pis se situïn en la mateixa cabina, el que disminueix el nombre de parades durant el viatge de pujada. A continuació es mostren les diferències en senyalització entre la maniobra convencional i una maniobra de control de destinació.



Figura 4.2. Exemples de botonera de cabina, denominació d'ascensor, indicador de destinació i botonera de planta (d'esquerra a dreta i de dalt a baix).

La principal característica del panell de maniobra de cabina és que no disposa de botonera per poder seleccionar la planta, ja que aquesta elecció es realitza quan el passatger està a

la planta abans d'entrar a l'ascensor. Així, la botonera de planta és més complexa al tenir la possibilitat de seleccionar el nombre de planta a la qual el passatger es dirigeix. Els ascensors han d'estar denominats per una lletra o per un nombre perquè el passatger sàpiga quin ascensor li correspon. En els indicadors de destinació de planta vindran reflectits els pisos en els quals aquest ascensor es destina.

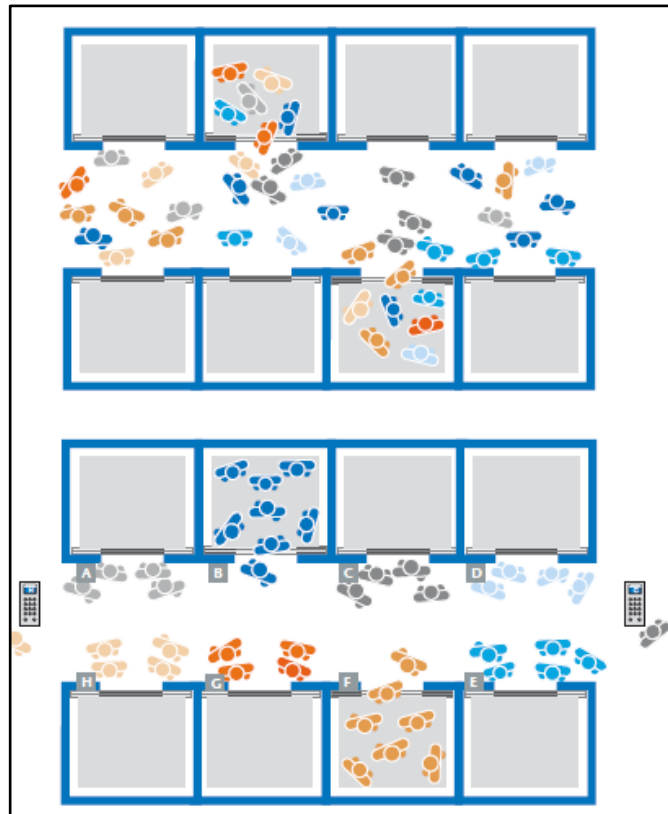


Figura 4.3. Usuaris d'ascensors en maniobra convencional (a dalt) i maniobra DCS (a baix).

Font: KONE.

La gran diferència de la maniobra convencional enfront d'una maniobra DCS és que els botons per poder seleccionar la planta a la qual el passatger es dirigeix, estan situats en el panell de la cabina, i no en planta. Les botoneres de pis a més, consten solament de dos botons, per indicar si el passatger vol pujar o baixar. La senyalització de pis marca amb fletxes l'adreça que prendrà l'ascensor situat en aquesta planta, i la planta on actualment està l'ascensor mentre que en aquest cas indica a la que es dirigeix.

Existeix la possibilitat de tenir només la maniobra de control de destinació en la planta principal i en la resta de plantes, botoneres de senyalització convencional. Aquesta opció de maniobra de control de destinació l'anomenarem Híbrida, enfront de la completa (Full). S'utilitza en oficines ocupades per diverses empreses o en hotels on el tràfic entre plantes, que no sigui la principal, sigui gairebé inexistent, per la qual cosa la majoria de viatges en baixada es faran des de la planta sol·licitada a la principal.

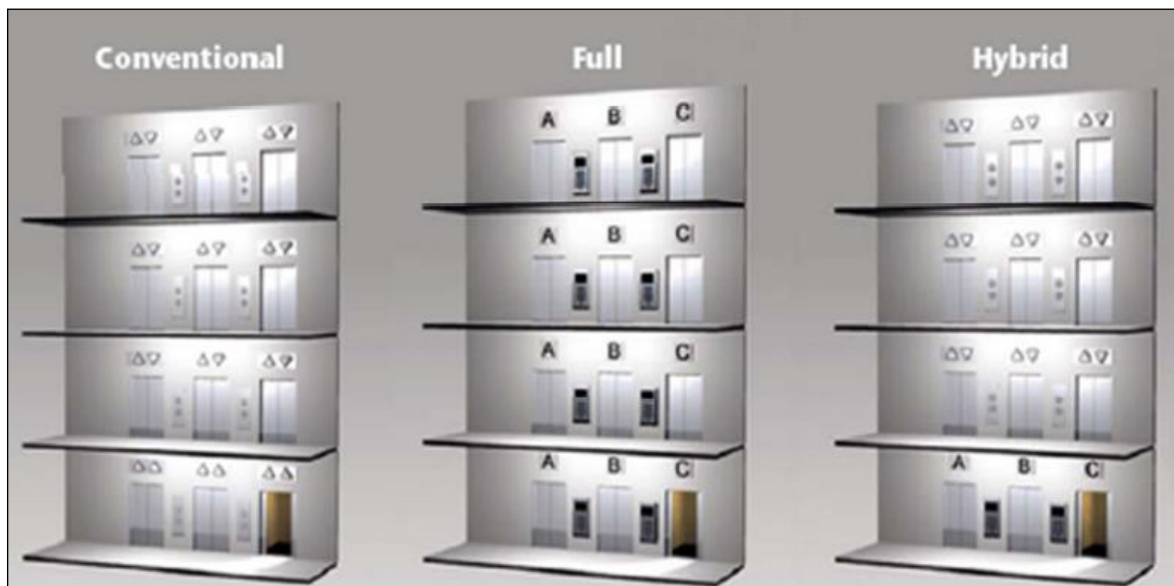


Figura 4.4. Posició de la senyalització per a diferents maniobres DCS.

Amb la informació de destinació avançada, el sistema de control pot assignar aquell ascensor que coincideixi la seva polsada per part d'un usuari amb la polsada de destinació d'un altre, disminuint així els temps d'espera i trajecte, i per tant, el nombre de parades de l'ascensor. L'optimització del temps de viatge és beneficiosa especialment en la situació de pic en pujada en la qual tots els usuaris arriben des dels mateixos pisos d'entrada i els usuaris amb idèntica destinació són transportats en la mateixa cabina. El temps mitjà d'anada i tornada s'escurça llavors, la qual cosa augmenta la capacitat de gestió en el sistema d'ascensors.

En les figures següents es comparen els temps d'espera segons la intensitat de tràfic, amb els sistemes de control convencionals i de destinació, de dos zones (ETSEIB) i de tots els ascensors per lliure entre les diferents plantes, pels períodes de *Up-Peak* i *Lunch-Peak*.

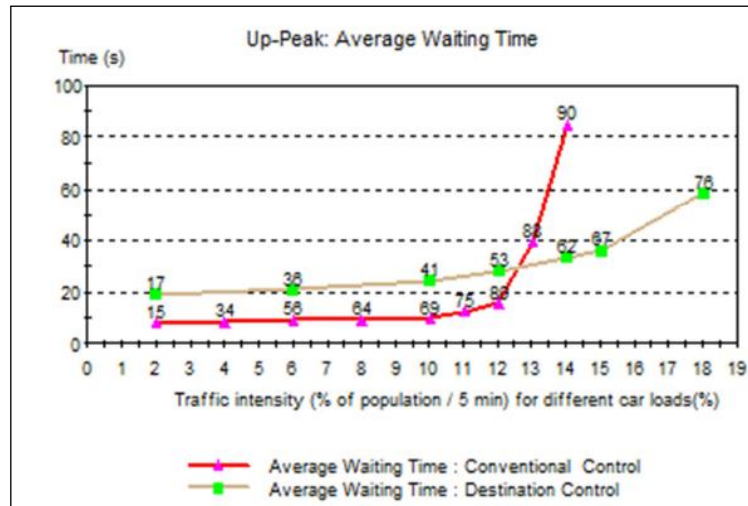


Figura 4.5. Temps d'espera d'un sistema convencional i control de destinació en "Up-Peak".

Font: KONE.

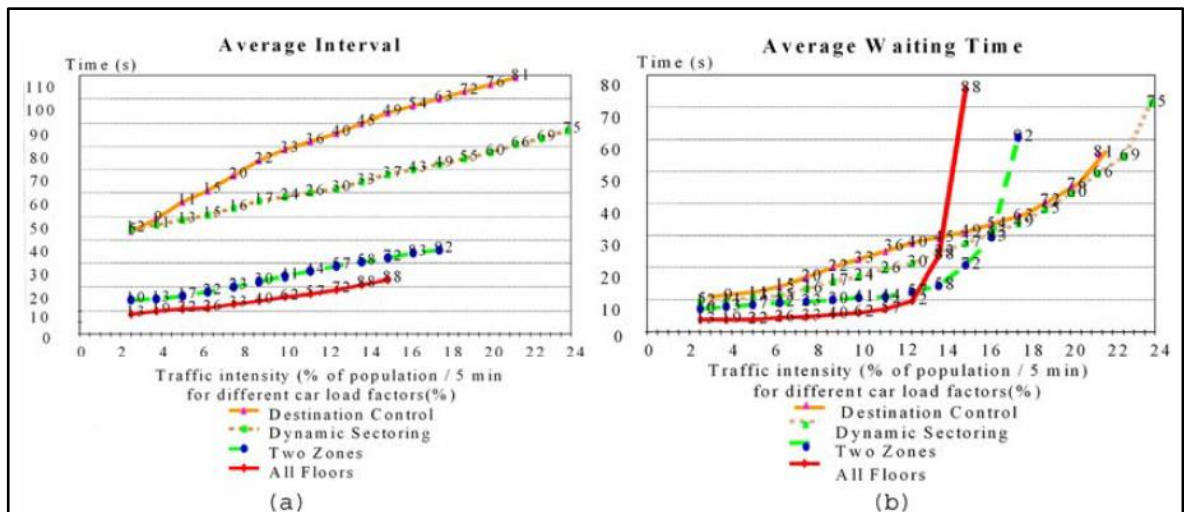


Figura 4.6. Interval de servei (a) i temps d'espera dels usuaris (b) per quatre tipus diferents de maniobra de control. Font: KONE.

D'on extreiem que per a intensitats de tràfic inferiors al 12% el temps d'espera òptim és el de totes les plantes servides per lliure, mentre que per intervals d'entre el 12 i el 15% és el de dues zones. Per intensitats superiors al 15%, el mètode més adequat és el de destinació de control [3].

Pel que hem vist a la taula 5.3, si ens trobem a la planta baixa, que és la de major afluència, i sabem que dels 1.694 estudiants de les aules, descomptant els estudiants de la planta baixa, la primera planta i la segona planta que es pot assumir que no utilitzen l'ascensor per accedir-hi, tenim 940 estudiants que podrien representar la nostra "població", si vé el cert és que no totes les aules s'utilitzen simultàniament. Assumint un percentatge del 70% d'ús de

les mateixes en les plantes restants, ens resulta una població de 658 usuaris.

Si a partir del 15% de la població la maniobra òptima és la de DCS, voldria dir que en 5 minuts els ascensor haurien de tenir una afluència superior als 99 usuaris per considerar-la com a maniobra òptima.

Consum d'energia

Un sistema de la tecnologia de consulta de destinació amb motor EcoDisc, podria repercutir en disminuir el consum anual d'energia aproximadament a la meitat en comparació de la tecnologia VVVF AC normal. Durant les hores amb pic de tràfic, s'optimitzen els temps d'espera i el temps de viatge. Això augmenta la capacitat de gestió del sistema d'ascensors només quan és necessari i els temps d'espera segueixen sent raonablement curts.

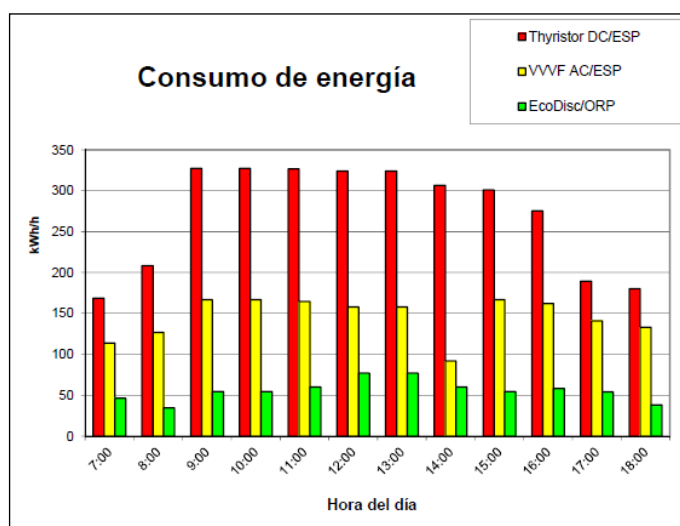


Figura 4.7. Consum diari d'energia d'un tiristor-DC, VVVF AC i tecnologia EcoDisc que utilitza DCS.

Font: KONE.

4.2. Criteris de gestió

Pels models d'optimització és necessari definir tant el conjunt de restriccions associat al problema, com la funció o funcions objectiu a considerar.

4.2.1. Restriccions

Dins de l'apartat de les restriccions, aquestes es poden dividir en dos grans grups: restriccions generals i restriccions particulars, i el primer d'ells al seu torn en restriccions explícites i restriccions implícites.

En quant a les **restriccions generals explícites** és habitual considerar les següents:

- Una cabina només pot servir una polsada en cada instant.
- El nombre màxim de passatgers que es poden servir és la capacitat de la cabina.
- Un ascensor no pot parar en una planta tret que un passatger vulgui pujar o baixar del mateix.
- Un ascensor no pot parar en una planta a recollir passatgers si ja hi ha un altre ascensor parat en aquesta planta

En quant a les **restriccions generals implícites** es solen considerar:

- Les polsades realitzades dins d'un ascensor sempre es serveixen seqüencialment en el sentit del mateix, és a dir, aquest no podrà saltar-se cap planta de destinació d'un usuari.
- Un ascensor no canvia de sentit mentre porti usuaris, és a dir, fins que no hagi servit a tots els passatgers. Els ascensors no accepten polsades des de l'ascensor en la direcció contrària a la de viatge, per tant els passatgers no haurien de poder accedir a un ascensor que viatgi contra direcció a la seva planta de destí.
- Tenint la possibilitat de pujar o baixar, l'ascensor sempre preferirà pujar.

Finalment les **restriccions particulars** depenen de les condicions específiques de l'edifici. Aquí es pot incorporar un gran nombre de restriccions entre les quals es troben habitualment:

- Servir amb una cabina buida o amb pocs usuaris algunes plantes específiques.
- Reduir els temps d'espera en determinades plantes amb preferència.
- Opció de treure un ascensor fora del grup per a motius especials.
- Disposar d'almenys un ascensor pel transport de mercaderies, o pel servei a minusvàlids.

La consideració d'unes o altres restriccions condicionarà la definició dels algorismes d'optimització, i per tant les solucions obtingudes d'aquests.

4.2.2. Criteris d'optimització

Finalment el problema d'optimització es tanca fixant els criteris d'optimització, així aquests es formalitzen atenent el funcionament global del sistema o el nivell de servei a

l'usuari.

En quant al **funcionament global del sistema** es consideren com a criteris:

- Minimitzar el consum energètic del sistema. El qual es produeix principalment en l'arrencada de l'ascensor.
- Maximitzar la capacitat global del grup d'ascensors (volum de viatgers transportats).

En quant al **nivell de servei ofert a l'usuari**:

- Minimitzar el temps mitjà d'espera dels passatgers (recopilant el temps d'espera en cua).
- Minimitzar el percentatge de llargues esperes en planta (per exemple penalitzant aquelles esperes superiors a un minut).
- Minimitzar el temps mitjà de viatge de tots els usuaris (recopilant el temps de trajecte del passatger).
- Minimitzar el temps mitjà de sistema dels usuaris (que inclou la suma de temps mitjà d'espera i temps mitjà de trajecte).

4.3. Tècniques i algorismes

La recerca per a la incorporació de complexos algorismes en el funcionament dels sistemes d'ascensors és relativament recent al nostre país, mentre que en països en els que el cost del sòl històricament ha estat més elevat (com les principals ciutats d'EUA o Japó) es va desenvolupar fa diversos anys, mostra d'això és l'existència de patents als EUA des de finals dels anys vuitanta i principis dels noranta [4], [5] i [6]. L'avanç de la recerca aplicada va rebre des de llavors i posteriorment l'impuls de les grans companyies multinacionals [7], [8], [9] i [10]. A la fi dels noranta la recerca en *transport vertical* era ja una realitat i a partir de llavors es van reforçar les col·laboracions entre els centres de recerca i les companyies privades. Així es troben diferents àmbits de col·laboració, com ara el *Systems Analysis Laboratory* de la Universitat Tecnològica d'Hèlsinki amb la *KONE Corporation* [11], o també el *Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik* de Berlin amb *Schindler* [12].

A Espanya també es començava a realitzar recerca orientada al millor funcionament d'aquests sistemes, des de grups com el Grup de Transport Vertical de la Universitat de Saragossa, i també amb la col·laboració que el grup Enginyeria d'Organització de la Universitat de Sevilla manté amb *MAC PUAR S.A.*

4.3.1. Algorismes avançats

La consideració de mètodes més avançats permet aconseguir solucions amb millors rendiments. La 'Programació Dinàmica' [13] és la primera opció. L'algorisme *Optimal Routing* de programació dinàmica determina el millor ascensor per a una polsada començant per la polsada més llunyana en el trajecte de viatge. Així l'assignació comença per la polsada més baixa i continua fins a la més alta, assignant-se totes les peticions als ascensors.

Una versió millorada és l'algorisme d'assignació dinàmica de polsades adaptatiu *Dynamically Adaptive Call Allocation* (DACA), en aquest el registre d'una nova polsada fa començar el procés d'assignació, sent aquest el moment de la decisió. El tràfic de passatgers es simula durant alguns minuts després del moment en què la polsada ha estat servida. S'utilitza al costat d'un algorisme de control adaptatiu, *Adaptive Call Allocation* (ACA) que té ús en l'assignació de les futures polsades per reduir el nombre d'alternatives de decisió, reservant-se la polsada existent per a l'ascensor amb el mínim cost acumulat.

Recentment es ve considerant la incorporació d'elements d'intel·ligent artificial i/o meta heurístiques en els micro-controladors de la maniobra de l'ascensor. La 'Lògica Difusa' es mostra com una valuosa eina quan es volen avaluar de manera flexible gran nombre de criteris. Així, el 'Sistema de Control de Grup d'Ascensors Difús' [14], en la part que dedica a l'estratègia d'assignació de polsades, utilitza diferents criteris d'optimització com són: el temps d'espera fins que un ascensor 'i' arriba a la planta on es produeix la polsada des de la seva posició actual, $HCWT_i$ (*Hall Call Waiting Time*); el màxim dels $HCWT_i$ per a les polsades assignades a l'i-èssim ascensor, $maxHCWT_i$ (*maximum Hall Call Waiting Time*); la capacitat de cobertura de futures polsades per part de l'i-èssim ascensor, CV_i (*Coverability*); i la mínima distància des d'una nova polsada a les polsades assignades a l'i-èssim ascensor, GDi (*Gathering Degree*).

D'altra banda el Controlador de Grup d'Ascensors Difús amb 'Adaptació Lineal al Context' [15] funciona igualment amb meta regles de lògica difusa, però realitza una contínua adaptació del controlador als canvis en el tràfic de passatgers. Dins dels sistemes Bioinspirats, els 'Algorismes Genètics' [16] i [17], també s'han assajat amb èxit. Identificant el temps com un sistema d'esdeveniments discrets, es poden desenvolupar dues estratègies per a l'assignació de polsades de planta a ascensors: l'estratègia d'assignació de polsada i l'estratègia d'assignació de cabina.

També vénen desenvolupant-se amb èxit algorismes basats en l'aprenentatge. *Neuros-I* [18] és un controlador de la firma *Fujitec* i comercialitzat a Japó, que implementa una xarxa neuronal. L'estat del grup d'ascensors i el de cadascun per separat es converteixen en valors numèrics per ser utilitzats com inputs de la xarxa neuronal. L'aprenentatge de la xarxa

consta de dos passos: un aprenentatge inicial on es crea la xarxa i un aprenentatge adaptatiu *online*. En aquesta última fase els pesos de les interconnexions entre neurones s'ajusten automàticament. Per a això, s'utilitza un coeficient global de funcionament (temps mitjà d'espera com a coeficient d'avaluació), mentre es van assignant les polsades.

S'han assajat, també amb èxit, models basats en 'Aprentatge Reforçat' [19]. En aquest cas, el sistema es modela com un sistema d'esdeveniments discrets, on esdeveniments significatius (com ara arribades de passatgers), succeeixen en temps discret. Quan un problema de decisió en temps continu es tracta com un sistema d'esdeveniments discrets es denomina procés de decisió semi-Markovià. Així, s'utilitza un equip d'agents on cada agent és responsable del control d'un ascensor. D'aquesta manera es disposen dues arquitectures diferents: Una 'Arquitectura Paral·lela', on els agents comparteixen una xarxa (RLp , *Parallel Reinforcement Learning*), i una 'Arquitectura Descentralitzada', on cada agent disposa de la seva pròpia xarxa (RLd , *Decentralized Reinforcement Learning*).

En tot cas sempre és necessari realitzar la valoració i validació dels algorismes prèviament a la seva implementació física real. Per aquest motiu cal considerar l'assaig d'aquests en entorns de simulació [20]. Després de la fase de simulació es poden establir judicis fonamentats que permetin, d'acord amb les restriccions i limitacions físiques del microcontrolador, el desenvolupament de prototips a partir dels quals definir adequats controladors de la maniobra d'ascensors.

4.3.2. Algorismes d'optimització: THV i PDCU

Tradicionalment com a algorismes d'optimització s'han implementat regles de maniobra. Aquestes són un conjunt de seqüències lògiques governades per comandes del tipus IF-ELSE. Així d'entre les regles clàssiques, es troben, pel cas d'un ascensor, el mètode simple o universal que només respon quan l'ascensor es troba lliure i és el més antic; o els mètodes col·lectius o selectius en baixada i/o pujada que recullen passatgers en el sentit de viatge, com s'ha comentat en altres apartats.

Quan s'instal·len grups de dos o tres ascensors (dúplex / triplex) s'acudeix a sistemes basats en l'algorisme THV el qual envia a la polsada de planta a aquell ascensor més proper a la planta que es trobi en el sentit adequat (com es considera en el cas de la situació actual dels ascensors de l'ETSEIB).

L'algorisme PDCU permet obtenir resultats que milloren implementacions tradicionals com el citat algorisme THV. Aquest algorisme, recull la informació tant passada com present, procedent de les polsades de planta i cabina, per realitzar una estimació futura amb l'objectiu de minimitzar els temps d'espera en les polsades des de planta, així com els temps de viatge dels usuaris en la cabina. S'ha denominat a l'algorisme amb el nom de PDCU

(Programa Dinàmic de Qualitat d'Usuari) ja que persegueix la satisfacció de l'usuari minimitzant els temps d'espera tant a l'interior de la cabina com a la planta a l'espera de l'arribada de l'ascensor.

Així, el Programa Dinàmic Qualitat d'Usuari escull aquella opció que inclogui una durada estimada de viatge menor tant per als usuaris en cabina (però atenent també al temps acumulat que porten de viatge en la cabina) com als usuaris que esperen a l'ascensor en l'exterior. Per tant, ofereix l'alternativa addicional de l'anàlisi de l'usuari en trajecte que no estava valorada en la majoria de les regles tradicionals.

La incorporació d'aquesta perspectiva és un avantatge comparatiu evident enfront d'algorismes tradicionals del tipus THV-Dúplex, [21] i [22], que realitzen l'assignació de l'ascensor del grup mitjançant el criteri d'ascensor més proper (en termes de distància) en el sentit del viatge. A mode d'exemplificació, un exemple d'assignació de les polsades de planta seguint els algorismes THV i PDCU seria l'exemple següent:

En el sistema tenim dues cabines que només van a les plantes parells, la primera d'elles (cabina 1) conté polsades des de dins de cabina a les plantes vuitena, segona i planta baixa, la cabina viatja en direcció ascendent i es troba a la quarta planta. La segona cabina (cabina 2) viatja en direcció descendent i es troba a la primera planta, en ella hi ha polsades internes a les plantes desena, vuitena i baixa. A més, hi ha polsades per ambdós ascensors des del hall les plantes sisena i quarta (en sentit de baixada) i la planta baixa.

Els algorismes farien la següent assignació:

<i>Polsada de planta</i>	<i>PDCU (cabina assignada)</i>	<i>THV (cabina assignada)</i>
0	2	2
4	1	2
6	1	1

Taula 4.1. Assignació de cabines segons algorisme

La diferència es produeix en l'assignació de la planta quarta. L'algorisme PDCU assigna la cabina 1, mentre que el THV assigna la cabina 2. Evidentment resulta més adequada l'assignació de l'algorisme PDCU. Així, en aquest cas, després de deixar l'usuari de la cabina que viatja fins a la planta vuitena i recollir al de la sisena podrà recollir en el sentit adequat de viatge al passatger de la planta quarta.

Per contra, atenent a l'algorisme THV, la cabina 2 deixaria al passatger de cabina que viatjava a planta baixa, recolliria al que espera en aquesta planta, posteriorment pujaria fins

a la planta desena i baixaria fins a la vuitena a deixar els usuaris de cabina, i, només després de tot això, recolliria al que esperava en la planta quarta. Sens dubte és una assignació més ineficient.

4.3.2.1. Discussió comparativa entre els algorismes PDCU i THV

L'algorisme THV no resulta apropiat per administrar situacions crítiques de tràfic com els intervals *downpeak* o *uppeak*. Es consideren els tres tipus de tràfic: *downpeak*, quan el tràfic dominant és en sentit descendent; *uppeak*, quan el tràfic dominant és en sentit ascendent; i *lunchpeak*, quan existeix fort tràfic tant en sentit ascendent com a descendent. Així per exemple, durant el *downpeak*, el procediment d'assignació donaria lloc al fet que les cabines fessin viatges a plantes massa altes de l'edifici, en perjudici de les polsades des dels nivells més baixos, donant-se en aquest cas el millor servei als nivells més alts. En un edifici de baixa altura, i assumint que els usuaris de les plantes inferiors utilitzen més les escales que els ascensors, el sistema THV seria acceptable.

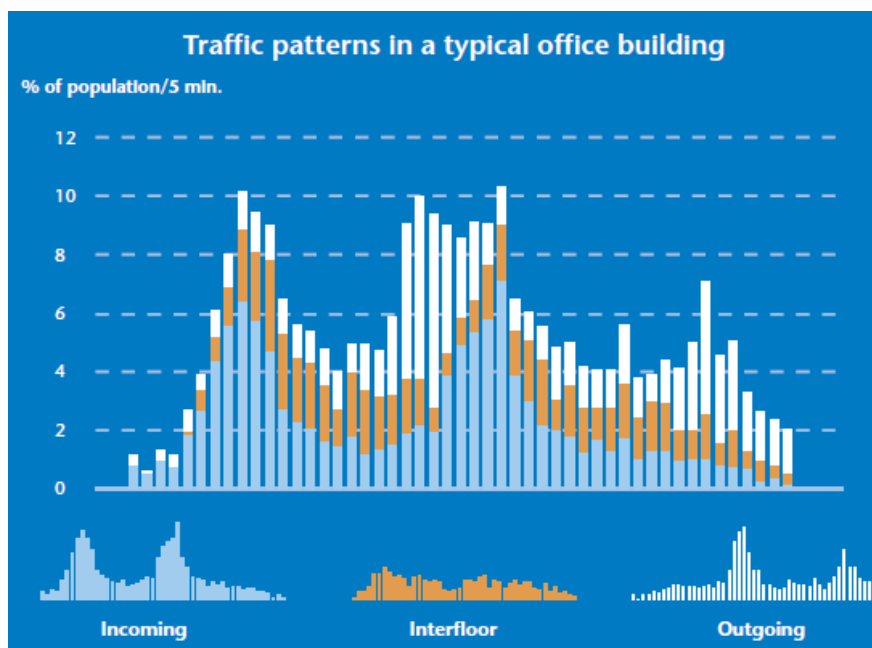


Figura 4.7. Distribució dels patrons de tràfic en una oficina. Font: KONE

Per a casos amb dues cabines, un nombre elevat de pisos i en els quals a més existeixi un fort tràfic descendent en situacions de *downpeak* i *lunchpeak*, THV i els algorismes *Dúplex* tradicionals poden ser fortament ineficients. En aquest cas l'algorisme PDCU permet millores significatives en l'assignació de les possibles destinacions de les cabines, en tenir en compte totes les situacions que es poden donar en el tràfic del sistema, i decidir en funció dels temps acumulats i esperats de viatge.

4.3.2.2. Elements addicionals de control

Els elements de control han d'estar especialment dissenyats per col·laborar amb l'algorisme d'optimització de la maniobra en la gestió eficient tant de la qualitat de servei oferta a l'usuari (a través del temps d'espera principalment), com en l'estalvi energètic del sistema. Tots els elements de control han de ser elements parametrizables.

Control de l'ocupació de la cabina

Es duu a terme mitjançant la informació procedent de la bàscula pesa cargues incorporada al sistema.

Control del tipus de tràfic

Es duu a terme mitjançant la utilització del rellotge del sistema. El tipus de tràfic s'ajusta mitjançant el fitxer de dades històriques procedents de la bàscula pesa cargues. Es consideren els tres tipus de tràfic mencionats anteriorment: *downpeak*, *uppeak* i *lunchpeak*. En aquestes situacions es considera que la fase *uppeak* es divideixen en dos graus:

- *Uppeak* suau (incloent *lunchpeak*). S'enviaria un ascensor a planta baixa a recollir passatgers.
- *Uppeak* fort. S'enviarien els dos ascensors a planta baixa a recollir passatgers.
- *Downpeak*. No s'actua, mantenint els ascensors en punts intermedis de l'edifici.

Estalvi d'energia

Adicionalment és aconsellable la incorporació d'un sistema de control d'estalvi energètic (si bé aquest sistema pot repercutir negativament en els temps de viatge del sistema). El principal consum energètic es produeix en l'arrencada de les cabines. Per això, el control d'estalvi energètic s'activa quan una de les cabines es troba parada. D'aquesta forma caldrà contemplar l'opció d'arrencar la cabina parada (amb la consegüent despesa energètica, però el possible augment dels temps d'espera), contra l'opció que serveixi la cabina en moviment (amb efectes contraris).

Control d'esperes màximes

Es considera una opció de control per a temps d'espera màxims. Per a això s'incorpora una variable que acumula el temps d'espera associada a cada polsada de planta. En cas que se superi un valor establert s'envia una cabina expressament a la planta.

4.3.2.3. Actuacions dels elements de control

La Taula 4. recull els principals criteris de gestió sobre els quals actua cadascun dels controls addicionals que s'han afegit a les rutines de control del sistema de maniobra.

	Control d'ocupació de la cabina	Control de situacions crítiques de tràfic	Control d'estalvi energia	Control de situacions d'espera màxims
Criteris de gestió sobre els quals actua	- Minimitzar el consum energètic del sistema.	- Minimitzar el temps mitjà d'espera dels passatgers.	- Minimitzar el consum energètic del sistema.	- Minimitzar el percentatge de llargues esperes a qualsevol planta
	- Minimitzar el temps mitjà d'espera dels passatgers.	- Minimitzar el temps mitjà de viatge de tots els passatgers.		
	- Minimitzar el temps mitjà de viatge de tots els passatgers.	- Minimitzar el temps mitjà de sistema dels usuaris.		
	- Minimitzar el temps mitjà de sistema dels usuaris.			
	- Optimitzar l'assignació de polsades.			

Taula 4.2. Actuacions dels elements de control.

Arquitectura del sistema

L'arquitectura proposada consisteix en un controlador principal que rep la informació de les variables de control de les cabines i de les plantes. El controlador principal inclou les rutines de control bàsiques, els algorismes d'optimització i els elements de control addicionals i específics.

5. Anàlisi tècnic

5.1. Sistema d'anàlisi

Donat que es busca analitzar la situació actual dels ascensors amb l'objectiu d'optimitzar els temps de viatge, es pretén utilitzar el sistema que explica la teoria del flux vehicular en el que es defineixen les gràfiques fonamentals del tràfic ($q-K$, $v-K$ i $q-K$), que ens permetrà conèixer el comportament dels ascensors de forma general i de forma particular per a cada tram de viatge, considerant-se aquest el mètode més adequat per al tipus d'anàlisi que es vol realitzar.

Es pretén obtenir a més del comportament dels ascensors, els temps d'espera i el nombre de parades mitges a cada planta, així com el nombre mig de persones que pugen i baixen en les parades per a cada tipus de viatge (de pujada o baixada). Per altra banda, amb aquest procediment es podrà obtenir una relació directa entre els temps de viatge i l'ocupació de l'ascensor per a cada tipus d'ascensor.

Arrel del coneixement *in situ* de l'ús de les plantes en les que es cursa matèria i de les que aporten tràfic més intens als ascensors, s'ha determinat eliminar de l'anàlisi que posteriorment es descriurà, les plantes 10 i 11 de l'edifici ja que no aporten valor i s'acabarien descartant com a valors atípics de l'estudi. Com a conseqüència d'aquest últim punt, el objectiu es conclou en optimitzar els temps de viatge dels ascensors des de la planta baixa fins a la novena planta en el cas dels ascensors senars, i fins la vuitena planta en el cas dels parells.

Abans d'exposar els resultats de l'anàlisi, es dóna una breu introducció als diagrames fonamentals del tràfic, extrapolant-los al nostre cas d'interès:

5.1.1. Paràmetres fonamentals del tràfic

5.1.1.1. Flux

Es diu flux o intensitat de tràfic al nombre d'usuaris que entren dins de l'ascensor per unitat de temps. Les unitats que utilitzarem són usuaris/s i usuaris/dia (intensitat diària).

La intensitat és la característica fonamental de la circulació, ja que permet caracteritzar el tipus de circulació en un tram, per la qual cosa és una variable bàsica en l'anàlisi del tràfic. Des del punt de vista de l'Enginyeria interessen especialment dos estats de la variable intensitat en funció del temps:

- La intensitat mitjana per viatge: La suma de tots els usuaris que accedeixen a l'ascensor en un viatge dividit entre el total de viatges.
- La intensitat horària punta: nombre d'usuaris que accedeixen a l'ascensor durant l'hora que es considera representativa de les condicions de major circulació.

La intensitat horària s'utilitza per a projectes i l'ordenació: capacitat dels ascensors, característiques de les plantes i portes, control de maniobres, coordinació i ordenació de la circulació.

Pel que fa al concepte d'intensitat d'hora punta, ha de considerar-se que el correcte funcionament de qualsevol via no es jutja per la seva capacitat per a intensitats mitjanes, sinó per a intensitats en hores punta. Per això la intensitat de tràfic en l'hora punta és de gran interès.

D'altra banda, per realitzar el projecte d'una via ha de tenir-se en compte la intensitat de tràfic que haurà de suportar. Però la intensitat varia al llarg del temps, per la qual cosa caldrà atendre a la freqüència amb que es presenten els diferents valors d'aquesta intensitat, ja que no estaria justificat utilitzar com a intensitat horària representativa la intensitat màxima.

Convé, d'altra banda, distingir entre "volum" i "intensitat", ja que tots dos són conceptes que quantifiquen els usuaris que accedeixen a l'ascensor durant un interval de temps predeterminat. Per diferenciar-los es definirà dos conceptes relacionats entre si:

- Volum de circulació: Nombre total d'usuaris que es troben en un ascensor concret durant un interval de temps donat.
- Intensitat de circulació: Nombre total d'usuaris que accedeixen a aquell ascensor durant un temps determinat inferior a l'hora, normalment 5 min. expressat en usuaris/s.

La diferència entre volum i intensitat de tràfic és important. El volum és el nombre real dels usuaris que accedeixen i es troben a l'ascensor durant un interval. La intensitat de tràfic s'obté dividint el nombre d'usuaris observats durant un període entre el temps d'observació.

5.1.1.2. Velocitat

Podem definir de manera general la velocitat com la relació existent entre l'espai recorregut i el temps emprat a recórrer-ho, i s'expressarà en plantes/s.

Podem parlar, no obstant això, d'altres conceptes més precisos:

- Velocitat puntual; la velocitat d'un ascensor en un viatge concret.

- Velocitat instantània, la velocitat d'un ascensor en un moment determinat.
- Velocitat de recorregut d'un ascensor és la velocitat mitjana aconseguida per l'ascensor en recórrer el trajecte determinat.
- Velocitat de circulació d'un ascensor és la velocitat mitjana descomptant les parades completes.
- Velocitat mitjana de recorregut és la mitjana de les velocitats de recorregut de tots els ascensors en un tram.

5.1.1.3. Densitat de tràfic

Es denomina densitat de tràfic al nombre d'usuaris que hi ha en un ascensor per a un instant donat. Aquesta magnitud rares vegades es mesura, ja que és possible calcular-la fàcilment a partir de mesures de velocitat i intensitat, com es veurà més endavant.

Evidentment existeix un valor màxim de la densitat de tràfic, que s'obté quan tots els usuaris estan en fila, sense buits d'espai entre ells. En aquestes condicions el sistema està congestionat.

La densitat de tràfic influeix de forma directa en la qualitat de la circulació, ja que en augmentar la densitat resulta més difícil mantenir la velocitat que es desitja i els usuaris es veuen obligats a realitzar un major nombre de moviments per sortir i entrar, generant una pèrdua de temps. Si la densitat s'apropa al seu valor màxim, es circula molt lentament amb freqüents parades i arrencades (a més usuaris, més probabilitats de parar a totes les plantes, donat el sistema actual).

Conseqüentment la densitat és una variable que explica directament la valoració que fan els usuaris de la qualitat de la circulació, i d'aquí l'interès d'utilitzar aquesta variable.

5.1.2. Relacions entre flux, velocitat i densitat

Entre les principals característiques de la circulació estudiades existeixen relacions que permeten deduir una d'elles a partir dels valors de les altres.

D'ara en endavant es suposarà que els ascensors es mouen al llarg de la seva via, sense interrupcions a la circulació. Per tant, si els ascensors arriben a aturar-se, serà a causa de les pròpies circumstàncies del tràfic i no a mesures exteriors, com poden ser les parades del personal de manteniment.

La relació fonamental és: intensitat igual a densitat per velocitat mitjana ($I = D \cdot V$). Aquesta relació lliga per tant les tres magnituds fonamentals i permet calcular una d'elles

(generalment la densitat) en funció de les altres dues.

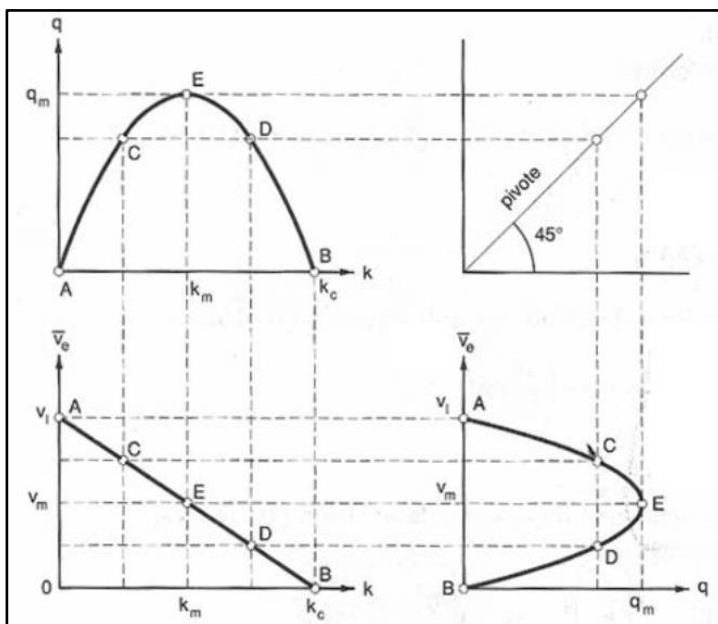


Figura 5.1. Diagrama fonamental del flux vehicular.

Font: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola, y otros, 2007)

Els fluxos de trànsit no congestionats es troben limitats per:

$$0 \leq q \leq q_m$$

$$v_m \leq \bar{v}_e \leq v_l$$

$$0 \leq k \leq k_m$$

(Eq. 6.1.)

5.1.2.1. Relació velocitat - densitat

En augmentar la densitat de tràfic la velocitat mitjana disminueix. En el límit, quan s'aconsegueixi la densitat màxima, seria absolutament impossible moure's sense copejar a algú, i la velocitat de tots els usuaris seria igual a zero ja que s'haurà superat el pes màxim que pot aguantar l'ascensor i no es podrà moure. La velocitat mitjana resulta així una funció de la densitat que aconsegueix un valor màxim quan la densitat és gairebé zero, i disminueix constantment en augmentar la densitat fins a arribar a anul·lar-se quan la densitat de tràfic aconsegueix el seu valor màxim. Parlarem de zones, corbes o regions de circulació inestable quan tinguin altes densitats i baixes velocitats, mentre que serà estable en cas contrari.

Si es representa la variació de la velocitat mitjana en funció de la densitat de tràfic

(mesurant-la en usuaris per planta i tipus de viatge), s'obtenen corbes com les de la Fig. 6.2, en les quals les majors variacions entre tipus d'ascensors es produeixen a les zones de baixa densitat.

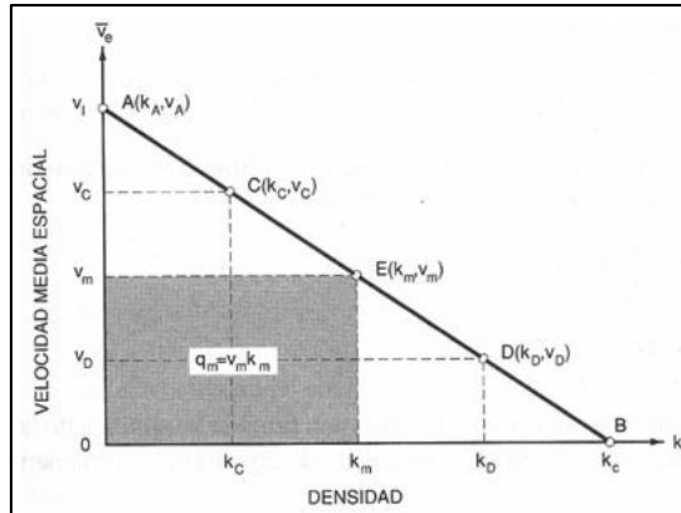


Figura 5.2. Relació lineal entre velocitat i densitat.

Font: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola, y otros, 2007)

5.1.2.2. Relació flux - densitat

Quan la densitat sigui nul·la, també ho serà la intensitat: i quan la densitat aconseguixi el seu valor màxim, per anul·lar-se la velocitat mitjana, s'anul·larà també la intensitat. Entre tots dos extrems, la intensitat tindrà valors positius, i per tant ha d'aconseguir-se un valor màxim de la intensitat. Representant la intensitat en funció de la densitat resulten funcions convexes amb un màxim per a un cert valor de la densitat, com les representades en la Fig. 6.3. Com en el cas de la relació velocitat - densitat, aquestes corbes seran diferents segons els tipus d'ascensors, presentant-se majors diferències a la zona de baixa densitat, mentre que seran similars a la zona propera a la densitat màxima.

El valor màxim de la intensitat per a un tram es coneix com a capacitat, i la densitat per la qual s'obté es diu densitat crítica. Quan la densitat és menor que la crítica, el tràfic es manté relativament fluït i estable. Per contra, quan la densitat és superior a la crítica, les pertorbacions tendeixen a produir un empitjorament de la situació que pot arribar a la detenció total del tràfic. Per això, els punts de la branca ascendent del diagrama corresponen a condicions de tràfic que es poden considerar acceptables, ja que els usuaris es mantenen movent-se a una velocitat que, encara que no sigui la desitjable, no sofrirà excessives variacions. Per contra, els punts de la branca descendent corresponen a una circulació inestable en què es produeixen constantment parades i arrancades i les velocitats oscil·len entre zero i valors sempre reduïts.

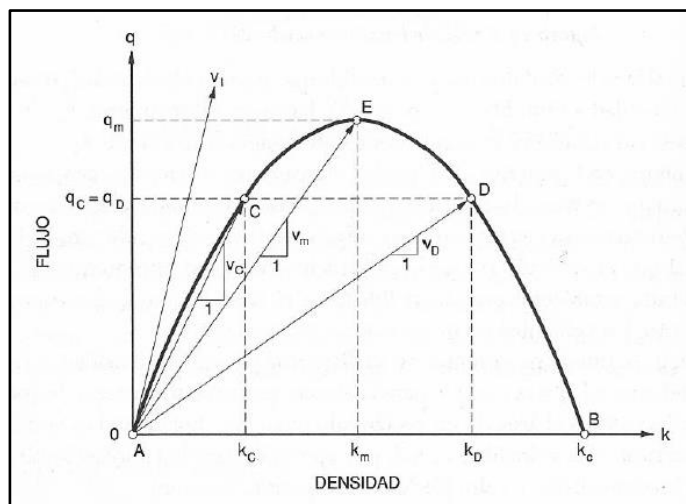


Figura 5.3. Relació parabòlica entre flux i densitat.

Font: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola, y otros, 2007)

El diagrama que representa la intensitat en funció de la densitat es coneix com a diagrama fonamental del tràfic, i en ell pot obtenir-se per a qualsevol punt la intensitat (ordenada), densitat (abscissa) i velocitat mitjana (pendent de la recta que uneix l'origen amb el punt en qüestió).

5.1.2.3. Relació velocitat - flux

Mentre la intensitat de tràfic és baixa, els usuaris mantenen la velocitat adequada, mentre que quan augmenta la intensitat la velocitat de cada usuari ve determinada en gran part per la dels altres, produint-se una disminució de la velocitat mitjana. Quan aquesta intensitat és molt alta i l'ascensor arriba a estar congestionat, la velocitat resulta poc influïda per altres factors, com les característiques de l'ascensor o el tipus de viatge.

Aquesta relació és molt més senzilla d'obtenir en la pràctica, ja que és més fàcil mesurar velocitats i intensitats que densitats.

Com en el cas de la corba intensitat-densitat, es presenten dues velocitats diferents per a cada valor de la intensitat, una relativament elevada, i una altra menor (Fig. 6.4). La part superior de la corba correspon a una circulació lliure i estable, mentre que la part inferior correspon a una circulació congestionada i inestable. La branca superior de la corba, és la més interessant a efectes pràctics.

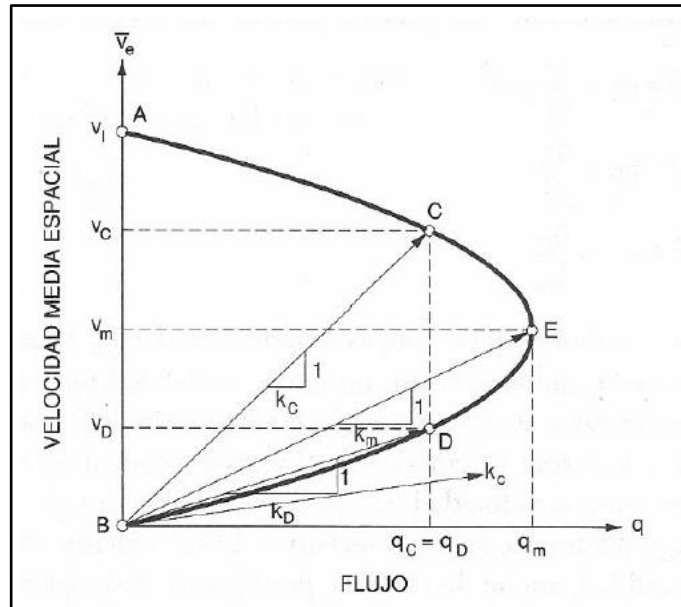


Figura 5.4. Relació parabòlica entre velocitat i flux.

Font: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola, y otros, 2007)

5.2. Metodologia de presa de dades

Per tal de poder prendre les dades de manera ordenada i lògica, s'ha redactat una taula en la que s'anoten diferents paràmetres claus. El resultat de la presa de dades en la taula es troben inclosos en el Annex, si bé es definiran en aquest apartat:

- Temps d'espera de cada planta.

En el cas de trobar-se en l'inici del viatge és el temps (segons) transcorreguts des de que es polsa perquè vingui l'ascensor fins que aquest tanca definitivament les portes amb els usuaris dins.

En el cas de plantes intermèdies des de que s'obren les portes perquè pugin i baixin els usuaris fins que es tanquen i arranca.

- Nombre de persones que pugen o baixen a cada planta.

Es computen les persones que surten de l'ascensor a cada planta i les que entren.

- Temps total de viatge.

La suma de tot el temps que ha tardat l'ascensor en arribar a la vuitena o novena planta si havia començat des de la planta baixa i en el cas de fer el trajecte de baixada fins que arriba a la planta baixa.

- Balanç obtingut.

Diferència entre el nombre de persones que han pujat i baixat de l'ascensor durant el trajecte.

S'ha realitzat la presa de dades en diferents dies, obtenint un total de 150 mostres que es consideren suficients per fer l'anàlisi proposat. La metodologia ha estat la següent:

- Pujar a l'ascensor bé a la planta baixa o bé a la vuitena o novena planta, de manera que es poguessin realitzar viatges sencers comparables des de la planta baixa a les més altes i a l'inrevés.
- Dins l'ascensor, s'ha comptabilitzat mitjançant un cronòmetre el temps emprat en diferents situacions, com són el temps de trajecte entre plantes, el temps d'aturada a les plantes, el temps total d'extrem a extrem del recorregut, i el nombre d'usuaris pujant i baixant a cada planta.

S'ha considerat aquesta la metodologia que podia donar millors resultats per fer l'anàlisi desitjat donats els recursos disponibles (un cronòmetre i una persona).

5.3. Anàlisi de les dades obtingudes

5.3.1. Paràmetres

A partir de les dades recollides en l'Annex, es poden obtenir les variables necessàries per dur a terme els càlculs de les gràfiques fonamentals del tràfic descrites anteriorment.

Aquestes variables són les següents:

Temps de viatge dins l'ascensor (TVA):

$$TVA = \text{Temps Viatge} - \text{Temps espera inicial de l'ascensor} \quad (\text{Eq. 6.2})$$

Velocitat (v):

Aquesta velocitat no es tracta de la que ens proporciona el fabricant. Es determina en funció del nombre de parades realitzades durant el viatge per al total de temps que s'ha tardat en finalitzar-lo. És utilitzada de manera anàloga en el cas del transport públic, on es computa el temps que s'ha detingut en cada parada un autobús, per exemple.

$$v = \frac{n^{\circ} \text{ plantes totals}}{TVA} \quad \left[\frac{\text{Plantes}}{s} \right]$$

(Eq. 6.3)

Densitat (K) :

Es calcula per cada interval de plantes. El nombre de persones es considera com les que ja es troben dins de l'ascensor més el balanç a la planta d'inici del nou interval.

$$K = \frac{\text{n}^\circ \text{usuaris ascensor}}{\text{n}^\circ \text{plantes recorregudes}} \quad \left[\frac{\text{Usuaris}}{\text{Planta}} \right]$$

(Eq. 6.4)

Intensitat o flux (q):

Es tracta d'una de les fórmules fonamentals del tràfic.

$$q = K \cdot v \quad \left[\frac{\text{Usuaris}}{\text{s}} \right]$$

(Eq. 6.5)

Ocupació mitja (O):

Nombre de persones que es troben en cada interval mesurat, dividit entre el total d'intervals.

$$O = \frac{\sum(\text{n}^\circ \text{usuaris dins l'interval})}{\text{n}^\circ \text{ intervals}} \quad \left[\frac{\text{Usuaris}}{\text{Interval}} \right]$$

(Eq. 6.6)

Temps espera (Te):

Per a cada planta serà el temps mig d'espera.

$$Te = \frac{\sum(\text{temps espera en la planta})}{\sum(\text{n}^\circ \text{parades en la planta})} \quad [\text{s}]$$

(Eq. 6.7)

Nombre de persones mig que pugen i baixen en cada viatge (N):

En cada viatge, tant de pujada com de baixada, el nombre de persones mig que hi pugen o hi baixen.

$$N_{i,j} = \frac{\sum(\text{usuaris entren o surten de l'ascensor a la planta i en un viatge tipus j})}{\sum(\text{n}^\circ \text{parades a la planta i en un viatge tipus j})} \quad [\text{usuaris}]$$

(Eq. 6.8)

i : planta de parada.

j : tipus de viatge (pujada o baixada).

5.3.2. Resultats i exposició de les conclusions

Es presentaran els resultats de l'anàlisi segons si l'ascensor para a les plantes parells o senars, i seran representats en les gràfiques que es consideren més interessants per analitzar el comportament dels usuaris.

5.3.2.1. Comportament dels usuaris segons tipus ascensor

En total s'han considerat 152 mostres de viatges, 38 de pujada fins la vuitena planta en el cas dels parells, 38 fins la novena planta en el cas dels senars i 76 de baixada fins la planta baixa repartides en 38 per tipus de viatge.

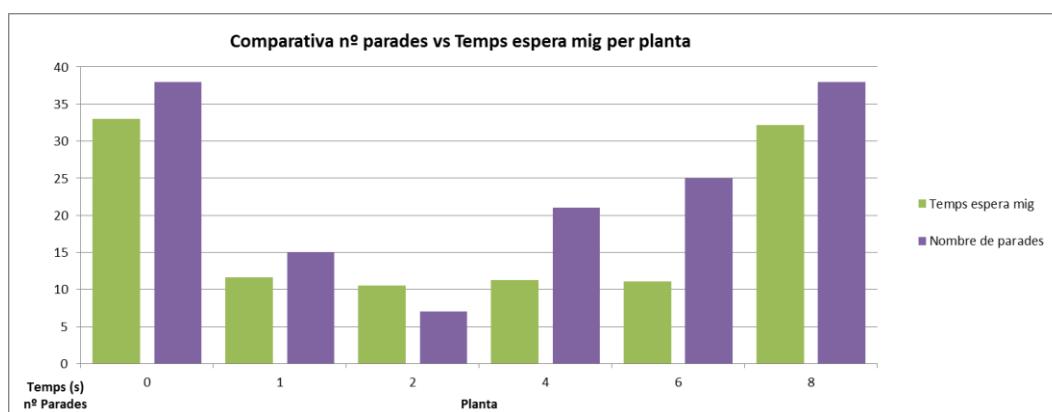


Figura 5.5. Comparació parades i temps d'espera en plantes parells.

En la gràfica anterior es comprova com:

- Els pisos que acumulen més parades són la planta 6 i la 4, amb 25 i 21 parades respectivament sobre el total dels 76 viatges (33% i 28%). Per el contrari, la segona planta és la que acumula menys parades.
- El temps d'espera mig per omplir l'ascensor és similar en els extrems del trajecte (al voltant dels 32-33 segons).
- El temps d'espera mig per omplir l'ascensor entre plantes és molt inferior i pràcticament igual entre les plantes, tractant-se de 10-11 segons en la majoria dels casos.

Per altre banda, en el cas dels ascensors imparells:

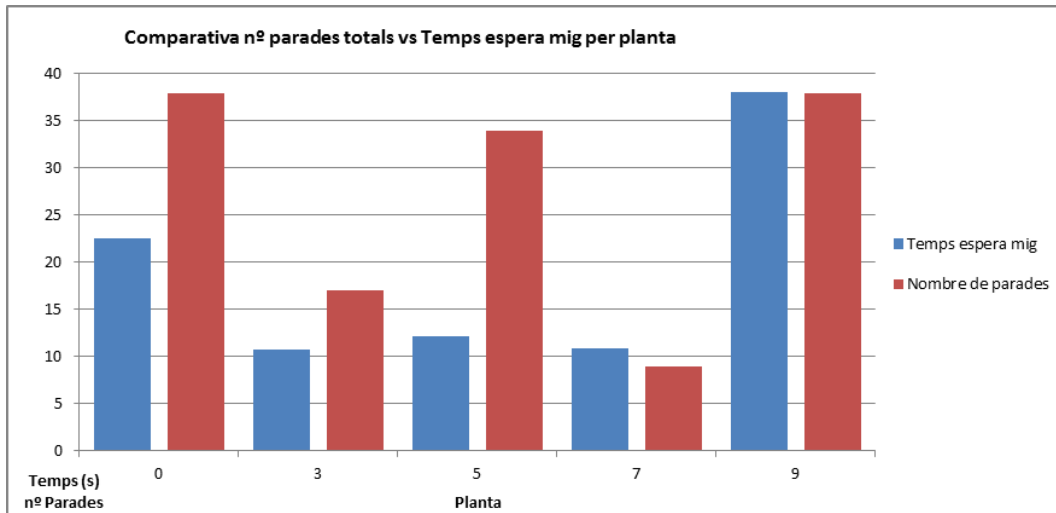


Figura 5.6. Comparació parades i temps d'espera en plantes senars.

- El temps d'espera mig és molt més alt per la novena planta que per qualsevol altre, que demostra la gran acumulació de tràfic de les plantes altes.
- La planta baixa acumula llargues esperes, possiblement degut a l'elevat nombre de persones que demanen l'ascensor a la planta baixa.
- Les plantes intermèdies solen ser servides en temps inferiors a 15s de mitja, molt més ràpidament que les de l'extrem.
- Es comprova com la planta que acumula més parades és la cinquena, tal i com es plantejava a l'inici, ja que fins a 34 dels 76 viatges (44,74%) hi ha parat, degut a l'alt nombre d'aules de les que disposa.

Un altre exercici interessant és analitzar el comportament dels usuaris segons el tipus de viatge, per veure quin nombre mig d'usuaris o flux d'usuaris és el que transita a cada planta, que ens aportarà una visió més completa juntament amb les gràfiques anteriors:

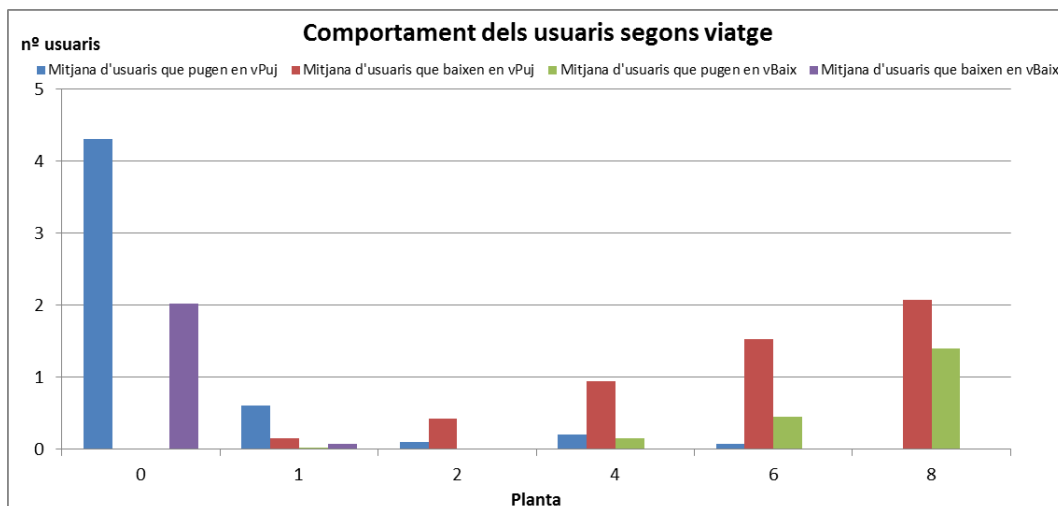


Figura 5.7. Flux de trànsit en plantes parells.

- La planta baixa és on pugen més usuaris de mitjana (4) per anar als pisos superiors, seguit de la primera amb menys d'un usuari de mitjana.
- La planta baixa és on la majoria dels usuaris decideixen baixar en els viatges de baixada.
- S'observa una relació per a les baixades a cada planta que és proporcional a la distància respecte la planta baixa, ja que com més amunt puja l'ascensor, més usuaris són els que en fan ús. També hi ha un increment del nombre d'usuaris que agafa l'ascensor en funció de la distància a la planta baixa que es troben, a més amunt, més probable és que l'agafin.
- En últim lloc, s'observa que els usuaris decideixen agafar l'ascensor per baixar únicament si es troben en el pis quart o superior, preferint baixar per les escales en qualsevol altre cas.

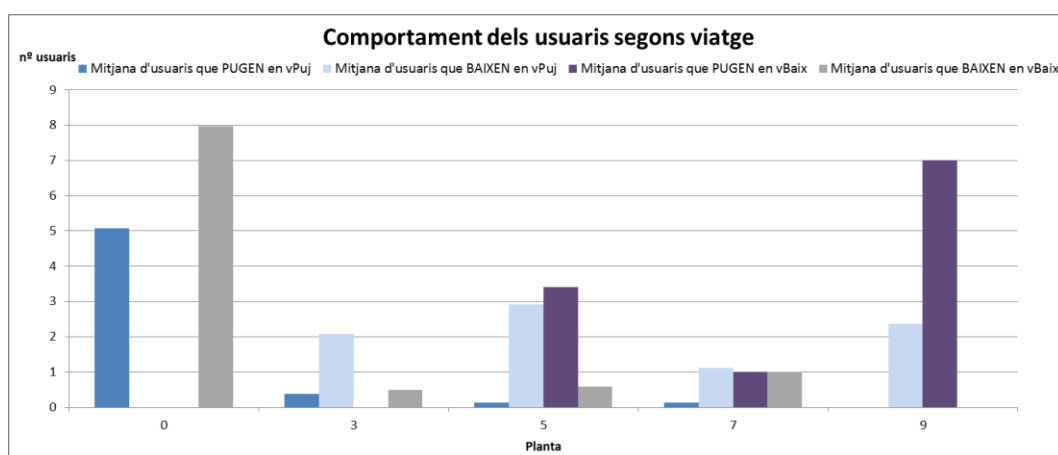


Figura 5.8. Flux de trànsit en plantes senars.

- S'observa una lleu mitjana d'usuaris que baixen de l'ascensor entre plantes en el cas

de ser viatge de baixada, el que significa que per moure's en trajectes d'una planta superior a una inferior els usuaris solen utilitzar les escales.

- La planta baixa té el flux mig més alt d'usuaris que puguen a l'ascensor en un viatge de pujada i que hi baixen en el cas de ser un viatge de baixada.
- A la novena planta, la conclusió que s'extreu és que les vegades que s'utilitza en sentit descendent és perquè s'ha acabat una classe i el grup que havia donat classe baixa massivament.
- A la tercera planta, el tipus de tràfic que de mitjana agrupa a més usuaris és de baixar de l'ascensor en un viatge de pujada, per tant es considera una planta de baixada d'usuaris.
- La cinquena planta és la que té un tràfic més divers

Una vegada analitzat el trànsit en funció del tipus d'ascensor, el temps d'espera, nombre de parades i el flux d'usuaris, es pretén fer un últim anàlisi que demostrï que el temps de viatge és proporcional a la ocupació mitjana de l'ascensor. En aquest sentit les dades extretes dels dies d'observació ens conclouen el següent:

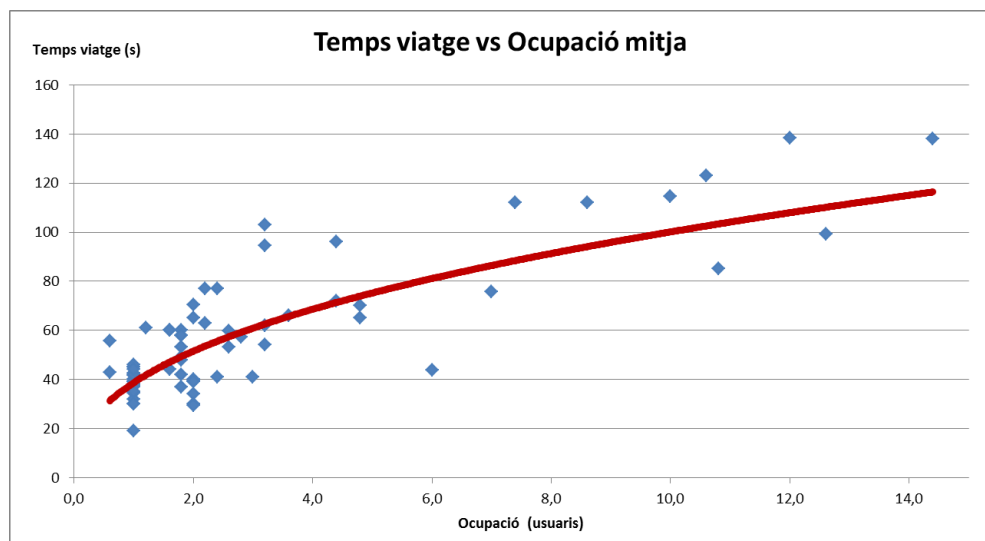


Figura 5.9. Temps de viatge i ocupació en plantes parells.

On es demostra com afecta a la durada del viatge la ocupació mitjana de l'ascensor, de manera que a més usuaris durant el trajecte, més llarg és el viatge. Aquesta relació es veu afectada no només per l'ocupació de l'ascensor, sinó per altres factors com el nombre de parades que realitza i el temps de buidatge i d'omplir-se l'ascensor. Podem veure que la majoria de viatges duren entre 30 i 70 segons.

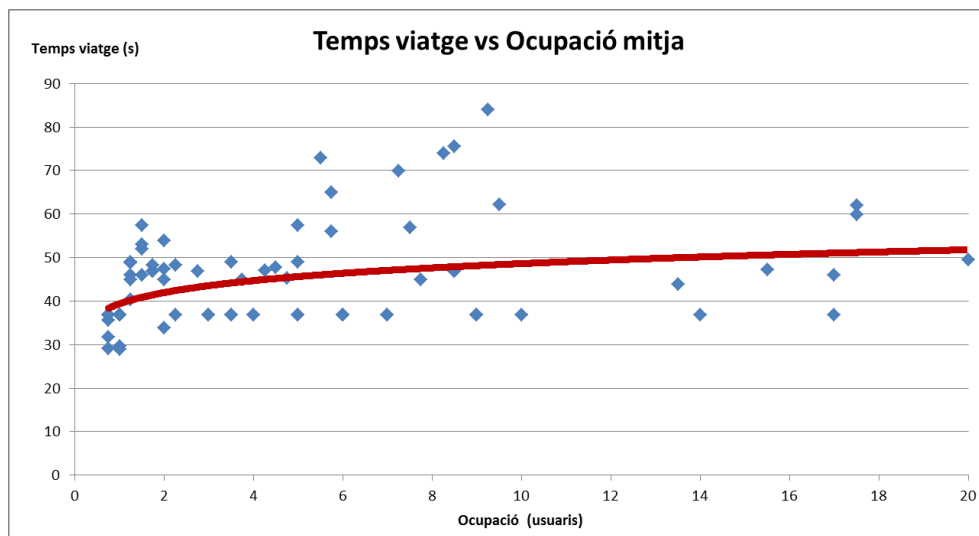


Figura 5.10. Temps de viatge i ocupació en plantes senars.

En la figura anterior es mostra com a major ocupació de l'ascensor, més estona es tarda en fer els diferents trajectes també en el cas dels ascensors imparells, transcorreguts els viatges en una mitjana d'entre 30 i 50 segons, en aquest cas la relació no és tan directa com en els ascensors parells, degut al major nombre de parades en diferents plantes que registren els ascensors d'aquest tipus.

5.3.2.2. Gràfiques fonamentals del tràfic

S'ha realitzat els càlculs corresponents mitjançant la fulla de càlcul de MS Excel. El resultat ha estat considerat de ser seccionat per ascensors parells i senars, i posteriorment per tipus de trajecte (pujada o baixada), obtenint els següents resultats:

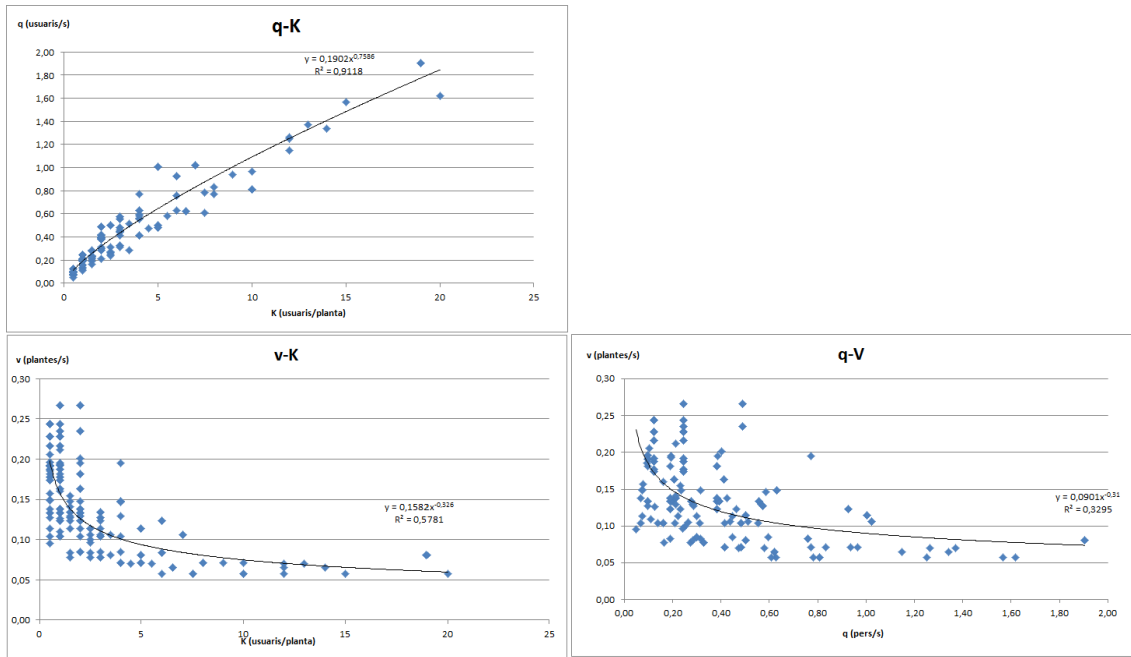


Figura 5.11. Fonamentals del tràfic, ascensors parells en sentit de pujada

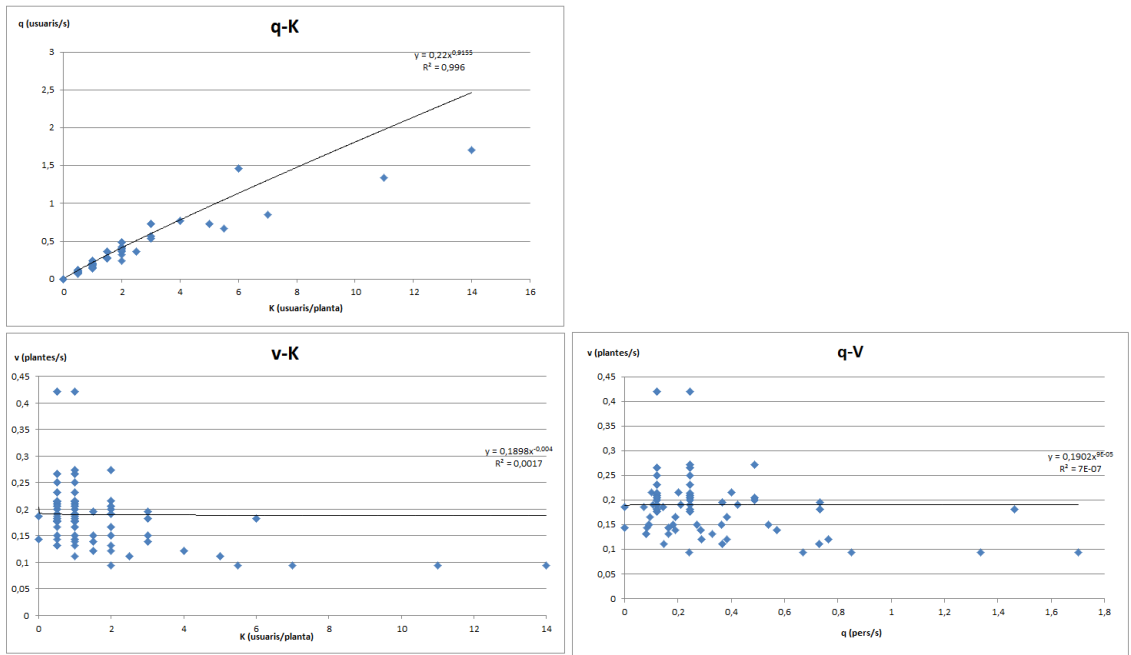


Figura 5.12. Fonamentals del tràfic, ascensors parells en sentit de baixada.

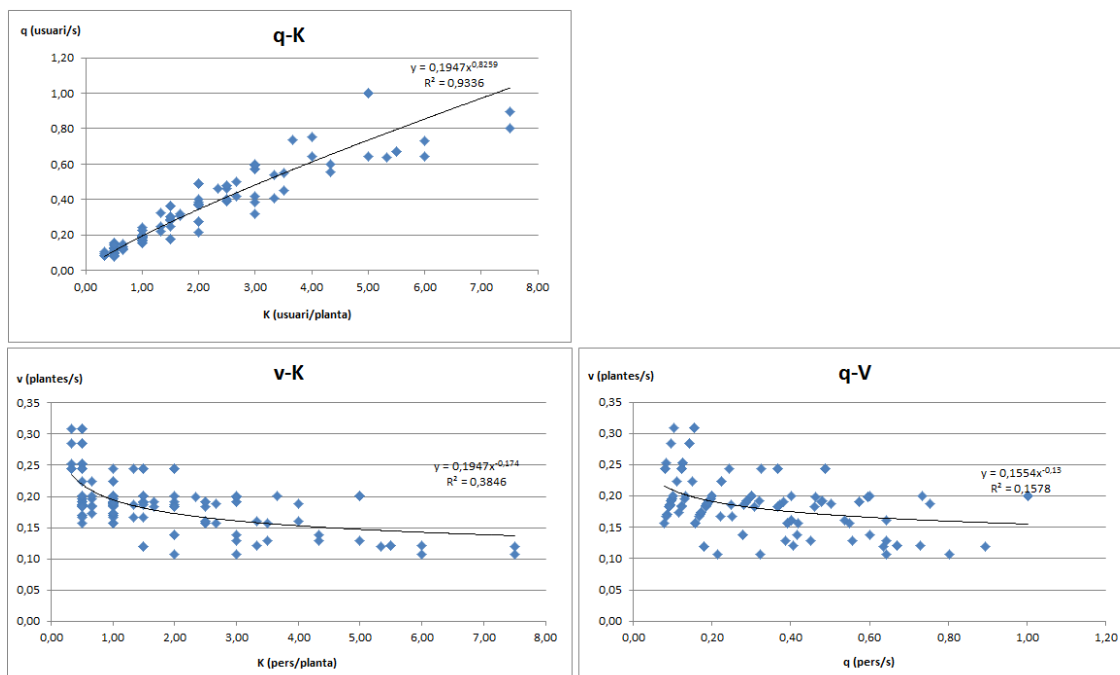


Figura 5.13. Fonamentals del tràfic, ascensors senars en sentit de pujada.

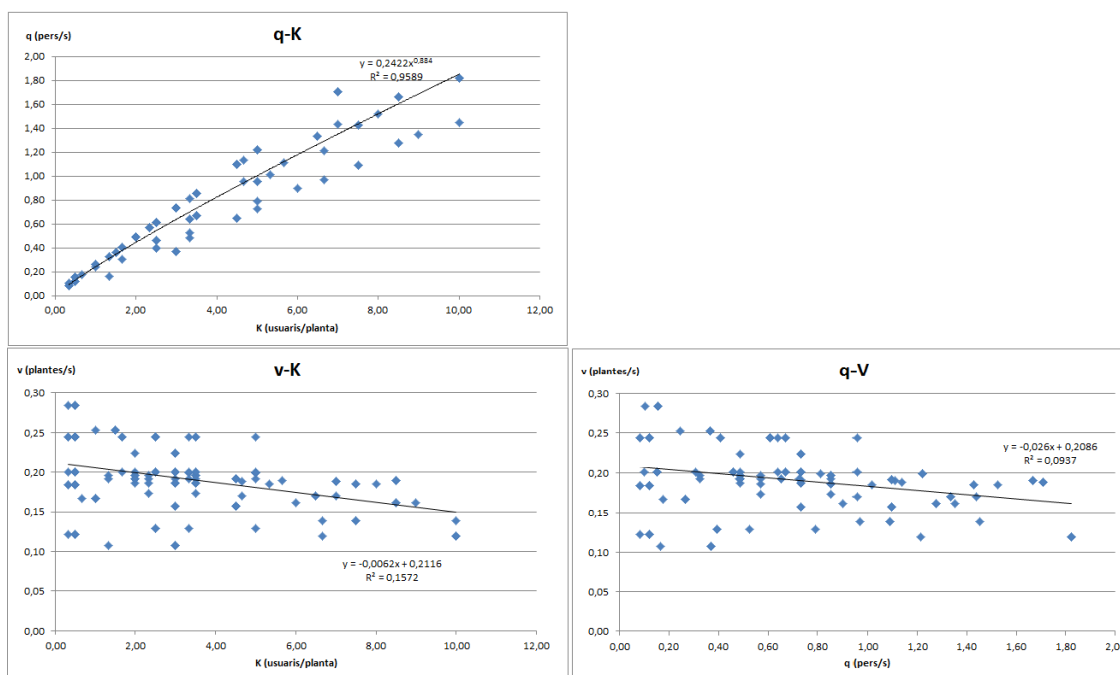


Figura 5.14. Fonamentals del tràfic, ascensors senars en sentit de baixada.

De les gràfiques fonamentals anteriors se n'extreuen les següents conclusions:

- La gràfica q-K mostra major ajust de R^2 que les gràfiques que relacionen la velocitat amb el flux o la densitat, aquest fet es deu principalment a que a l'hora de trobar la velocitat aquesta depèn del temps d'espera entre plantes, que es veu influenciada en

funció de si algú polsa el botó de tancar les portes per seguir amb el viatge, si es deixa funcionar amb normalitat, o bé si algú aguanta la porta al veure un usuari aproximant-se a pujar a l'ascensor.

- Observant les gràfiques, el seu comportament s'aproxima al del cas d'una cinta transportadora (tren de vehicles), en el qual la gràfica q-K presentaria un únic tram lineal fins a arribar al punt de densitat màxima. Prova d'això és que la gràfica q-v mostra a la branca superior (zona no congestionada fins a arribar a q màxima), i la gràfica v-K no tindria una velocitat limitada per les densitats mínimes.
- En tots els casos estudiats les gràfiques mostren la branca de zona no congestionada, demostrant que el sistema no arriba al seu màxim en ningun punt i que per tant no col·lapsa, trobant-se ben dimensionat. A nivell de servei compleix i satisfà la necessitat, si bé la velocitat de desplaçament no és la òptima i té marge de millora, especialment pel que fa a les plantes parells.
- Finalment, el comportament dels ascensors és el esperat, ja que a major flux, major densitat de tràfic, i a menor flux o menor densitat de tràfic, més alta és la velocitat en tots els tipus de viatges i d'ascensors.

6. Sistema proposat

En aquest capítol es discutirà quin mètode és el proposat per optimitzar el funcionament dels ascensors, així com l'algorisme i les millors distribucions d'ascensors per plantes.

6.1. Argumentació

6.1.1. Maniobra

El sistema actual de *Maniobres dúplex i de grup* és correctament funcional per diverses raons:

- El seu entorn és el d'una universitat amb dos ascensors per botonera i amb un tràfic que tal i com s'ha demostrat en l'apartat 6 s'acumula en molts dels casos a la planta baixa (de manera que si no hi ha cap polsada, és lògic que una de les dues cabines es desplaci a esperar el següent usuari a la planta baixa).
- Compleix amb la necessitat de tenir un sistema que realitzi càlculs continus en temps real per prendre decisions immediates sobre les arrancades i parades.
- La comunicació bidireccional ha d'existir per poder determinar quin ascensor acudeix a cada polsada.
- S'ha de programar automàticament quan un d'ells queda fora de servei, que és una casuística habitual en els ascensors de l'ETSEIB.

Si bé l'exposat coincideix amb el sistema que s'està utilitzant, es considera que existeix una maniobra més òptima pels ascensors de l'ETSEIB.

La *Maniobra de Control de Destinació (DCS)*, incorpora un algorisme d'assignació de polsades que com s'ha comentat anteriorment, conté informació dels viatges realitzats, estadístiques de curt i llarg termini i patrons de tràfic utilitzant lògica difusa. Es considera l'evolució natural del sistema actual.

Malgrat això, s'ha descartat la maniobra *Full DCS* ja que es conclou que en l'edifici estudiat el tràfic entre plantes que no sigui la principal, és gairebé inexistent, com s'ha demostrat en l'anàlisi tècnic de l'apartat 6. Així doncs, la opció òptima és la maniobra de control de destinació **Híbrida**, ja que la majoria de viatges en baixada es fan des de la planta sol·licitada a la principal (planta baixa), i els de pujada s'inicien en la planta baixa.

Amb aquest sistema, tal i com s'ha comentat, l'optimització del temps de viatge és beneficiosa especialment en situació de pic en pujada en la qual tots els usuaris arriben des del mateix pis d'entrada i els usuaris amb idèntica destinació són transportats en la mateixa

cabina. El temps mitjà d'anada i tornada s'escurça llavors, augmentant la capacitat de gestió en el sistema d'ascensors. També s'estalvia el cost d'implantar en totes les plantes les botoneres de planta, la denominació de l'ascensor, l'indicador de destinació i de canviar la botonera de cabina.

Es considera agrupar els quatre ascensors en aquesta maniobra des de la planta baixa, eliminant la situació actual d'ascensors parells i senars que dona molts problemes en situacions de fallada d'un ascensor o de parada de manteniment, i deixar l'ascensor dels professors com a únic ascensor lliure per pujar pisos entre plantes. Aquest canvi convertiria el grup de quatre ascensors en llançadores cap a tots els pisos de l'edifici, i es mantindria la capacitat de maniobra de recollir usuaris en trajectes de baixada amb destinació a qualsevol planta inferior, no únicament a la planta baixa.

D'aquesta manera, un usuari tipus, marcaria la planta a la que desitja pujar a la botonera de planta i s'esperaria junt amb els altres usuaris a que arribés la cabina, en una cua ordenada davant l'ascensor que s'indiqués. Al no tenir viatges entre plantes, els ascensors estarien obligats a baixar en arribar a la planta més alta del seu trajecte, realitzant parades puntuals per recollir usuaris, el que reduirà una gran quantitat del temps d'espera.

Per altre banda, s'ha mencionat en l'apartat 5.1.2.5 que aproximadament ha de ser un nombre superior als 99 usuaris en 5 minuts els que utilitzin l'ascensor, perquè ens resulti com a millor maniobra la del DCS, segons *KONE*. En l'apartat 6.3.2 es mostra com el flux d'usuaris que pugen a la planta baixa per viatge és de 4 pels usuaris d'ascensors parells i 5 pels d'ascensors senars. Tenint en compte que el temps de viatge mitjà dels ascensors parells de les mostres realitzades és de 57 segons i de 45 segons en el cas dels senars, ens resulta que en 5 minuts poden haver transportat de mitjana 21 usuaris en el cas dels parells i 33 en el cas dels senars, el que ens donaria un total de 108 usuaris en 5 minuts, al tenir dos ascensors de cada tipus.

Aquestes consideracions no es poden donar com a definitives ja que provenen de mostreig, i el trànsit real diari podria variar. De totes maneres, al tractar-se dels valors mitjans de les mostres, es considera que el pic de pujada estarà per sobre d'aquest valor i per tant serà molt superior als 99 usuaris mencionats anteriorment, i aquesta és de la dada d'interès per determinar en una situació crítica quin és la millor maniobra de control de destinació. En aquests efectes, queda demostrat que en pic de pujada la maniobra més òptima per evitar llargues esperes seria la que incorporés un sistema DCS.

6.1.2. Algorisme

Amb la finalitat de poder donar resposta al conjunt de criteris abans assenyalats en l'apartat 4.2, el sistema hauria de dur a terme la gestió mitjançant un conjunt de regles IF-ELSE de

selecció en baixada, incorporant addicionalment una estratègia de control quàdruple.

Si bé s'ha comentat en l'apartat 5.4 que els ascensors de l'ETSEIB utilitzen l'algorisme THV-Dúplex, aquest hauria de ser substituït per l'algorisme PDCU, que recull la informació tant passada com present per realitzar una estimació futura, amb l'objectiu de minimitzar els temps d'espera en les polsades de planta i el temps de viatge dels usuaris.

Addicionalment, les situacions crítiques de trànsit són les que focalitzen els estudis d'optimització de la circulació en els ascensors al tractar-se del moment en que pot produir-se cues i esperes més llargues, i en aquesta situació l'algorisme PDCU és òptim.

Per altre banda, aquest canvi pot no repercutir de manera tant substancial com la maniobra DCS en el resultat, al tractar-se d'un edifici amb un nombre de plantes poc elevat. També s'han descartat tots els algorismes avançats al no ser els indicats per un edifici de les característiques d'una universitat, amb un tràfic clarament inferior al d'oficines de gratacels, o d'hospitals. És per això que es recomana que s'implanti la maniobra DCS híbrida, que inclou la lògica difusa com a algorisme principal.

6.1.3. Distribució dels ascensors

Aquest apartat contempla diferents propostes de substituir el sistema actual pel de DCS Híbrid i es prepara com a llançament de la discussió en un futur estudi de la distribució dels ascensors, que no era objecte d'estudi del present treball.

Es recomana fer la simulació corresponent als sistemes següents, propostes que estan basades en els resultats observats en l'anàlisi tècnic i les conclusions personals extretes del mateix:

- Sistema híbrid, amb els quatre ascensors d'estudiants que circulin des de la Planta Baixa fins a la vuitena i el de professors de llançadora de la cinquena en amunt, motivant als usuaris que van a la novena planta a fer la última a peu si venen des de la planta baixa i a limitar l'ús de l'ascensor dels professors com a ascensor entre plantes.
- Sistema híbrid, amb tres ascensors d'estudiants que circulin des de la Planta Baixa fins la sisena, i el quart i el de professors de llançadora des de la cinquena a la resta de plantes superiors, limitant el seu recorregut inferior fins a la cinquena planta.

Per poder realitzar l'anàlisi de totes les opcions disponibles, es recomana utilitzar software de simulació creat per a tal propòsit, però el preu de la llicència està fora del pressupost marcat en aquest projecte.

6.2. Cost econòmic, impacte social i impacte mediambiental

El cost econòmic de dur a terme el projecte de canvi dels ascensors es podrà determinar segons les següents variables:

- Cost d'implementar un sistema de recopilació de dades.

En primer lloc hauria d'aconseguir-se unes dades més concises dels temps dedicats als viatges, les persones que entren i surten, a quina planta ho fan, quanta estona porten esperant, etc. ja que en l'estudi realitzat s'ha tractat d'un únic observador que no podia gestionar totes les variables desitjades, el que reduïa les opcions de fer anàlisi.

Es proposa implementar càmeres a les entrades de tots els ascensors per veure el temps d'espera que els usuaris han de passar per poder accedir a l'ascensor desitjat, i d'aquesta manera aconseguir també dades de les persones que entren i surten de l'ascensor i en quina planta ho fan, així com els temps dels viatges. També es necessitaria una persona que reculli aquests temps i en faci una base de dades.

El cost aproximadament seria de :

11 càmeres de vigilància 'Foscam FI9900P' ¹ al preu de 113,5 €/ut. – 1.250€ aprox.

1 estudiant en pràctiques recollint les dades a 6 €/h durant 5 h/dia i tres mesos. - 1.980€

- Salari del consultor

Es pot considerar un salari aproximat de 20 €/h treballada. La dificultat de recollir i sintetitzar totes les dades i de posteriorment analitzar-les i simular les diferents estratègies, podria tractar-se d'un projecte de mig any com a mínim en jornades diàries de 8 hores. – 21.120€

- Cost del software de simulació

Com es detalla en la figura 7.1., el cost del software de simulació són 1.820 £, que al canvi actual de 1,151 € = 1 £ , tindria un cost de 2.095€. L'ordinador es considera que el posa el consultor.

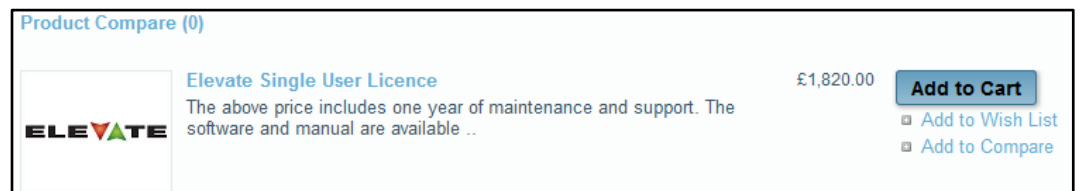


Figura 6.1. Llicència del software de simulació Peters-Research.

¹ Preu extret de l'empresa Amazon, © 1996-2016, Amazon.com a data 16/08/2016.

- Cost d'implementació de l'algorisme i d'instal·lació de les botoneres, senyals, etc.

El cost final d'implementar l'opció escollida, s'hauria de pactar amb l'empresa contractada i és difícil de definir perquè variarà en funció de les moltes opcions possibles. Aquest sens dubte serà el més elevat, però no es considera dins de la proposta del projecte ja que serà posterior a l'informe realitzat pel consultor que es decidiria si es posa en marxa o no.

Així doncs, es calcula que per a realitzar l'anàlisi coneixent totes les variables i amb totes les eines necessàries per a calcular l'òptim funcionament dels ascensors de l'ETSEIB s'hauria de pressupostar una quantitat d'aproximadament **26.445 €**.

Per altra banda, l'opció proposada tindria un impacte social i mediambiental positiu, ja que reduirà el temps d'espera dels usuaris amb el conseqüent increment de satisfacció en el servei, i aconseguirà moure els usuaris amb major eficiència, estalviant així fins a la meitat del consum energètic actual com s'ha vist anteriorment, que repercuteix directament en un menor impacte mediambiental al reduir el consum de fonts fòssils del mercat energètic com són el carbó o el gas natural.

Finalment, posicionaria la universitat de l'ETSEIB a l'avantguarda en matèria de tecnologies d'última generació per a ascensors, repercutint encara més positivament en el seu prestigi.

Conclusions

L'avaluació sistemàtica del comportament dels algorismes d'optimització, així com dels elements de control que s'incorporin en la maniobra del sistema, està fortament lligada al comportament dels patrons de tràfic externs. Aquests moviments de passatgers tenen una forta aleatorietat i són difícilment predictibles per ser un entorn fortament dinàmic. En aquest treball s'han definit les més rellevants i s'ha proposat mesures d'optimització del tràfic observat mitjançant mostres de temps de viatge comptabilitzades en diferents dies. Malgrat l'esforç realitzat, les dades poden diferir en gran mesura d'un quadrimestre a l'altre en funció del nombre d'estudiants matriculats, les classes assignades i els torns escollits pels estudiants.

El que sí es pot afirmar és que en qualsevol cas hi haurà patrons repetits, com ara les relacions anteriorment mencionades de flux-densitat, velocitat-flux i velocitat-densitat que demostren la relació de 'a major flux i/o major densitat d'usuaris - menor velocitat de trànsit'. També ha quedat demostrada la hipòtesi inicial que a la planta baixa és on hi ha i hi haurà concentrada la major problemàtica del tràfic d'usuaris d'aquesta universitat. Per contra, és fàcilment modificable la tendència erràtica de la cinquena planta i l'afluència entre les plantes de major capacitat (tercera, quarta i cinquena) en els propers quadrimestres segons com siguin assignades les aules i els torns.

És pel que s'ha exposat fins aquest punt que es pot determinar que la maniobra proposada *Control de Destinació Híbrida*, és una bona solució per a optimitzar el tràfic de la universitat tant en la situació estudiada com en futures distribucions de trànsit d'usuaris.

Adicionalment, es considera que s'ha de fer un esforç més gran en formar als usuaris en principis bàsics del funcionament dels ascensors per a reduir el temps d'espera, insistint en educar en conceptes tant elementals com ara que prémer ambdós botons de parada indistintament, comporta una pèrdua d'eficiència per tots els usuaris del sistema. Evitant accions com aquestes, es podrien estalviar parades innecessàries, que signifiquen un alt percentatge del temps total de viatge i que en l'estudi realitzat s'han hagut de descartar al ser no vàlides (sense flux en la parada).

Finalment, es recomana continuar l'anàlisi iniciat per fer un seguiment de la situació variable i aleatòria del tràfic dels ascensors. Es motiva a dur a terme accions (tant per part dels estudiants com dels professors), d'actualització de les noves tècniques descobertes a nivell bibliogràfic i d'incloure plans d'implementació del software i de les maniobres recentment descobertes en els ascensors de l'ETSEIB, per consolidar-la com a part important de la recerca i la posada a punt de tecnologies més recents, donant exemple d'innovació a la comunitat en un camp no tant conegut com és l'enginyeria dels ascensors.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] Peters, R., Mehta, P. i Haddon, J. *Lift Passenger Traffic Patterns: Applications, Current Knowledge and Measurement*, Elevator World, 2000, pp. 87-94.
- [2] Imrak, E. i Barney, G.C. *Application of neural networks on traffic control*, Lift Report, Vol. 2000, 2000, pp. 34-37.
- [3] Siikonen, M-L. i Hakonen, H. *Elevator traffic simulation procedur*, International Congress on Vertical Transportation Technologies, 2008.
- [4] MacDonald, C. Robert i Abrego, E. *Coincident call optimization in a elevator dispatching system*, Westinghouse Electric Corp. U.S. Patent No. 4 782 921, 1998.
- [5] Thangavelu i Kandasamy. *Queue based elevator dispatching system using peak period traffic prediction*, Otis Elevator Company. U.S. Patent No. 4 838 384, 1989.
- [6] Thangavelu i Kandasamy. *Artificial intelligence, based learning System predicting "peak-period" times for elevator dispatching*, Otis Elevator Company, U.S. Patent No. 5 241 142, 1993.
- [7] Kameli, N. i Nader. *Floor population detection for an elevator system*, Otis Elevator Company. U.S. Patent No. 5 511 635, 1996.
- [8] Kameli, N., Nader, Collins i James, M. *Elevator downpeak sectoring*, Otis Elevator Company. U.S. Patent No. 5 480 006, 1996.
- [9] Kim, C. i Jeong, O. *Group management control method for elevator System employing traffic flow estimation by fuzzy logic using variable value preferences and decisional priorities*, LG Industrial Systems Co., Ltd. U.S. Patent No. 5 679 932, 1997.
- [10] Bahjat, S. Zuhair y Bittar, J. *Automated selection of high traffic intensity algorithms for up-peak period*, Otis Elevator Company. U.S. Patent No. 5 168 133, 1992.
- [11] Siikonen, M-L. *Elevator group control with artificial intelligence*, Helsinki University of Technology, Systems Analysis Laboratory, Research Reports A67, 1997.
- [12] Hauptmeier, D., Krumke, S.O. i Rambau, J. *The online dial-a-ride problema under reasonable load*, Preprint SC 99-08, Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik

Berlin, 1999.

- [13] Siikonen, M-L. *Planning and control models for elevators in high-rise buildings*, Ph.D. Thesis, Helsinki University of Technology, 1997.
- [14] Kim, C., Seong, K.A. i Lee-Kwang, H. *Design and implementation of a fuzzy elevator group control System*, Proceedings of the IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 28, No. 3, 1998, pp. 277-287.
- [15] Gudwin, R., Gomide, F. i Netto, M.A. *A Fuzzy Elevator Group Controller with Linear Context Adaptation*, Proceedings of FUZZ-IEEE98, WCCI'98 - IEEE World Congress on Computational Intelligence, Anchorage, Alaska, USA, 1998, pp. 481-486.
- [16] Gudwin, R. i Gomide, F. *Genetic Algorithms and Discrete Event Systems: An Application*, Proceedings of The First IEEE Conference on Evolutionary Computation, IEEE World Congress on Computational Intelligence, Vol II, 1994, pp. 742- 745.
- [17] Alander, J.T., Ylinen, J. i Tyni, T. *Elevator Group Control Using Distributed Genetic Algorithm*, Proceedings of the Elevator International Conference. Springer- Verlag, Vienna, Austria, 1995, pp. 400-403.
- [18] Sasaki, K., Markon, S. i Makagawa, M. *Elevator Group Supervisory Control System Using Neural Networks*, Elevator World, 1996, pp. 23-29.
- [19] Crites, R.H. i Barto, A.G. *Improving elevator Performance Using Reinforcement Learning*, Advances in Neural Information Processing Systems 8. MIT Press, 1996.
- [20] Siikonen, M-L. *Elevator traffic simulation*, Simulation, Vol. 61, No. 4, 1993, pp. 257-267.
- [21] Barney, G.C. i dos Santos, S.M. *Elevator Traffic Analysis, Design and Control*, Peter Peregrinus Ltd, 2^a edició, Londres, 1985.
- [22] Cortés, P., Larrañeta, J., Onieva, L., Muñuzuri, J. i Fernández de Cabo, I. *Algoritmos de optimización en sistemas de transporte vertical*, Prado, J.C. II Conferencia de Ingeniería de Organización, 2002.

Bibliografía complementària

- [1] Mozo, J. *Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio de Segmentos Básicos de Autopistas, Segmentos Trenzados y Rampas de acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras HCM2000 aplicando MathCad*, Capítol: Teoría de Flujo Vehicular, 2012.
- [2] Cortés, P., Fernández, J.R. i Delgado, M.C. *Controlador basado en lógica difusa para la detección del patrón de tráfico en sistemas de transporte vertical*, XIII Congreso de Ingeniería de Organización, Barcelona-Terrassa, 2-4 Setembre 2009.
- [3] Cortés,P., Larrañeta, J., Onieva, L., Muñuzun, J. i Guadix, J. *Algoritmos para la Asignación de Llamadas en Sistemas de Tráfico Vertical Selectivo en Bajada*, V Congreso de Ingeniería de Organización, Valladolid, 4-5 Setembre 2003.
- [4] [<http://www.elseib.upc.edu>, 10 de juliol de 2016]
- [5] [<https://www.peters-research.com/index.php/shop/category/34-elevate>, 16 d'agost de 2016]

Annex

Dades extretes de la web de l'ETSEIB:

Aula	Capacitat classe	Capacitat exàmen	Ubicació	Wifi	Tipus
0.1	89 + 1 espai per cadira de rodes	40	Ed.H Pl. Baixa	Sí	A
0.2	103 + 1 espai per cadira de rodes	45	"	Sí	A
0.3	108	45	"	Sí	A
0.4	107	45	"	Sí	A
0.5	108	45	"	Sí	A
B.1	98	32	Pavelló B, Pl. Baixa	Sí	B
B.2	129	45	"	Sí	A
B.3	84	36	"	Sí	B
B.4	88	30	"	Sí	B
B.5	60	20	"	Sí	B
B.6	67 seients amb taula i 7 seients sense	29	"	Sí	B
2.5	130	50	Ed.H Pl.2	-	A
3.1	56	28	Ed.H Pl.3	Sí	B
3.2	52	26	"	Sí	B
3.3	46	23	"	Sí	B
3.4	62	36	"	Sí	B
3.5	46	23	"	Sí	B
3.6	50	25	"	Sí	B
4.1	126	50	Ed.H Pl.4	-	A
4.2	86	34	"	-	A
4.3	86	34	"	-	B
4.4	56	22	"	-	B
4.5	70	32	"	-	B
5.6	71	26	Ed.H Pl.5	-	B
6.1	16	-	Ed.H Pl.6	-	C
6.22	70	28	"	Sí	B
6.42	45	-	"	Sí	C

7.1	119 places + 1 per cadira de rodes	47	Ed.H Pl.7	Sí	A
9.1	110	44	Ed.H Pl.9	-	A
9.2	30	15	"	-	C
10.14	34	-	Ed.H Pl.10	-	C
10.15	28	-	"	-	C
10.21	28	-	"	-	C
E.1	36	-	Ed.E	-	C
D-1	28		Pav. D, planta -1		
F.1	24	-	Ed.F	-	C
F.2	30	-	"	-	C
G.1	30	15	Ed.G	-	C
G.2	42	21	"	-	C
LS1	97 + 2 espais per cadira de rodes	54	Pavelló L. Pl-1	Sí	B
LS2	30	15	"	Sí	C
LS3	30	15	"	Sí	C
LS4	40	20	"	Sí	C
28.8	37	-	Ed.I 1ra Pl.	Sí	C

Aula	Ubicació	Capacitat Classe	Capacitat Examen
1.1	Ed.H, Pl.1	56	28
1.2	"	64	32
1.3	"	64	32
5.0	Ed.H, Pl.5	72	36
5.1	"	64	32
5.2	"	64	32
5.3	"	64	32
5.4	"	40	20
5.5	"	64	32
8.1	Ed.H, Pl.8	28	14

Dades obtingudes: Ascensors Parells

Hora	Tipus Viatge	Espera 0	Puja a 0	Baixa a 0	Espera 1	Puja a 1	Baixa a 1	Espera 2	Puja a 2	Baixa a 2	Espera 4	Puja a 4	Baixa a 4	Espera 6	Puja a 6	Baixa a 6	Espera 8	Puja a 8	Baixa a 8	Temps 8-9	Temps total
15:47:00	Pujada	00:00	2	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	2	00:31	01:05
19:58:00	Baixada	00:00	0	2	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:07	1	0	01:07	1	0	00:32	02:16
15:55:00	Pujada	00:10	2	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:09	0	1	00:00	0	1	00:29	01:39
18:03:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:12	1	0	00:21	01:12
15:50:00	Pujada	00:00	2	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:09	0	2	00:22	01:27
20:02:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:30	1	0	00:25	01:34
15:52:00	Pujada	00:36	1	0	00:05	1	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	2	00:32	02:06
20:07:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:12	1	0	00:23	01:15
15:54:00	Pujada	00:38	2	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:08	0	1	00:00	0	0	00:00	0	1	00:28	02:06
20:16:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:29	1	0	00:17	01:24
16:05:00	Pujada	00:37	1	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	1	00:15	01:38
18:10:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:34	1	0	00:14	01:23
16:01:00	Pujada	00:16	3	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:10	0	2	00:00	0	1	00:16	01:31
18:15:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:26	1	0	00:12	01:23
18:41:00	Pujada	00:00	1	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	1	00:16	00:58
19:05:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:17	1	0	00:14	01:10
15:56:00	Pujada	00:00	1	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	1	00:15	00:57
19:58:00	Baixada	00:00	0	6	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:05	6	0	00:13	01:02
16:05:00	Pujada	00:38	5	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:07	0	1	00:00	0	4	00:22	02:10
19:44:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	01:24	1	0	00:23	02:32
15:48:00	Pujada	00:00	1	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	1	00:27	01:13
19:39:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:17	1	0	00:19	01:15
13:50:00	Pujada	00:00	2	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:08	0	1	00:00	0	0	00:00	0	1	00:25	01:25
15:48:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	1	0	00:23	01:03

18:30:00	Pujada	00:00	1	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	1	00:21	00:56
20:00:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:10	1	0	00:25	01:13
15:57:00	Pujada	00:54	2	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	2	00:20	01:44
18:10:00	Baixada	00:00	0	2	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:55	2	0	00:19	01:53
15:58:00	Pujada	01:41	3	0	00:11	1	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:10	0	3	00:00	0	1	00:00	03:15
20:11:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:43	1	0	00:14	01:34
15:56:00	Pujada	00:00	2	0	00:14	2	0	00:00	0	0	00:10	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	01:02
20:05:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:16	1	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	00:56
15:48:00	Pujada	00:20	4	0	00:09	0	2	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	2	00:19	01:19
17:12:00	Baixada	00:00	0	2	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:11	1	0	00:54	1	0	00:14	02:01
16:04:00	Pujada	01:24	12	0	00:13	3	0	00:00	0	0	00:11	2	5	00:09	0	6	00:11	0	6	00:15	03:58
18:05:00	Baixada	00:00	0	3	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:09	1	0	00:21	2	0	00:11	01:30
16:00:00	Pujada	00:00	2	0	00:10	1	0	00:00	0	0	00:11	0	2	00:00	0	0	00:00	0	1	00:14	01:24
17:57:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	01:10	1	0	00:16	02:05
15:56:00	Pujada	00:32	2	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:09	0	1	00:00	0	0	00:00	0	1	00:20	01:36
18:28:00	Baixada	00:00	0	2	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	1	0	00:15	00:34
16:02:00	Pujada	00:00	4	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:07	0	1	00:11	0	2	00:00	0	1	00:00	00:54
19:48:00	Baixada	00:00	0	2	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:10	2	0	00:16	01:06
15:59:00	Pujada	00:14	13	0	00:09	0	1	00:10	0	1	00:12	0	2	00:12	0	4	00:00	0	5	00:00	02:09
19:48:00	Baixada	00:00	0	2	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:10	2	0	00:16	01:06
16:00:00	Pujada	01:00	4	0	00:08	0	1	00:07	1	2	00:10	0	1	00:00	0	0	00:00	0	1	00:24	02:41
20:01:00	Baixada	00:00	0	2	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:09	1	0	00:39	1	0	00:25	01:52
15:58:00	Pujada	00:00	3	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:09	0	2	00:00	0	0	00:00	0	1	00:20	01:23
20:00:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:20	1	0	00:20	01:12
15:45:00	Pujada	00:25	1	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	1	00:21	01:23
20:30:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:23	1	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	00:43
16:05:00	Pujada	00:55	7	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:13	0	1	00:09	2	0	00:00	0	6	00:15	02:26
19:44:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:13	1	0	00:13	01:08

16:03:00	Pujada	00:28	12	0	00:12	2	0	00:10	0	1	00:11	0	0	00:18	0	12	00:00	0	1	00:14	02:46
19:52:00	Baixada	00:00	0	2	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	2	0	00:11	00:40
15:59:00	Pujada	00:29	6	0	00:00	0	0	00:10	0	1	00:11	0	2	00:10	0	1	00:00	0	2	00:00	02:05
19:58:00	Baixada	00:00	0	3	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:12	2	0	00:30	1	0	00:13	01:37
09:00:00	Pujada	00:26	1	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	1	00:20	01:21
09:05:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:16	1	0	00:20	01:06
10:05:00	Pujada	04:30	19	0	00:06	0	0	00:20	1	10	00:00	0	0	00:12	0	5	00:09	0	4	00:23	06:32
10:10:00	Baixada	00:00	0	4	00:00	0	0	00:00	0	0	00:09	1	0	00:00	0	0	01:31	3	0	00:15	02:52
11:05:00	Pujada	00:54	3	0	00:00	0	0	00:10	2	0	00:10	0	2	00:10	1	2	00:10	1	2	00:25	03:02
11:15:00	Baixada	00:00	0	2	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:05	1	0	00:24	1	0	00:19	01:25
12:00:00	Pujada	01:23	10	0	00:26	10	0	00:00	0	0	00:22	4	9	00:18	0	8	00:00	0	6	00:32	04:13
12:10:00	Baixada	00:00	0	11	00:08	0	3	00:00	0	0	00:10	3	0	00:15	7	0	00:37	4	0	00:13	02:15
13:00:00	Pujada	01:05	2	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:06	0	1	00:00	0	1	00:19	02:13
13:10:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:15	1	0	00:19	01:04
09:05:00	Pujada	00:27	6	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:11	0	3	00:00	0	0	00:08	0	3	00:17	01:49
09:10:00	Baixada	00:00	0	2	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	01:25	2	0	00:10	02:14
10:00:00	Pujada	00:26	9	0	00:20	1	2	00:00	0	0	00:00	0	0	00:12	0	4	00:12	0	4	00:15	02:33
10:10:00	Baixada	00:00	0	2	00:16	1	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	02:16	1	0	00:11	03:28
11:00:00	Pujada	00:25	3	0	00:00	0	0	00:07	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:10	0	2	00:13	01:55
11:10:00	Baixada	00:00	0	1	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	1	0	00:12	00:56
12:00:00	Pujada	00:00	8	0	00:08	2	0	00:00	0	0	00:16	2	2	00:13	0	5	00:13	0	5	00:15	02:07
12:10:00	Baixada	00:00	0	5	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:22	3	0	00:26	2	0	00:10	01:48
13:00:00	Pujada	00:00	2	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:09	0	1	00:00	0	1	00:16	01:14
13:10:00	Baixada	00:00	0	3	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	0	0	00:00	3	0	00:11	00:52

Dades obtingudes: Ascensors Senars

Hora	Tipus Viatge	Espera 0	Puja a 0	Baixa a 0	Espera 3	Puja a 3	Baixa a 3	Espera 5	Puja a 5	Baixa a 5	Espera 7	Puja a 7	Baixa a 7	Espera 9	Puja a 9	Baixa a 9	Temps Total
15:59:00	Pujada	00:38	7		00:08	0	1									6	01:28
18:00:00	Baixada			12										01:34	10		02:16
16:05:00	Pujada	00:07	13		00:18	2	9	00:10	0	2						4	01:23
20:00:00	Baixada			20	00:07	0	0	00:18	5	0				00:22	15		01:41
16:05:00	Pujada	00:50	6					00:10	0	1			00:05			5	01:43
20:00:00	Baixada			9									00:31	9			01:15
15:59:00	Pujada	00:47	8					00:11	0	6						2	01:44
20:15:00	Baixada			14										00:58	14		01:41
15:56:00	Pujada	00:43	2					00:15	1	1						1	01:46
20:07:00	Baixada			7				00:00	7								00:34
15:55:00	Pujada	00:10	2					00:09	1	1						1	01:20
18:12:00	Baixada			7										00:00	7		00:49
15:58:00	Pujada	00:27	3													3	01:17
18:15:00	Baixada			5										00:23	5		01:10
18:44:00	Pujada	00:00	1													1	00:44
19:04:00	Baixada			6										01:03	5		01:58
15:51:00	Pujada	00:00	3		00:09		2									1	01:03
20:03:00	Baixada			4										00:24	4		01:13
16:03:00	Pujada	00:00	3		00:10	0	1				00:10	0	1			1	01:08
18:06:00	Baixada			9										00:06	9		01:03
19:46:00	Baixada			16				00:10	1	0				00:45	15		02:03
16:07:00	Pujada	00:00	2								00:12	0	1			1	00:53
19:38:00	Baixada			1				00:00						00:33	1		01:34



15:56:00	Baixada		9							00:07	9		01:00	
18:19:00	Pujada	00:00	1									1	00:42	
20:01:00	Baixada		6							00:00	6		00:44	
15:55:00	Pujada	00:50	8		00:09	0	1	00:11	0	2		5	02:19	
18:05:00	Baixada		10		00:12	0	0	00:13	1	0		01:39	9	03:07
16:07:00	Pujada	01:22	3					00:08		1		2	02:33	
20:10:00	Baixada		6									6	01:12	
15:57:00	Pujada	00:20	3					00:10	0	2		1	01:20	
20:05:00	Baixada		7					00:00	7				00:39	
15:44:00	Pujada	00:00	2							00:10	1	1	00:46	
18:02:00	Baixada		4								00:00	4	00:55	
15:53:00	Pujada	00:08	3					00:10		2		1	01:08	
18:03:00	Baixada		18		00:06	0	0	00:17	3	2		02:13	17	03:21
15:57:00	Pujada	00:56	5					00:10		4		1	01:49	
19:57:00	Baixada		17					00:09	0	0		00:00	17	01:04
16:05:00	Pujada	00:00	10		00:09	0	2	00:10	0	3		5	01:18	
18:00:00	Baixada		7								01:37	7	02:28	
15:56:00	Pujada	00:07	3					00:11	0	1		2	01:10	
19:58:00	Baixada		20					00:13	0	0		01:15	20	02:43
15:56:00	Pujada	00:00	4					00:11	0	3		1	00:58	
15:58:00	Pujada	00:00	16		00:16	0	1	00:23	0	12		3	01:54	
20:02:00	Baixada		6								00:19	6	01:12	
15:53:00	Pujada	00:00	3					00:11	0	2		1	00:59	
15:48:00	Pujada	00:32	2					00:08		1		1	01:22	
17:54:00	Baixada		10					00:10	3	0		01:12	7	02:20
16:06:00	Pujada	00:00	4									4	00:48	
17:54:00	Baixada		10					00:10	3	0		01:12	7	02:20
15:53:00	Pujada	01:00	3		00:08		1	00:08		1		1	02:08	

19:50:00	Baixada		14		00:15	1							00:36	13	01:28
15:49:00	Pujada	00:29	1											1	01:04
20:00:00	Baixada		17										00:00	17	00:47
18:15:00	Pujada	00:00	1											1	00:40
19:12:00	Baixada		3										00:25	3	01:13
09:00:00	Pujada	00:14	1											1	00:57
09:05:00	Baixada		1										00:09	1	00:56
10:05:00	Pujada	00:10	18	00:16	0	3	00:20	0	9	00:11	0	2		4	02:30
10:10:00	Baixada		5	00:12	0	2	00:12	1	1	00:12	1	1	02:13	6	03:54
11:05:00	Pujada	00:00	5				00:12	0	1					4	00:57
11:15:00	Baixada		1										00:00	1	00:48
12:00:00	Pujada	00:00	10	00:15	3	1	00:22	2	3					9	01:30
12:10:00	Baixada		1										00:32	1	01:18
13:00:00	Pujada	00:19	2				00:12	0	1					1	01:19
13:10:00	Baixada		1										00:10	1	01:00
09:05:00	Pujada	00:00	6				00:08	0	3					2	00:56
09:10:00	Baixada		1										01:04	1	01:38
10:00:00	Pujada	01:13	13	00:12	0	3	00:11	0	3	00:10	0	1		3	02:43
10:10:00	Baixada		10				00:20	6	1				00:26	5	01:30
11:00:00	Pujada	00:58	4	00:08	0	1	00:07	0	1	00:07	0	1		1	01:56
11:10:00	Baixada		2										00:18	2	00:57
12:00:00	Pujada	00:36	11	00:08	0	1								6	01:30
12:10:00	Baixada		4				00:12	3	3				00:13	5	01:12
13:00:00	Pujada	01:20	1											1	01:56
13:10:00	Baixada		1										00:29	1	01:02