

Projecte de Fi de Carrera
Enginyer Industrial

Estudi de la millora de l'eficiència energètica en elevadors

MEMÒRIA I ANNEXES

Autor: Miguel Cruz Zambrano
Director: Antoni Sudrià i Andreu
Convocatòria: Octubre 2008 (pla 94)



**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**

Resum

El consum energètic dels sistemes elevadors (ascensors i muntacàrregues) representa una proporció considerable dins els edificis. El resultat d'aquest estudi indica que el consum dels més de 160.000 sistemes elevadors que hi ha a Catalunya és aproximadament de 360GWh, el que representa un 0,75% del consum elèctric total de Catalunya.

L'activitat central de l'estudi ha estat la identificació i valoració de les actuacions que es poden dur a terme per tal de reduir el consum energètic dels sistemes elevadors, en base a totes les iniciatives que es duen a terme a nivell internacional. Per poder avaluar correctament les propostes de les diferents iniciatives s'ha dut a terme una anàlisi exhaustiva de l'estat de l'art dels sistemes elevadors, i posteriorment s'han identificat els principals paràmetres energètics.

L'estudi de l'estat de l'art s'ha culminat amb el disseny d'una eina que ha permès fer una estimació del consum energètic dels sistemes elevadors a Catalunya, i posteriorment de l'efecte que tenen les actuacions proposades per tal de reduir-lo.

Finalment s'ha fet un estudi del sector de l'elevació a Catalunya per tal d'identificar les característiques principals del mercat així com els agents que hi intervenen. Aquest ha permès identificar els diferents sistemes que es poden dur a terme per tal de promocionar l'eficiència energètica dels sistemes elevadors, així com els destinataris de les possibles campanyes que es poden dur a terme des de l'Administració.



Sumari

Resum	1
Sumari	3
1 Glossari	7
2 Introducció	9
2.1 Objectius i abast del projecte	9
2.2 Motivació	9
2.3 Altres treballs.....	10
2.4 Metodologia emprada.....	11
3 Sistemes elevadors i energia	13
3.1 Tecnologies	13
4 Actuacions per l'increment de l'eficiència energètica	15
4.1 Disseny i dimensionat dels sistemes elevadors	15
4.1.1 Disseny de l'edifici.....	15
4.1.1.1 Previsió estructural.....	15
4.1.1.2 Aprofitament dels espais	16
4.1.1.3 Localització i promoció dels sistemes elevadors dins l'edifici	17
4.1.2 Dimensionat i definició de la capacitat del sistema elevador.....	18
4.1.3 Selecció de la tecnologia a emprar	21
4.2 Reducció dels consums indirectes	25
4.2.1 Identificació dels consums indirectes	26
4.2.2 Mesures per a la reducció del consum indirecte	26
4.2.2.1 Desconnexió i mode stand-by	27
4.2.2.2 Reducció del consum dels sistemes auxiliars	29
4.3 Millores a l'accionament	34
4.3.1 Motors eficients	34
4.3.1.1 Motors gearless.....	35
4.3.1.2 Instal·lació de sistemes de control VVVF als sistemes antics	37
4.3.2 Frenada regenerativa	37



4.3.2.1	Descripció de la tecnologia.....	38
4.3.2.2	Opcions d'utilització de l'energia recuperada.....	39
4.3.2.3	Anàlisi normatiu del retorn d'energia elèctrica a la xarxa.....	42
4.3.3	Paràmetres de qualitat de subministrament.....	46
4.3.3.1	Control del factor de potencia.....	46
4.3.3.2	Control de la pol·lució harmònica.....	48
4.4	Millores des del punt de vista constructiu/mecànic.....	51
4.4.1	Reducció dels consums directes conservatius.....	52
4.4.1.1	Mesures generals.....	52
4.4.1.2	Reducció de la massa del contrapès.....	53
4.4.2	Reducció dels consums directes no conservatius.....	54
4.5	Millores al sistema de gestió del trànsit.....	58
4.6	Actuacions en relació a la gestió dels edificis.....	61
4.6.1	Manteniment.....	61
4.6.2	Remodelació.....	61
4.7	Millores als sistemes hidràulics d'elevació.....	67
4.7.1	Control electrònic digital de les vàlvules.....	67
4.7.2	Instal·lació de motors de velocitat variable.....	68
4.7.3	Sistemes amb contrapès.....	69
4.7.4	Sistemes regeneratius.....	69
4.7.4.1	Regeneració a partir de sistemes de velocitat variable.....	71
4.7.4.2	Sistema convencional amb acumulador de pressió.....	71
4.7.4.3	Sistema amb acumulador de pressió i eix de bombeig comú.....	72
4.7.4.4	Sistema amb acumulador de pressió i cilindre de doble efecte.....	72
4.8	Resum de les recomanacions fetes en aquest capítol.....	76
5	El sector dels sistemes elevadors.....	81
5.1	Consideracions prèvies per la formulació d'una política d'eficiència energètica al sector dels sistemes elevadors.....	81
5.1.1	El sector en xifres.....	81
5.1.2	La Cadena de valor al sector de l'elevació.....	83
5.2	Consum energètic dels sistemes elevadors a Catalunya.....	85



5.3	Eines per a la promoció de l'eficiència energètica als sistemes elevadors. Benchmarking internacional.	89
5.3.1	Codi de conducta pels projectistes.....	89
5.3.2	Promoció d'un sistema d'etiquetatge energètic.....	90
5.4	Estudi mediambiental	93
5.5	Estudi econòmic.....	95
	Conclusions	97
	Bibliografia	99
	Referències bibliogràfiques	99

ANNEX



1 Glossari

Ascensor:	Aparell elevador instal·lat permanentment, que serveix nivells definits, l'habitacle del qual està pensat principalment pel transport de persones en recorreguts verticals o amb un màxim de 15° d'inclinació sobre la vertical.
Brushless:	Motor sense escombretes
CTE:	Codi Tècnic de l'Edificació
Gearless:	Sistema elevador sense reductor mecànic
ISO:	International Organization for Standardization
Muntacàrregues:	Aparell elevador instal·lat permanentment, que serveix nivells definits, l'habitacle del qual està pensat principalment pel transport de mercaderies en recorreguts verticals o amb un màxim de 15° d'inclinació sobre la vertical.
RAE:	Sigles del Reglament d'Aparells Elevadors i del Registre d'Aparells Elevadors.
RITE:	Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques als Edificis
Roomless:	Sistema elevador sense sala de màquines
Sistema elevador:	Tot sistema de desplaçament vertical que permeti el transport de persones o objectes dins un edifici. Ex: ascensor, muntacàrregues, muntacamilles, etc.
TC:	Technical Committee
VVVF:	Sigles de Variable Voltage Variable Frequency. Són un tipus de convertidors estàtics utilitzats per l'alimentació de motors elèctrics entre d'altres aplicacions.
WG:	Work group



2 Introducció

2.1 Objectius i abast del projecte

L'objectiu d'aquest estudi és la identificació dels paràmetres energètics que intervenen en el consum del sistema elevadors, així com proposar les actuacions que es poden dur a terme per tal de reduir-lo. Per identificar-los, ha calgut realitzar un estudi exhaustiu de l'estat de l'art d'aquest sistema, que permet comprendre més profundament el seu funcionament des del punt de vista energètic, i proporciona les eines per valorar les diferents millores que es poden dur a terme.

L'abast del projecte ha estat la realització d'una prospecció inicial sobre les oportunitats d'estalvi energètic d'aquest sector, i pretén ser el punt de partida de futurs estudis més exhaustius encaminats al desenvolupament de mesures concretes. Amb els resultats obtinguts s'han pogut identificar quins són els punts clau del consum energètic dels sistemes elevadors, i s'inclouen propostes que assenten les bases per a la continuació d'aquesta iniciativa.

2.2 Motivació

La reducció del consum energètic és un tema candent avui dia. A nivell internacional, a l'any 1997 es va signar el protocol de Kioto, un conveni que intenta limitar globalment les emissions de gasos d'efecte hivernacle. El protocol sorgeix de la preocupació internacional per l'escalfament global que podrien incrementar les emissions descontrolades d'aquests gasos. En aquest sentit, la reducció del consum energètic és un punt clau, pel que la Unió Europea va generar Directives en aquest sentit. Entre les Directives publicades cal destacar, en relació amb el consum energètic dels sistemes elevadors la Directiva Europea 2002/91/CE i la 2005/32/CE.

Pel que fa a la Directiva Europea 2002/91/CE, aquesta té com a objectiu fomentar l'Eficiència Energètica dels Edificis i obliga a tots els estats membres, entre altres coses, que tot edifici, tant si es ven com si es lloga, vagi acompanyat d'un Certificat d'Eficiència Energètica. Aquesta directiva a l'estat espanyol no s'ha transposat fins a l'any 2007, mitjançant l'aprovació del Codi Tècnic de l'Edificació (CTE), la realització de modificacions al Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques d'edificis (RITE), i la publicació del Reial Decret 47/2007, de 19 de gener, que defineix l'aplicació d'una certificació energètica. En aquest sentit, la reglamentació catalana es va avançar, per mitjà del Decret 21/2006, de 14 de febrer, pel qual es regula l'adopció de criteris ambientals i d'ecoeficiència en els edificis.

Per altra banda, la Directiva Europea 2005/32/CE, té com a objectiu disposar un marc per a l'establiment dels requisits de disseny ecològic aplicables als productes que utilitzen energia, amb la finalitat de garantir la lliure circulació en el mercat interior d'aquests productes. Aquesta va ser transposada a la legislació espanyola a través del Reial Decret 1369/2007.

Pel que fa a les pautes marcades a nivell català, la Generalitat de Catalunya a través del Pla de l'Energia 2006-2015 està desenvolupant una estratègia energètica més



compromesa amb el desenvolupament sostenible per tal de convertir l'amenaça del problema de l'energia en una oportunitat i, d'aquesta manera, aconseguir una millora en la competitivitat i el benestar dels ciutadans de Catalunya. Aquest pla basa l'èxit dels seus objectius en els següents aspectes (veure figura 2-1) :

- Estratègia d'eficiència energètica
- Pla d'energies renovables
- Programa de R+D
- Pla d'infraestructures

Figura 2-1: Aspectes fonamentals per a la consecució dels objectius del Pla de l'Energia 2006-2015



Font: Pla de l'Energia de Catalunya 2006-2015, Generalitat de Catalunya

Així doncs, es pot dir que aquest estudi agrupa dos dels eixos fonamentals del Pla de l'Energia com són l'estalvi i l'eficiència energètica i la recerca.

A nivell local, s'ha de fer menció a la iniciativa de l'Ajuntament de Barcelona d'instal·lació d'ascensors a 7.000 habitatges construïts susceptibles d'albergar-ne. Aquesta quantitat representa un 4,5% del parc d'ascensors de Catalunya (aproximadament 160.000), i per tant és important que es prenguin mesures per tal de contribuir a que aquesta campanya es dugui a terme de la forma més sostenible possible, en concordança amb altres iniciatives de l'Ajuntament.

En aquest context, aquest estudi proporciona una eina en línia amb la tendència nacional i internacional, i permetrà identificar accions per part de l'administració en aquest sentit.

2.3 Altres treballs

Durant tot el document es fa referència a altres treballs realitzats per institucions que han fet investigació en aquest camp. D'aquestes, 9 són estrangeres i 1 és espanyola (a l'Institut Tecnològic d'Aragó ITA), veure **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** La majoria d'aquestes iniciatives es troben encara en fases inicials de desenvolupament. Entre elles cal destacar la iniciativa de l'International Organization for Standardization (ISO), on el Technical Committee TC/178, especialitzat en sistemes elevadors i escales mecàniques, ha introduït el Work Group WG10 d'investigació sobre el consum energètic dels sistemes elevadors. A la Figura 2-23 s'explica la ubicació dins de



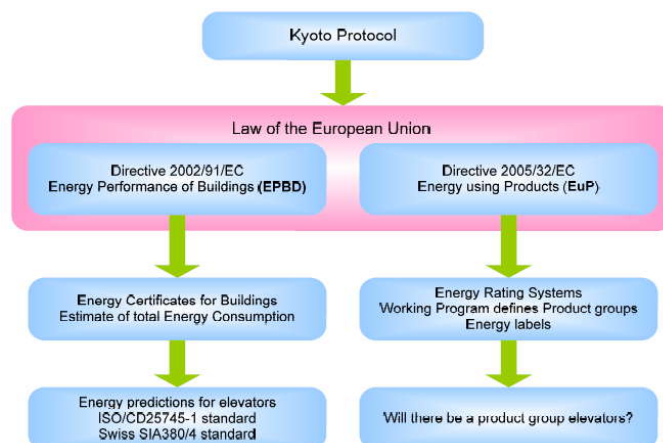
la normativa que es pretén que tinguin els estàndards desenvolupats per aquest Work Group.

2.4 Metodologia emprada

Per tal d'assolir els objectius de l'estudi, s'ha seguit l'estratègia que es descriu a continuació.

En primer lloc es presenta un estudi exhaustiu de l'estat de l'art de la tecnologia dels sistemes elevadors. Aquesta primera part s'ha desenvolupat en base a altres documents tècnics, i en col·laboració amb especialistes vinculats a la indústria de l'elevació. S'ha de ressaltar que no existeix cap altre estudi que analitzi de forma tan concreta la naturalesa dels consums energètics d'aquests sistemes. Aquesta primera part de l'estudi (Capítol 3), permet identificar els paràmetres energètics, així com proporcionar les eines necessàries per l'avaluació de les propostes d'actuació (pròpies i d'altres autors) que es poden dur a terme per tal de reduir el consum.

Figura 2-2: Desenvolupament del marc regulatori de l'eficiència energètica.



Font: U. Lindegger ISO TC/178 WG10, 2007

En segon lloc es presenten i es valoren les diferents actuacions que es poden dur a terme per tal de millorar l'eficiència energètica dels sistemes elevadors. La valoració es duu a terme fent ús de les eines proporcionades als primers capítols, i representa el nucli de l'estudi. Al final de cada apartat del capítol 4, on es descriuen les actuacions per l'increment de l'eficiència energètica, s'inclou una taula on es resumeixen i es valoren les propostes descrites mitjançant un model desenvolupat al capítol 3.

En tercer lloc es proporciona un estudi sectorial que pretén proporcionar una visió general del funcionament del mercat dels sistemes elevadors, donant així un punt de referència a la direcció que han de prendre les possibles accions per part de l'administració.

Finalment, es duu a terme una síntesi de la informació recollida a l'estudi i s'enumeren les principals conclusions.



3 Sistemes elevadors i energia

En aquest primer capítol es fa una síntesi de l'estat de l'art dels sistemes elevadors, així com la seva anàlisi energètica. La seva intenció és donar una visió general del funcionament d'aquests sistemes amb la finalitat d'aportar els coneixements bàsics per a afrontar el problema de la reducció del consum energètic.

3.1 Tecnologies

Avui dia la gran majoria dels sistemes d'elevació que s'instal·len es poden subdividir en dos grans grups tecnològics: els elèctrics i els hidràulics. En el mercat català i espanyol existeix una major tradició dels primers, encara que avui dia s'està produint un gran auge dels segons.

Tal com recull la bibliografia sobre sistemes elevadors [1], els sistemes hidràulics són pitjors des del punt de vista de l'eficiència energètica. Això es dona principalment degut al fet que durant la maniobra d'ascens es consumeix molta energia en donar calor al fluid de treball mentre assoleix la pressió suficient. A més, a partir de certa potència és necessària la instal·lació d'un sistema de refrigeració del fluid per tal d'evitar els sobreescalfaments. Això, sumat al fet que la immensa majoria dels sistemes hidràulics no presenten contrapesos, motiu pel qual la massa a desplaçar és el de la càrrega més el pes mort de la cabina, contribueix a que des del punt de vista de l'estalvi energètic no es recomani la instal·lació d'aquest tipus de tecnologia. No obstant això, hi ha situacions a les quals les circumstàncies obliguen que l'única opció viable tecnològicament sigui un sistema hidràulic.

El desenvolupament d'aquest capítol ha permès per una banda l'avaluació de les propostes de les possibles millores per l'increment de l'eficiència energètica dels sistemes elevadors, i per una altra el desenvolupament d'una metodologia per la seva valoració numèrica.

Com la informació continguda no afecta al nucli principal de l'estudi, que és la identificació de millores concretes, s'inclou a part de la memòria com a Annex.



4 Actuacions per l'increment de l'eficiència energètica

Un cop fet l'anàlisi de l'estat de l'art dels sistemes elevadors, en aquest capítol es procedeix a fer una anàlisi de les diferents actuacions que es poden dur a terme per tal d'incrementar la seva eficiència energètica.

La indústria dels sistemes elevadors és diferent de la majoria de les relacionades amb la construcció. Així com altres tenen sistemes estàndard que són completament adaptables a qualsevol tipus d'edifici, a la indústria dels elevadors aquest fet no es dona. En realitat, les empreses dedicades al muntatge d'elevadors tenen unes línies bàsiques de productes, però al final cada instal·lació és diferent, el que comporta que pràcticament es faci a mida en funció de les condicions de contorn donades.

Per tant, un dels punts de partida d'aquest capítol és que no existeix la configuració òptima pels sistemes elevadors, sinó que dependrà de les necessitats concretes de cada edifici.

Durant els següents apartats es presentaran les actuacions que es poden dur a terme per tal d'incrementar l'eficiència energètica d'un sistema elevador, sempre atenint-se a les condicions de contorn imposades per l'edifici on s'hagi d'instal·lar el sistema.

Tal i com s'ha introduït al capítol primer i s'amplia a continuació, els sistemes hidràulics són molt menys eficients que els de tracció, per tant la instal·lació d'aquests no és en absolut recomanable des del punt de vista de l'estalvi energètic. Per tant, les actuacions proposades en aquest capítol estaran centrades principalment en els sistemes elèctrics (o de tracció), i totes les referents als sistemes hidràulics es recolliran a un apartat específic dedicat únicament en aquesta tipologia de sistemes.

4.1 Disseny i dimensionat dels sistemes elevadors

4.1.1 Disseny de l'edifici

Tal i com es fa referència a la introducció de l'estudi, la situació mundial actual obliga a que cada dia més es tendeixi a prendre mesures per l'increment de l'eficiència energètica. Tal i com es suggereix a la bibliografia especialitzada [21], l'eficiència energètica en el disseny d'edificis és molt més efectiva si s'enfoca des d'un punt de vista integral, i les actuacions esdevenen molt més efectives si es duen a terme des de la fase de disseny de l'edifici. A continuació es presenten una sèrie de recomanacions per implementar durant la fase de projecció de l'edifici.

4.1.1.1 Previsió estructural

Tal i com s'ha fet referència a diferents parts d'aquest estudi, un dels punts de partida de l'eficiència energètica als sistemes elevadors és l'afirmació de que els sistemes elevadors



hidràulics són generalment menys eficients que els elèctrics, encara que presentin altres avantatges comparatives que han facilitat la seva proliferació durant els darrers anys.

Una d'aquestes avantatges comparatives és el fet de que els sistemes hidràulics no suposen cap tipus de càrrega estructural. Aquesta ha estat una de les principals causes que expliquen l'extensa proliferació d'aquest tipus de sistemes, sobretot quan es tracta de la remodelació d'edificis antics o instal·lació de sistemes elevadors on en principi no estava previst que hi haguessin.

Per tant, una primera proposta d'actuació a la fase de projecte és la de dissenyar l'estructura per tal de que pugui ser instal·lat un sistema elèctric, considerablement més eficient que no pas un d'hidràulic.

4.1.1.2 Aprofitament dels espais

Durant la fase de disseny d'un edifici, una de les tasques principals per l'arquitecte és la distribució dels diferents volums que el componen. Històricament i especialment durant els darrers anys, la unitat de superfície aprofitable dins un edifici és una de les variables principals a tenir en compte degut al seu cost econòmic. Aquesta és una de les raons que expliquen, entre d'altres, la proliferació dels sistemes elevadors hidràulics, els elements auxiliars dels quals pràcticament no ocupen espai (sobretot els sistemes MRL, els quals no requereixen sala de màquines i en la majoria dels casos tenen suficient amb els espais morts de la fossa).

En aquest sentit s'ha de fer referència als sistemes moderns de propulsió dels sistemes elevadors, els quals han incrementat considerablement la seva compacitat, i en alguns casos (sistemes autopropulsats o *roomless*) fins i tot poden prescindir del cassetó de màquines.

Pel que fa a l'aprofitament dels espais, hi ha una altre actuació a tenir en compte a l'hora de fer un disseny integral de l'edifici: l'aprofitament de la calor generada pels sistemes de propulsió.

Taula 4-1: Estimació de la calor dissipada dins els cassetons de màquines

Tecnologia	Rang de potència nominal [kW]	Proporció de la potència dissipada [% P_N]
VVVF Gearless	7,5 – 30	40 – 28
VVVF amb reductor	7,5 – 40	38 – 26
VVVF Gearless amb motor Síncron d'imants permanents	3 – 90	28 – 13
Elèctric Convencional	4 – 10	60 - 40
Hidràulic	4 – 20	70 - 30

Font : Guide D, CIBSE 2005; CITCEA, 2008.



A la Taula 4-1 es mostra una estimació de la calor generada pels sistemes elevadors en funció de la tecnologia emprada. En cas de disposar d'un sistema de climatització comunitari, dissenyar-lo tenint en compte l'aprofitament de la calor generada als cassetons de màquines pot comportar estalvis considerables en calefacció durant els mesos d'hivern, així com un estalvi en l'energia consumida als sistemes propis de refrigeració dels sistemes elevadors.

4.1.1.3 Localització i promoció dels sistemes elevadors dins l'edifici

A més de les consideracions sobre el disseny que tenen a veure amb l'estructura i amb la gestió dels espais, hi ha una tercera component a tenir en compte relacionada amb la localització dels sistemes elevadors dins la distribució de l'edifici. Encara que sembli poc rellevant, situar els sistemes elevadors després de les escales pot contribuir al decrement de la seva utilització. A més, la correcta senyalització de les escales, evitant portes d'accés permanentment tancades, així com una ambientació agradable de les mateixes (amplitud, bona il·luminació, etc.), reduirà la utilització dels sistemes elevadors front l'alternativa de les escales.

Una altra consideració important és que instal·lar els ascensors tots junts contribueix a una major ocupació dels mateixos, el que implica un menor nombre de viatges i un menor nombre d'ascensors, reduint en conseqüència les pèrdues per fregament, el consum en obrir/tancar portes, el consum en espera, l'espai desaprofitat, etc. A més, l'agrupació dels sistemes elevadors permet implementar estratègies de gestió del trànsit conjuntes, les quals poden donar lloc a una reducció considerable del consum tal i com es mostra a l'apartat 4.5.

A més, una altra actuació molt senzilla que es pot tenir en compte en aquest sentit és la que a continuació es descriu.

Moltes vegades les solucions més fàcils poden donar els millors resultats, i el cas dels sistemes elevadors no és pas una excepció. A l'any 1981 els científics Ron Van Houten, Paul A. Nau i Michael Merrigan de La Universitat de Mount Sanit Vincent van publicar al *Journal of Applied Behaviour Analysis* un article titulat *Reducing elevator energy use* [22], on presentaven el resultat i les conclusions de dos experiments que consistiren en la promoció de l'ús de les escales enlloc de l'ascensor a 3 edificis del Canadà.

El primer experiment va consistir en la instal·lació de cartells que indicaven el consum energètic setmanal de l'ascensor, així com el rècord diari de la setmana anterior, a més d'anuncis situats sobre les botoneres indicant la situació de les escales. Les proves es van prolongar durant 30 dies, i els resultats obtinguts van mostrar que el consum dels sistemes elevadors es va reduir en un 3-5 %.

El segon experiment, en línia amb el primer, va consistir en la promoció de les escales per mitjà de l'increment del temps de tancament de les portes (de 10s a 26s). En aquest cas, l'experiment dut a terme durant 15 dies va donar com a resultat una reducció del consum del sistema elevador d'un 30 – 35 %. Aquesta segona actuació queda justificada pels autors pel fet de que aquests sistemes elevadors, instal·lats a edificis de 4 plantes, estaven enfocats a la utilització per part de persones amb mobilitat reduïda i pel transport de grans càrregues, i que per tant la reducció de la qualitat del servei estaria enfocada a



evitar el mal ús de l'ascensor. Una mesura equiparable a la proposada, seria la promoció del transport públic front el cotxe particular per mitjà de la implantació de carrils bus.

Aquesta segona actuació és molt discutible, i es podria considerar equivalent a recomanar la no instal·lació d'ascensors als edificis o la restricció de l'ús dels mateixos, el qual s'ha d'enfocar des d'un punt de vista general de la gestió dels edificis, i requereix ser estudiat amb més profunditat.

Per altra banda, es dedueix del primer experiment que la simple actuació de col·locar un cartell indicatiu per tal de conscienciar als usuaris de l'estalvi energètic que suposa fer servir les escales enlloc del sistema elevador, avui en dia pot suposar un estalvi energètic de l'ordre d'altres actuacions que tenen a veure amb la millora tecnològica i la millora del disseny. Si més no, aquest experiment es va dur a terme a l'any 1980, moment en el que no feia gaires anys s'havia passat per una crisi energètica i la població començava a estar lleugerament conscienciada sobre la necessitat d'estalviar energia. Encara que, amb la situació energètica actual, i l'impacte sobre l'opinió pública que té l'escalada de preus del petroli, el canvi climàtic, així com una tendència per part de les empreses per donar una imatge més *verda*, pot contribuir a que la implantació d'aquest tipus de mesures sigui més benvinguda, i la seva efectivitat millori front els resultats obtinguts durant els anys 80.

4.1.2 Dimensionat i definició de la capacitat del sistema elevador

Un cop es determina la distribució dels espais de l'edifici, així com l'ocupació de cada planta i la naturalesa de les activitats que hi tindran lloc, cal determinar (normalment per part de l'empresa instal·ladora) quina capacitat ha de tenir el sistema elevador. La determinació d'aquesta en farà en funció de les necessitats de l'edifici i dels paràmetres de qualitat de servei que es desitgin. El resultat s'obtindrà per mitjà de la combinació d'aquests paràmetres, com són el nombre d'ascensors (si es tracta del desplaçament de persones), la massa màxima autoritzada de cadascun i els seus paràmetres d'operació (acceleració, velocitat, temps d'obertura i tancament de portes, etc.).

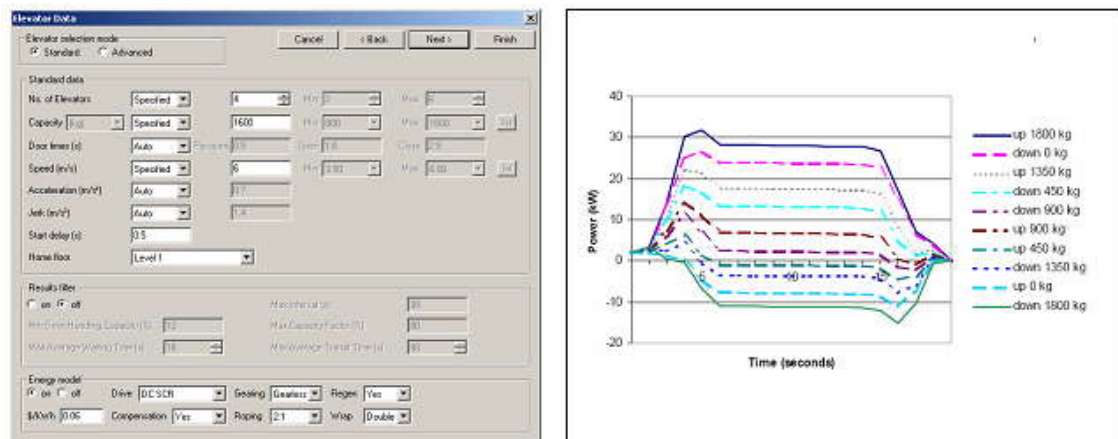
Tal i com s'ha fet referència a la introducció, no hi ha dues instal·lacions que siguin iguals, per tant la solució òptima en cada cas serà diferent. A continuació es comenten les implicacions energètiques de cadascun dels paràmetres:

- Nombre de sistemes elevadors: tal i com s'exposa al primer capítol i es profunditza al següent apartat, el consum en espera (consum indirecte) és molt important, sobretot en sistemes als que la utilització és baixa. Per tant, com més gran sigui el nombre de sistemes, major serà aquest consum.
- Massa màxima autoritzada: com més gran sigui la càrrega capaç de suportar el sistema, major serà la inèrcia de l'habitacle i del sistema en si, el que comporta un increment potència requerida.
- Paràmetres d'operació: els valors de l'acceleració nominal i la velocitat nominal influiran sobre la potència requerida del sistema, així com en el consum total.

Per tal de preveure quina és la solució òptima, avui dia hi ha fabricants que posen a disposició dels instal·ladors eines de simulació que permeten estimar el consum energètic del sistema en funció de la configuració escollida (ThyssenKrupp, EtevateTM). La següent figura mostra la pantalla de configuració així com la de resultats.



Figura 4-1: Programa de simulació de ThyssenKrupp.



Font: ElevateTM, 2004.

A part de fer servir eines de simulació, hi ha alguns principis bàsics que és recomanable considerar en el moment de dissenyar el sistema. A continuació es presenten alguns.

Dimensionament del motor a la capacitat real

Tal i com exposa la Dra. Gina Barney al seu article Towards Low carbon Lifts [23], el sobredimensionament dels motors comporta un increment del les pèrdues al coure i al ferro (veure

Figura 4-2), així com un consum energètic significativament major durant tot el cicle de vida (des de l'extracció de les matèries primeres fins al seu reciclatge o eliminació). A més, el cost del mateix, que inclou bobinats, eix, controlador, etc., es veurà també incrementat.

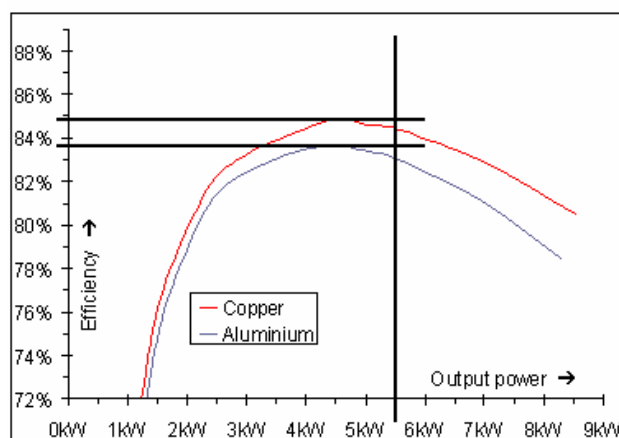
Fent ús de les dades proporcionades per la

Figura 4-2, s'observa que dins el rang de potències de la majoria dels sistemes elevadors (4 kW (elèctrics 1v, 2v) – 10kW (hidràulics)), l'eficiència disminueix aproximadament segons la recta:

$$\eta = 0.88 - 0.01 \cdot P \tag{Equació 4-1}$$



Figura 4-2: Eficiència dels motors elèctrics asíncrons en funció de la potència nominal (amb rotor de coure o rotor d'alumini).



Font: www.leonardo-energy.com (des-07).

A la Taula 4-2 es mostra la capacitat dels ascensors en funció de l'àrea de la plataforma indicada per la normativa UNE EN 81-1/2 (columnes 2, 3), i la capacitat que a la realitat és efectiva (columnes 4, 5).

Taula 4-2: Correspondència de la capacitat en funció de l'àrea de la plataforma de la cabina.

1 Platform area (m ²)	2 Current EN81-1/2 Rated capacity (persons)	3 Current EN81-1/2 Rated load (kg)	4 Notional Rated Capacity (person)	5 Notional Rated load (kg)
0.90	4	300	4*	300
1.30	6	450	6*	450
1.66	8	630	8*	600
2.00	10	800	10	750
2.40	13	1000	12	900
2.95	17	1275	14*	1105
3.56	21	1600	17*	1335
3.88	24	1800	19*	1455
4.20	26	2000	21	1575
5.00	33	2500	25	1875

*rounded down

Font: Barney, G.C, 2007.

Tal i com es pot comprovar amb les dades proporcionades, la capacitat donada per la norma no segueix una relació lineal amb la superfície de la plataforma, donant 0,21 m² per passatger als sistemes elevadors petits, i 0,15 m² als grans.

Barney, en canvi, al seu article indica que a la realitat la percepció de l'espai de les persones fa que la xifra de 0,21 m² per passatger gairebé mai es sobrepassa, i per tant, els sistemes amb una capacitat nominal de 21 passatgers, en realitat mai s'omplen amb més de 17, i la càrrega nominal només es fa efectiva als tests de seguretat.

Aquest fet implica que per exemple a ascensors de 1600 kg de capacitat es doni un sobredimensionament del 20%, i als sistemes de 2500 kg d'un 33%. Dimensionar el



motor a la capacitat real comportarà la reducció de les pèrdues al coure i al ferro, a més dels estalvis deguts a la reducció de la massa del contrapès.

Per tal de garantir les condicions de seguretat, cal dimensionar la resta de components (cables, ancoratges, fre, etc.) a la capacitat donada per la normativa, a més d'ajustar el dispositiu de sobrecàrrega a la capacitat real més el 10% (tal i com indica el punt 14.2.5.2 de la UNE EN 81-1/2).

Contenció dels paràmetres cinètics de funcionament

Pel que fa a la qualitat de servei, aquesta dependrà dels paràmetres cinètics. S'ha de notar que tal i com s'exposa al Capítol 3 la potència consumida es pot dividir en dos components: la relacionada amb l'energia potencial, que dependrà de la velocitat instantània del sistema, i la relacionada amb l'energia cinètica, que dependrà de l'acceleració. Per tant, fer servir una velocitat del sistema elevada permetrà una qualitat de servei més gran, però tal i com es pot veure a la fórmula següent, la velocitat nominal està relacionada linealment amb la potència nominal del sistema (pel que fa a l'energia potencial):

$$P_{NEP} = 9,81 \cdot \frac{B \cdot v_N}{\eta} \quad \text{(Equació 4-2)}$$

On:

B Càrrega sense compensar ($B = M - m$) [kg]
 v_N Velocitat nominal del sistema [m/s]
 η Rendiment del sistema

Pel que fa a l'acceleració, s'observa que té una relació proporcional a l'energia cinètica:

$$P_{NEC} = \frac{B \cdot v_i \cdot a_N}{\eta} \quad \text{(Equació 4-3)}$$

On:

v_i Velocitat instantània del sistema [m/s]
 a_N Acceleració nominal del sistema [m/s]

Per tant es recomana dissenyar els sistemes per tal de que disposin d'uns paràmetres de qualitat dins uns límits raonables (veure ANNEX), de forma que es continguin els valors de la potència nominal del motor amb el conseqüent estalvi energètic.

4.1.3 Selecció de la tecnologia a emprar

Tal i com s'ha fet referència al capítol 3, tota la bibliografia sobre sistemes elevadors coincideix en que els sistemes hidràulics són des del punt de vista de l'eficiència energètica molt pitjors. Tot i que a l'ANNEX es demostra que idealment l'energia consumida per aquests sistemes ha de ser la mateixa, degut a que l'energia que els sistemes hidràulics consumeixen de més durant les maniobres d'ascens, es deixa de consumir durant les de descens, els mecanismes de transferència energètica fan que això no sigui cert, i que per tant l'energia total consumida sigui més gran. A continuació s'enumeren les diferents parts del procés en les que es produeixen pèrdues:



- Pèrdues durant la conversió al motor d'energia elèctrica en energia cinètica.
- Pèrdues a la bomba inherents al seu funcionament.
- Pèrdues al bloc de vàlvules degut a la pèrdua de càrrega singular que suposen. Aquestes pèrdues són més importants durant les fases d'acceleració i desacceleració, degut a que el sistema de bombeig segueix treballant a plena càrrega.
- Pèrdues de càrrega lineals als conductes.
- Pèrdues degudes a la transferència de calor del fluid de treball degut a que es troba a una temperatura superior a la de l'entorn, així com a la refrigeració que en molts casos s'ha d'instal·lar al tanc.
- Increment de les pèrdues del sistema degut al requeriment d'una potència nominal superior a la dels sistemes elèctrics, a conseqüència de que a la majoria dels casos no disposen de contrapès per equilibrar el sistema.
- Pèrdues pròpies del sistemes elevadors degut als fenòmens no conservatius: fregament a les guies, pèrdues aerodinàmiques, etc.

S'ha de ressaltar, si més no, que tal i com indiquen certs fabricants [24] en molts casos la naturalesa dels sistemes hidràulics fa que siguin la millor opció, com per exemple:

- Quan s'ha d'instal·lar un sistema elevador en un edifici que no en disposava, degut a no suposen cap càrrega addicional a l'estructura de l'edifici i pràcticament no cal espai per l'habitacle de màquines.
- A construccions noves amb aplicacions concretes, com per exemple els muntacàrregues de gran capacitat que provoquen grans variacions a l'ajust del nivell en càrrega i en buit, o sistemes que requereixin seguretat addicional en cas d'avaría.

A més, tal i com es mostra a un article de la companyia distribuïdora elèctrica de Michigan (EEUU) Upper Peninsula Power Company [25], les conclusions del qual es mostren a la següent figura, mostren que amb els preus actuals (2006) de les tecnologies i de l'energia, la selecció d'un sistema eficient front un sistema hidràulic té uns terminis de retorn molt elevats. A aquest fet cal afegir que les millors prestacions de comoditat que presenten els sistemes elèctrics, així com un previsible encariment de l'energia, poc a poc faran que els sistemes hidràulics perdin l'avantatge que actualment tenen sobre els sistemes elèctrics. A més, també cal tenir en compte que a determinats edificis on la utilització és més gran, i en conseqüència el consum així com la necessitat d'una major qualitat de servei, contribuiran a que els sistemes hidràulics perdin quota de mercat.

Si més no, a nivell domèstic està clar que els sistemes hidràulics tenen molt de terreny guanyat, i per tant, actuacions des de l'administració pública serien molt adients per tal de corregir aquesta situació.

Figura 4-3: Estimació del Payback de la substitució d'un sistema hidràulic per un altre de més eficient. UPPCO, 2006.



Elevator type	Drive type	Energy savings	Cost (\$)	Annual cost savings (\$) at \$0.10/kWh	Payback period (years)
4-floor medical arts low-rise, 60,000 starts					
Hydraulic	Hydraulic direct	0%	75,000	0	NA
Machine room-less	AC VVVF	24%	95,000	103	194
6-floor residential low-rise, 200,000 starts					
Hydraulic	Hydraulic direct	0%	85,000	0	NA
Machine room-less	AC VVVF	21%	95,000	121	83
15-floor commercial mid-rise, 400,000 starts					
Gearless nonregenerative	AC VVVF	0%	225,000	0	NA
Gearless regenerative	AC VVVF	31%	235,000	479	21
Gearless regenerative	DC PWM	45%	330,000	696	151
25-floor residential high-rise, 300,000 starts					
Gearless nonregenerative	AC VVVF	0%	270,000	0	NA
Gearless regenerative	AC VVVF	30%	279,000	369	24
Gearless regenerative	DC PWM	43%	380,000	532	207

Notes: AC = alternating current; DC = direct current; kWh = kilowatt-hour; NA = not applicable; PWM = pulse-width modulating; VVVF = variable voltage, variable frequency.

Source: E SOURCE

Font: E Source Companies LLC. All rights reserved, 2006. Nota: 1\$≈1,45€ (2008)



Valoració de les propostes principals

1º. Instal·lar sistemes elèctrics enlloc de sistemes hidràulics.

Aquesta mesura es proposa en diferents subapartats (4.1.1.1 i 4.1.3). Té el següent potencial d'estalvi, considerant la substitució de tots els sistemes hidràulics per sistemes elèctrics:

Potencial d'estalvi anual			
79,8 GWh (22,46%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

2º. Aprofitar la calor generada a la sala de màquines dels sistemes elevadors.

Per tal de valorar el potencial d'aquesta mesura, s'ha fet ús dels valors inclosos a la Taula 4-1, i s'ha considerat que es recupera tota la calor generada durant 4 mesos a l'any:

Potencial d'estalvi anual			
46,0 GWh (12,9%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

3º. Situar els sistemes elevadors en llocs apropiats, prop de les alternatives, i millorar l'aparença de les alternatives.

Per tal de valorar el potencial d'aquesta mesura, s'ha considerat una reducció global de l'ús dels ascensors en un 5%, considerant el resultat més òptim de l'experiment exposat a l'apartat 4.1.1.3 en base a una previsible millora de la resposta dels usuaris avui dia:

Potencial d'estalvi anual			
15,9 GWh (4,5%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix



4º. Dimensionar el motor en funció de la càrrega real.

Per tal de valorar el potencial d'aquesta mesura, s'ha considerat una reducció de la potència requerida per sistemes petits del 20%, i per sistemes grans del 33%. Per tal de calcular la millora de l'eficiència, s'ha fet ús de l'equació 5-1.

Potencial d'estalvi anual			
38,1 GWh (10,7%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

Altres recomanacions:

- Situar els sistemes elevadors agrupats per tal de maximitzar la seva ocupació i permetre la implementació de sistemes col·lectius de gestió del trànsit.
- Dimensionar el sistema tenint considerant els següents aspectes:
 - La reducció del nombre de sistemes elevadors reduirà el consum en espera, i per altra banda incrementarà la ocupació fent que els sistemes treballin més propers al punt òptim.
 - Contenir els valors de velocitat màxima i acceleració per tal de reduir la potència cinètica i potencial requerida.



4.2 Reducció dels consums indirectes

Un dels aspectes principals a tenir en compte a l'hora d'incrementar l'eficiència energètica d'un sistema elevador és el consum indirecte d'aquest. Anàlogament a la definició dels consums directes, s'entén que els consums indirectes són aquells que no tenen una relació directe amb la utilització del sistema. Es poden entendre, per tant, com a consums fixes.

Tal i com es pot veure a la següent taula, el consum indirecte és pràcticament el més important.

Taula 4-3: Pes del consum indirecte als sistemes elevadors en funció del tipus d'edifici.

Tipus d'edifici	Consum anual total [kWh]	Consum en espera total [kWh]	Consum indirecte total [kWh]	% Consum indirecte
Edifici de vivendes petit	950	789	797	84,00%
Edifici de vivendes mitjà / Edifici d'oficines	4.350	1.740	1871	43,00%
Hospital / Edifici d'oficines gran	17.700	4.425	5089	29,00%

Font: SAFE, 2005.

De les dades mostrades a l'apartat **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (Consum Indirecte), es poden extraure dues conclusions molt importants:

- i. El consum indirecte dels sistemes elevadors té una importància relativa molt elevada. Per tant, gran part de les mesures enfocades a l'increment de l'eficiència energètica han de ser enfocades cap aquest tipus de consums.
- ii. El consum indirecte té un pes relatiu més gran a mesura que la utilització dels sistemes elevadors disminueix. Així doncs, a un sistema instal·lat en un edifici de vivendes reduït amb una utilització aproximada de 40.000 cicles/any, el consum indirecte representa aproximadament el 83%, mentre que el que es trobi instal·lat en un hospital, amb 700.000 cicles/any, representa un 25%.

Per tant, abans d'entrar en detall amb les actuacions de caire més tècnic contemplades als següents apartats, es presenten les mesures que es poden dur a terme per tal de reduir el consum indirecte, les quals en la majoria dels casos presenten uns bons resultats amb mesures relativament senzilles.



4.2.1 Identificació dels consums indirectes

Quan un sistema elevador està en funcionament, és a dir, en moviment, el percentatge que suposa el consum indirecte queda reduït a un 3-10% (en funció de la tecnologia) [8]. Per tant, quan es parla de reduir el consum indirecte, s'està parlant principalment de la reducció del consum del sistema elevador mentre resta en espera (consum en espera). Aquest consum és diferent al consum en stand-by, el qual és el consum del sistema elevador quan es troba parcialment desconnectat, de forma anàloga als electrodomèstics.

Tal i com fa referència la Dra. Gina Barney al seu article *Towards low carbon lifts* [23], un sistema elevador amb un nivell d'utilització alt com pot ser el d'una oficina, es pot suposar que està 100% actiu de 8 a.m a 6 p.m, 50% actiu de 6 a.m a 8 a.m i de 6 p.m a 8 p.m, i 0% actiu de 8 p.m a 6 a.m. Suposant una mitja de 250 dies laborals a l'any, això suposa que 5.520 hores de les 8.760 hores que té l'any els ascensors estan en espera. Això suposa que, per exemple, desactivant els llums (suposant uns 100 W/ascensor) dels 160.000 ascensors de Catalunya quan aquests es trobin en espera, suposaria un estalvi aproximat de 88.320 MWh/any, el que representa un estalvi anual de 8,9 M€. Per tant, s'observa que duent a terme operacions relativament senzilles com desactivar la il·luminació quan la cabina és buida, pot comportar estalvis molt importants.

Fins al moment, no s'ha donat massa importància al consum en espera i al consum en stand-by de qualsevol aparell elèctric, però als darrers anys hi ha una preocupació creixent a nivell europeu i mundial per tal de reduir-lo, ja que es tracta d'un tipus d'energia 'silenciosa' que globalment suposa un percentatge gens menyspreable. A nivell d'ascensors existeix un estudi a destacar en matèria d'eficiència energètica de l'agència Suïssa per a l'ús eficient de l'energia (S.A.F.E) [8] al qual una de les conclusions establertes ha estat el considerable consum d'energia en espera.

Segons els resultats obtinguts per aquest estudi, al que s'analitzaren 33 sistemes elevadors, els consums en espera es poden ordenar de major a menor importància de la següent forma:

- Il·luminació de la cabina
- Sistema de bloqueig de portes
- Sistema de control
- Convertidor de freqüència
- Botoneres de pis
- Botoneres de cabina
- Display del pis
- Ventilació
- Sistema generador (en els Ward-Leonard)

4.2.2 Mesures per a la reducció del consum indirecte

Als següents apartats es presenten les diferents actuacions que es poden dur a terme per tal de reduir el consum indirecte.

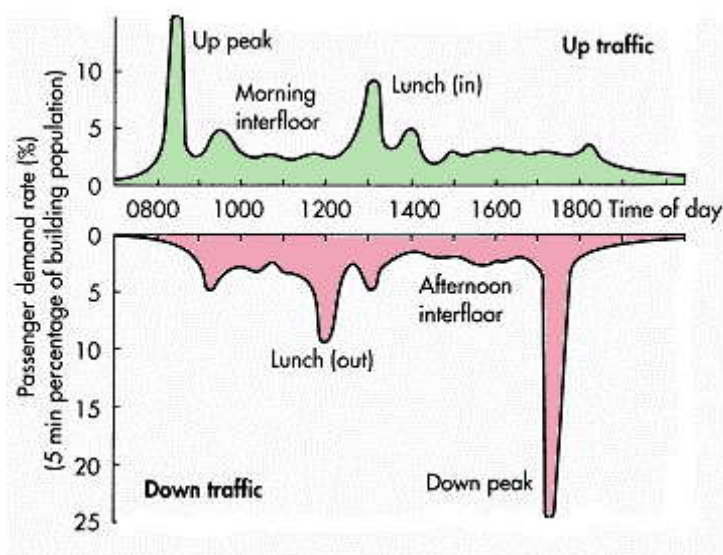


4.2.2.1 Desconnexió i mode stand-by

En aquest apartat s'exposa una proposta de la Dra. Gina Barney al seu article *Towards low carbon lifts* [23]. Aquesta consisteix en desconnectar elevadors (en cas que es tracti d'agrupacions) en els períodes de baixa demanda. D'aquesta manera, es redueix el consum en espera, i tal i com es mostrarà a continuació, també es reduirà el consum en funcionament. La proposta està acompanyada per una simulació realitzada amb el programa Elevate™.

Tal i com es pot veure a la Figura 4-4 i al capítol **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el trànsit vertical a una oficina presenta tres pics de demanda: matí, migdia i tarda. A mig matí i a mitja tarda, té lloc el que es coneix com el tràfic entre pisos (interfloor).

Figura 4-4: Trànsit vertical a un edifici d'oficines.



Font: Barney G.C, 2003.

La capacitat del sistema d'ascensors a una oficina està dimensionada pels pics de demanda, el que provoca que durant les fases de trànsit entre pisos, el sistema es trobi sobredimensionat. A la següent taula es mostren les dades de qualitat obtingudes per simulació de dos grups d'ascensors operant a diferents edificis en condicions normals, pels períodes de pic del matí (uppeak), tarda (down peak) i migdia (midday), i els períodes de trànsit entre pisos (interfloor). Els paràmetres de qualitat emprats són l'interval o AWT (veure capítol **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), i el percentil 90 de temps d'espera, tots dos en segons.

Tal i com es pot veure, els paràmetres de qualitat als períodes de pic són molt pitjors que a les fases de trànsit entre pisos. D'aquí es pot extreure que si els usuaris estan disposats a assumir els períodes de qualitat dels períodes de pic, ho estaran també als períodes de trànsit entre plantes. És més, fins i tot la homogeneïtzació de la qualitat de



servei durant tot el dia pot suposar una millor percepció dels usuaris que no pas una qualitat variable. Per tant, s'observa que podria ser viable la desconexió d'alguns ascensors durant els períodes de baixa demanda.

Taula 4-4: Paràmetres de qualitat en condicions normals de dos grups d'ascensors.

Installation	No. of lifts	Upeak	Down peak	Midday	Interfloor
4 car, 10 floor, Handling capacity 108 P/5-minute	AWT	23	31	44	9
	90%	56	66	105	20
6 car, 14 floor, Handling capacity 140 P/5-minute	AWT	30	29	35	8
	90%	60	69	82	17

Font: Barney G.C, 2005.

A la següent taula es mostra com varien els paràmetres de qualitat del trànsit entre pisos (interfloor) a mesura que es redueix el nombre d'ascensors en servei. A l'última columna es presenten les dades pel període més desfavorable (migdia). S'observa que encara que es redueixi a la meitat el nombre d'ascensors els paràmetres de qualitat segueixen sent millors durant el trànsit entre pisos.

Taula 4-5: Paràmetres de qualitat del tràfic entre pisos (interfloor) en funció del nombre d'ascensors en servei.

Installation	No. of lifts	4 lifts	3 lifts	2 lifts	Midday
4 car, 10 floor Handling capacity 108 P/5-minute	AWT	9	14	39	44
	90%	20	36	92	105
		6 lifts	4 lifts	3 lifts	
6 car, 14 floor Handling capacity 140 P/5-minute	AWT	8	15	31	35
	90%	17	36	74	82

Font: Barney G.C, 2005.

Per tant, s'observa que es pot tenir en compte a l'hora de dissenyar els programes de control dels grups d'ascensors la possibilitat de desconectar-ne algun durant els períodes de vall. Per descomptat aquesta mesura es pot estendre a la nit i els dies no laborables, sense reduir la qualitat de servei considerablement o com a mínim la seva percepció. Això portarà com a conseqüència la reducció del consum en espera d'aquests sistemes, que tal i com s'ha exposat amb anterioritat, no és gens menyspreable.

A part de la reducció del consum en espera, la desconexió d'ascensors durant els períodes de vall pot portar com a conseqüència la reducció del consum per altres vies. A la Taula 4-6 es mostra com el nombre d'arrencades i de temps en funcionament es veuen clarament reduïts en cas de disminuir el nombre d'ascensors en servei (en un 13% i un 27% respectivament). A més, s'ha de notar que l'ocupació dels ascensors serà més gran i per tant més propera a la càrrega mitja, el que implica un funcionament més pròxim al punt òptim.



Una mesura similar a la que proposa la Dra. Barney és la d'implementar un algoritme al controlador que permeti fer passar el sistema elevador a un mode stand-by. Aquest mode stand-by consistiria en desconnectar tots els consums innecessaris (sense posar en perill la seguretat del sistema), de forma que el consum en espera es reduiria considerablement.

La commutació a mode stand-by es podria programar que fos, per exemple, als 5 minuts d'inactivitat, i commutés de nou a mode normal quan el sistema elevador rebés una trucada.

Taula 4-6: Nombre d'arrencades i temps de funcionament en funció del nombre d'ascensors en servei.

6 Cars in service	Car 1	Car 2	Car 3	Car 4	Car 5	Car 6	Total
Total Motor Starts	97	109	112	119	125	125	687
Total running time (s)	1036	1113	1182	1221	1305	1336	7194
3 Cars in service	Car 1	Car 2	Car 3				Total
Total Motor Starts	195	201	199				596
Total running time (s)	1725	1756	1766				5247

Font: Barney G.C, 2005.

4.2.2.2 Reducció del consum dels sistemes auxiliars

El moviment dels sistemes elevadors, l'accionament de les portes, així com la gestió de les trucades dels usuaris (entre altres tasques) estan operades pel sistema de control. Quan el sistema es troba en espera, el controlador segueix consumint energia. Les mesures preses a 8 ascensors per Barney, G.C. mostren que el consum del sistema de control en espera consumeix entre 25 W i 2 kW. El consum depèn de la tecnologia emprada i de l'antiguitat.

A continuació s'exposen algunes actuacions que es poden dur a terme per tal de reduir el consum dels sistemes auxiliars que es mantenen actius durant l'estat d'espera dels sistemes elevadors. S'observa que tal i com s'ha mostrat amb anterioritat, el consum de l'il·luminació i del sistema de bloqueig de les portes és el principal, per aquest motiu al llistat de consums indirectes s'han posat per separat del consum del sistema de control.

Il·luminació

Generalment, el valor de la potència d'il·luminació actual de cabina s'estableix en aproximadament 200 W, que en termes d'il·luminació, supera lleugerament el mínim de 100 lux que estableix en la normativa vigent d'ascensors per tal de fer l'habitacle més agradable. Així doncs, si aquesta llum mai s'apaga, significa que es consumeix en concepte d'il·luminació aproximadament 1750kWh/ascensor/any. Tot i que aquest valor no és molt significatiu per a edificis de gran alçada, aquest valor pot significar un terç del consum que pot tenir un ascensor hidràulic en un edifici de baix.

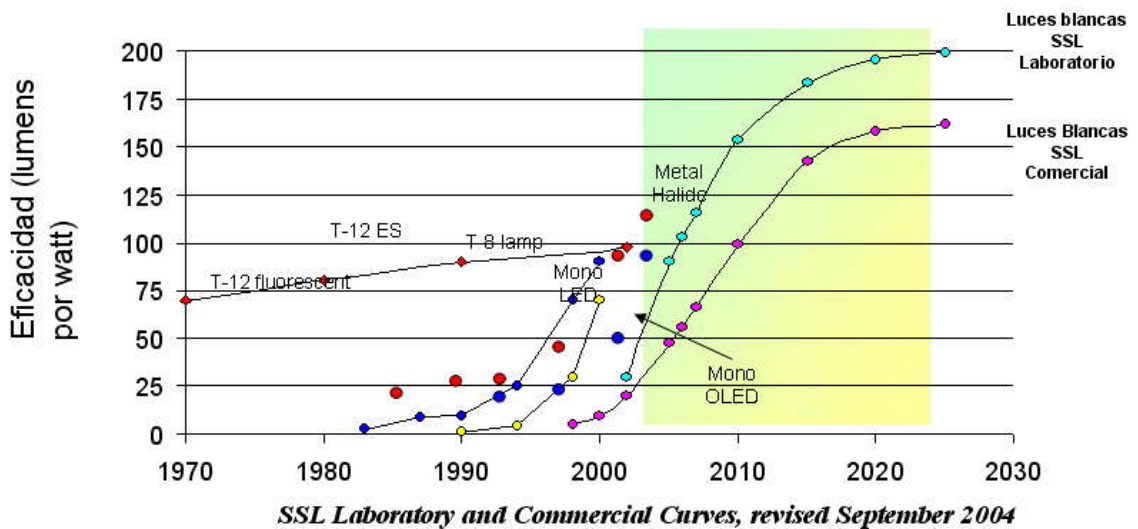


El consum en il·luminació es pot reduir de dues maneres diferents:

- Apagar la il·luminació quan l'ascensor està en repòs mitjançant el sistema de control (aquest sistema s'està implantant actualment): Si es redueix aquest consum durant les 5.520 hores en les que el sistema elevador es troba en espera (en un edifici d'oficines), el consum en il·luminació es veurà reduït un 63%. Per raons de seguretat, el sistema de control ha de garantir que els passatgers no entrin als ascensors quan els llums són apagats, i que no es doni la situació de que els llums s'apaguin durant un viatge amb ocupants.
- Utilitzar il·luminació més eficient energèticament (p.ex. LED's): En el camp de la il·luminació s'estan realitzant notables millores en eficiència energètica mitjançant el desenvolupament de la tecnologia dels LEDs. Aquests díodes emissors de llum s'estan implementant intensivament en la actualitat en diversos camps, tals com semàfors, panells publicitaris, automoció, etc. Aquesta implementació es justifica, per una banda, degut a la seva elevada eficiència energètica i, per l'altra, a la seva durabilitat característica. Així doncs, el següent pas natural on s'implementaran de manera exhaustiva serà en la il·luminació d'interiors. Així doncs, si es pren com a unitat d'eficiència energètica el lumen/watt (lm/W), és a dir, la lluminositat que s'aconsegueix per cada watt consumit i, es realitza una comparativa entre el consum dels fluorescents instal·lats actualment en un ascensor i el consum que es tindria mitjançant la instal·lació de LEDs, actualment, no es veu un significatiu estalvi energètic ja que en el cas d'un fluorescent d'alta eficiència s'aconsegueix una eficiència d'uns 80-90 lm/W, en canvi, en la tecnologia de LEDs actual hi ha una eficiència d'uns 70 lm/W.

No obstant això, en el cas dels LEDs, aquesta eficiència es veurà incrementada de manera molt significativa durant els propers anys. És més, fins al moment s'han aconseguit eficiències a nivell experimental de 150 lm/W que en un o dos anys poden aparèixer a nivell comercial. La comparativa temporal de diferents tecnologies d'il·luminació es reflexa en el següent gràfic (SSL és una tecnologia de LEDs):

Figura 4-5: Eficacitat de les diferents tecnologies d'il·luminació en funció de la tecnologia.



Font: DOE SSL Laboratory, 2004.



Així doncs, si es pren un valor de 150 lm/W, la utilització de LEDs proporcionaria un estalvi energètic al voltant del 40%. Aquesta xifra es veuria augmentada amb el desenvolupament de la tecnologia al llarg del temps.

En aquest significatiu estalvi si se li suma l'avantatge que suposa la durabilitat d'aquestes lluminàries, que fa que sigui altament recomanable l'instal·lació d'aquesta tecnologia en sistemes elevadors.

Un altre avantatge a considerar és la qualitat de funcionament a nivell elèctric que suposa la utilització del LED en front a la del fluorescent, ja que com és sabut el fluorescent es caracteritza per una generació important d'harmònics els quals són negatius per a la qualitat elèctrica de la xarxa.

Així doncs, mitjançant l'aplicació de les dues mesures exposades anteriorment, aproximadament es pot aconseguir un estalvi energètic del 78% del consum en il·luminació respecte d'un ascensor que no incorpori cap de les dues mesures explicades.

Bloqueig de portes

El sistema de tancament i obertura de portes, tal i com s'extreu de l'estudi realitzar per la S.A.F.E, és el segon consum indirecte més important en mitja. Tal i com estableix la normativa, aquests sistemes han de garantir que les portes de cada pis es mantenen tancades sempre i quan l'ascensor no es trobi en el seu nivell.

Avui dia existeixen diferents sistemes d'obertura i tancament de portes. Alguns són governats per contactors (generalment els més antics), i garanteixen el bloqueig de les portes mitjançant un sistema d'enclavament mecànic. Els més moderns, en canvi, es governen a través de controladors electrònics que aconseguen un moviment de les portes molt més suau i progressiu. Aquests darrers permeten que el sistema prescindi d'un dispositiu mecànic d'enclavament, el que necessita d'un consum energètic constant. Des del punt de vista de l'eficiència energètica és molt més recomanable que els sistemes de bloqueig no tinguin cap consum energètic per poc que sigui, degut a que són dispositius que es troben constantment en funcionament.

Desconnexió dels sistemes generadors dels Ward Leonard

Tal i com es fa referència a l'ANNEX, la majoria dels edificis molt alts (més de 15 plantes) encara fan servir sistemes d'aquest tipus. L'inconvenient principal d'aquests des del punt de vista energètic (a més de la pròpia ineficiència inherent al seu funcionament), és el consum que suposa mantenir en moviment el motor que acciona el generador de continua quan aquest es troba en espera, el qual pot suposar una potència consumida d'aproximadament 2 kW.

En aquest sentit, una mesura que es pot dur a terme (a part de substituir o modificar el sistema perquè sigui més eficient), és la implantació d'un sistema automàtic que desconnecti aquest motor després d'un cert temps d'inactivitat, el qual ha de ser calculat de forma que minimitzi el consum tenint en compte la sobreintensitat que suposa l'arrencada d'un motor d'aquestes característiques.



Valoració de les propostes principals

5º. Disseny i implementació d'algorismes per la desconexió dels sistemes en períodes de baixa demanda

Per tal de valorar el potencial d'estalvi d'aquesta mesura, s'ha considerat que aquesta s'aplica als 12h equivalents als sistemes elevadors en grup (edificis d'oficines i hospitals).

Potencial d'estalvi anual			
35,0 GWh (9,86%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

6º. Disseny i implementació d'algorismes per la commutació al mode stand-by

Per tal de valorar el potencial d'estalvi d'aquesta mesura, s'ha considerat que aquesta s'aplica a tots els sistemes elevadors, prenent com a elements desactivables la il·luminació de la cabina, el convertidor de freqüència i les botoneres de la cabina (aproximadament el 50% del consum indirecte).

Es considera que l'activació del sistema stand-by s'activaria 12h al dia (aquesta mesura pot ser complementària a la de desactivar sistemes als períodes de baixa demanda).

Potencial d'estalvi anual			
44,3 GWh (12,5%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

7º. Fer servir lluminàries més eficients

Per tal de valorar el potencial d'estalvi d'aquesta mesura, s'ha considerat que aquesta s'aplica a tots els sistemes elevadors, que la mesura és aplicable un total de 12h al dia més els caps de setmana, i que es substitueixen les lluminàries per leds.

Potencial d'estalvi anual			
45,6 GWh (12,8%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix



Altres recomanacions:

- Desconnexió als períodes de baixa demanda
- Implementar sistemes de desconnexió del motor als sistemes Ward Leonard
- Fer servir sistemes de tancament de les portes que no requereixin alimentació continuada per garantir el seu bloqueig



4.3 Millores a l'accionament

Tal i com s'exposava a l'apartat anterior, un dels consums energètics principals (en funció de la utilització del sistema) és el que es dona quan els sistemes es troben en espera. La resta del consum, per tant, es donarà mentre el sistema està en servei, és a dir, en moviment. La proporció que representen els consums indirectes (il·luminació, climatització, etc.) quan el sistema està donant servei es troba entre el 3% i el 10% en funció de la tecnologia. La resta és el que es coneix com a consum directe, de caràcter conservatiu (moure la càrrega i el sistema) i de caràcter no conservatiu (vèncer el fregament amb l'aire, les guies, etc.). Tota la potència necessària per superar els consums directes és proporcionada pel motor (excepte els del propi motor). Per tant, de forma complementària a la taula de consum en espera inclosa a l'apartat anterior, es presenta la següent taula.

Taula 4-7: Identificació del consum directe en funció de la utilització.

Tipus d'edifici	Consum anual total [kWh]	Consum en espera total [kWh]	% Consum en espera	Consum en servei	
				% Consum indirecte	% Consum directe (motor)
Edifici de vivendes petit	950	789	83,00%	0,85%	16,15%
Edifici de vivendes mitjà / Edifici d'oficines	4.350	1.740	40,00%	3%	57%
Hospital / Edifici d'oficines gran	17.700	4.425	25,00%	3,75%	71,25%

Font: SAFE, 2005.

De la taula anterior es dedueix que el percentatge del consum del motor (sistema de tracció) és molt rellevant. Per tant, per tal de reduir el consum del motor, s'obren dues línies d'actuació:

- Incrementar la seva eficiència, el qual es mostra en aquest apartat.
- Reduir el consum directe, el qual s'exposa als apartats següents.

4.3.1 Motors eficients

Tal i com s'exposa a l'apartat 3.1, als sistemes elevadors s'apliquen els següents tipus de motors:

- Asíncrons d'una velocitat



- Asíncrons de dues velocitats
- Asíncrons amb variador de freqüència
- Síncrons amb variador de freqüència

A més del rendiment en la transformació energètica (d'energia elèctrica a energia mecànica), un altre punt clau des del punt de vista de l'eficiència energètica és la necessitat o no de reducció mecànica pel seu funcionament (geared o gearless).

Les actuacions que es poden dur a terme per tal d'incrementar l'eficiència dels motors es poden dividir en 2:

- Fer servir motors i sistemes de control (sistema de tracció) eficients a les instal·lacions noves i a la remodelació de les antigues: aquesta actuació consistirà principalment en la instal·lació de motors síncrons d'imants permanents (brushless), sense reductor (gearless). L'eficiència es pot millorar més encara proveint els sistemes d'equips que permetin aprofitar l'energia de frenada (frenada regenerativa, analitzada amb més profunditat a l'apartat 4.3.2).
- Substituir el control dels motors per sistemes de control eficients durant les remodelacions, mantenint els motors antics: aquestes actuacions consistiran principalment en la substitució dels sistemes clàssics de control per contactors per sistemes de control VVVF.

4.3.1.1 Motors gearless

Per norma general, al món de l'elevació quan es parla de motors gearless sol ser en referència als motors síncrons d'imants permanents (brushless). Aquests accionaments, tal i com s'exposa a l'apartat **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, són equivalents als motors síncrons amb la diferència de que el camp magnètic constant del rotor s'aconsegueix mitjançant un imant permanent.

Figura 4-6: Motor gearless per ascensors.



Font: ThyssenKrupp, 2007.

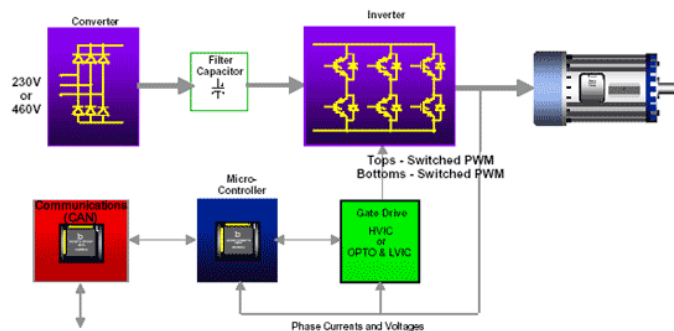
L'alimentació de l'estator es fa mitjançant una tensió sinusoidal sincronitzada amb la posició del rotor. El flux magnètic generat a l'estator juntament amb el generat al rotor per medi de l'imant permanent, defineixen el parell mecànic i en conseqüència la velocitat. La tensió aplicada a l'estator alimenta el bobinat trifàsic de forma que el camp magnètic generat al mateix formi aproximadament 90° amb el generat al rotor, per tal de que



s'aconsegueixi el parell mecànic màxim. Per aconseguir-ho, cal emprar sistemes de control electrònics de gran complexitat.

Pel que fa a la generació de la tensió sinusoidal trifàsica que alimenta l'estator, aquesta s'aconsegueix mitjançant un convertidor VVVF similar als que es fan servir als motors asíncrons. Tal i com es mostra al següent apartat, aquests convertidors permeten la instal·lació de sistemes de frenada regenerativa, que de forma addicional a les millores obtingudes per la pròpia naturalesa dels motors brushless, aprofiten l'energia mecànica emmagatzemada a les maniobres.

Figura 4-7: Sistema de control per motors brushless.



Font: Freescale™ semiconductor, 2008.

Les prestacions mecàniques dels motors brushless, que proporcionen una característica de parell-velocitat amb grans parells a velocitats baixes, permet que aquests sistemes prescindixin del reductor (gearless), amb la reducció en les pèrdues mecàniques que això comporta (eficiències dels reductors vis sens fi i epicicloïdals de 40-60% i 70-80% respectivament).

Per altra banda, al no requerir de la corrent magnetitzant, disminueixen les pèrdues per efecte joule. Tampoc hi ha corrent pel rotor i, per tant, no hi ha pèrdues al coure del rotor (bàsicament no hi ha coure al rotor, només iman i ferro). Aproximadament les pèrdues per efecte joule es redueixen a la meitat, el que implica que s'aconsegueixin millores d'eficiència respecte als motors convencionals del 2-3 % a plena càrrega, i del 10-15 % a càrregues parcials.

Per tant, per una banda es veuen reduïdes les pèrdues energètiques pel fet de poder prescindir del reductor, i per altra banda, per la reducció de les pèrdues per efecte joule. Comparant amb un sistema convencional que disposi d'un reductor amb una eficiència del 60%, i considerant que un motor brushless consumeix aproximadament un 5% menys que un convencional, es pot considerar que els sistemes gearless proporcionen un estalvi energètic del 43%.

A més de les avantatges relacionades amb l'eficiència energètica, cal ressaltar la reducció de l'espai que ocupen (volum entre 1/2 i 1/3 respecte els sistemes convencionals) i la simplificació de la refrigeració (degut a les característiques del rotor).



4.3.1.2 Instal·lació de sistemes de control VVVF als sistemes antics

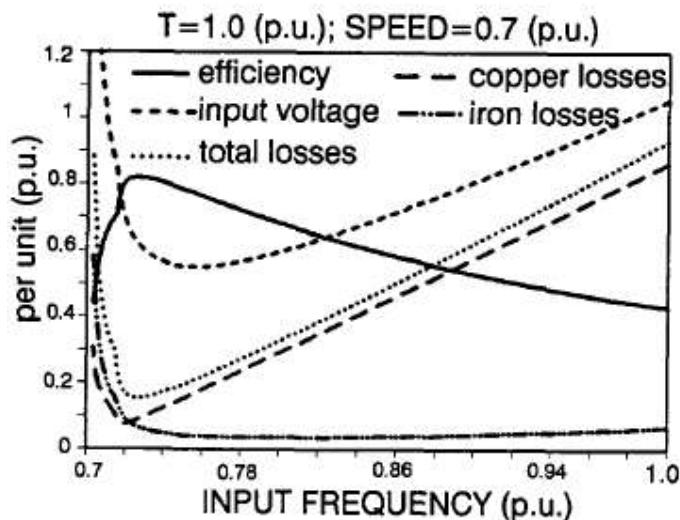
Una altra mesura que es pot prendre per tal de millorar l'eficiència energètica dels motors, és substituint el control per contactors dels motors asíncrons d'una i dos velocitats per sistemes de control amb convertidor de tensió i freqüència VVVF.

Aquesta és una pràctica molt usual avui dia degut a que a més de l'estalvi energètic (al que no se li ha donat gaire importància fins ara), els controls per VVVF permeten aconseguir maniobres més suaus, i una millor qualitat del servei. A més, al fer-se la frenada injectant corrent contínua a l'estator, el desgast de les sabates de fre es molt menor.

Per altra banda, els requeriments addicionals establerts pel Reial Decret 57/2005, que obliga a la remodelació dels sistemes elevadors anteriors a 1997, implica a la pràctica que l'accionament per contactors sigui substituït per un VVVF. Això és degut, principalment, a que requereix un marge màxim d'ajustament de 10mm, el qual només s'aconsegueix per medi d'aquests sistemes.

La justificació de la millora del rendiment resideix al fet de que un motor d'inducció, funcionant a un parell i a una velocitat concretes, tenen una combinació de tensió i freqüència d'alimentació que maximitzen el rendiment (veure Figura 4-8).

Figura 4-8: Rendiment d'un motor d'inducció en funció de la freqüència d'alimentació.



Font: IEEE [27], 1992.

Això fa que el canvi d'un controlador per contactors o de flux constant sigui entre un 10% i un 15% menys eficient que un controlat per un sistema VVVF.

4.3.2 Frenada regenerativa

Tal i com s'ha exposat al capítol 3, els sistemes elevadors sempre necessiten dissipar l'excés d'energia. Normalment aquesta energia es dissipa en forma de calor, mitjançant el fregament mecànic o resistències de frenada.



En un sistema ideal sense fricció, tal i com es fa referència a l'ANNEX, l'energia regenerada ha de ser igual a l'energia consumida. Això és degut a que l'energia consumida per portar la càrrega cap a plantes superiors, és recuperada quan aquesta càrrega torna a la planta inferior.

En canvi, l'energia regenerada a un sistema real mai podrà ser igual a la consumida degut a la naturalesa no conservativa de segons quins fenòmens, entre els que destaquen els següents:

- El sistema necessita vèncer la fricció mecànica dels diferents components així com la resistència aerodinàmica tant en les maniobres deficitàries d'energia com en les excedentàries.
- Les màquines elèctriques tenen pèrdues internes tant quan treballen com a motor com quan treballen com a generador.

No obstant, l'estalvi energètic aconseguit per mitjà de la instal·lació d'un sistema de frenada regenerativa sol estar entorn el 30% [4].

4.3.2.1 Descripció de la tecnologia

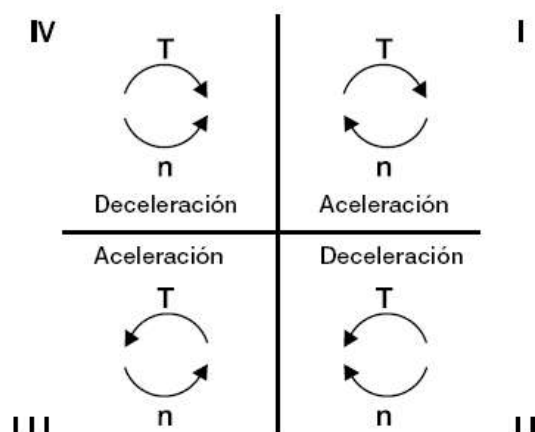
La recuperació d'energia durant les maniobres excedentàries es pot aconseguir de diferents formes. La més bàsica seria per mitjà de la injecció directe de l'energia a la xarxa als sistemes que hi estan connectats mitjançant contactors. Aquesta situació no es sol donar degut a que els sistemes comandats per contactors solen portar reductors del tipus vis sens fi, els quals, tal i com s'exposa al capítol 3 són de naturalesa irreversible en la majoria dels casos. La recuperació sí que seria possible si es fessin servir reductors reversibles, com és el cas dels planetaris o epicicloïdals. Tot i així cal remarcar que la instal·lació de sistemes comandats per contactors està pràcticament desapareguda.

Una altra forma de recuperació de l'energia, que és la que tecnològicament és més viable, consisteix en la utilització de sistemes accionats per motors controlats per convertidors estàtics de freqüència.

De forma general, les aplicacions dels accionaments es poden dividir en tres categories principals en funció de la velocitat i del parell.

- i. Aplicacions en un quadrant: la velocitat i el parell sempre tenen la mateixa direcció, per tant el flux de potència sempre va de l'inversor a l'accionament. Exemples típics poden ser: una bomba, un ventilador, una extrusora, etc.
- ii. Aplicacions en dos quadrants: sense que canviï la direcció de rotació, pot ser que canviï la direcció del parell. Per tant el flux de potència pot anar de l'inversor a l'actuador o a l'inrevés. Un exemple pot ser la frenada d'un ventilador a una velocitat superior a la imposada per les pèrdues mecàniques, algunes frenades d'emergència, etc.
- iii. Aplicacions en quatre quadrants: en aquest tipus d'aplicacions, la velocitat del parell i de la velocitat poden canviar lliurement de direcció. Exemples típics poden ser ascensors, muntacàrregues, grues, etc.



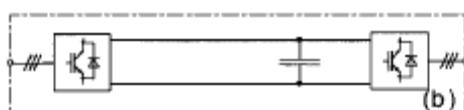
Figura 4-9: Quadrants de funcionament

Font: Guia tècnica ABB, 2006.

Per tant, s'observa que a les categories ii. i iii. seria possible implementar en cas de que es desitgés un sistema de frenada regenerativa que permetés donar-li un ús en aquesta energia recuperada.

4.3.2.2 Opcions d'utilització de l'energia recuperada

Els convertidors de CA moderns, tal i com es pot veure a la Figura 4-10, consten d'un rectificador d'entrada que converteix la tensió de CA a CC, que s'emmagatzema en condensadors de CC. En aquest punt, l'inversor és l'encarregat de convertir de nou la CC en CA alimentant el motor de CA a la freqüència desitjada. La potència de procés requerida flueix a través del rectificador, les barres de CC i l'inversor cap al motor. La quantitat d'energia emmagatzemada a l'inversor és molt petita en comparació amb l'energia necessària, és a dir, el rectificador ha de donar constantment la potència que necessita el motor més les pèrdues del convertidor.

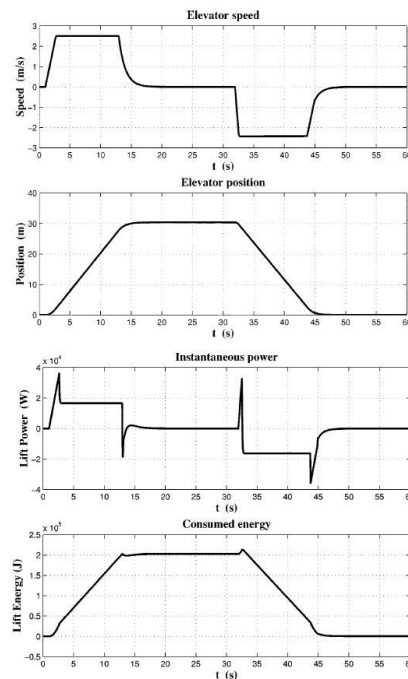
Figura 4-10: Convertidor VVVF.

Font: IEEE [6], 2002.

Tal i com s'ha fet menció en nombroses ocasions durant aquest document, hi ha maniobres a les que els sistemes elevadors consumeixen energia i d'altres en les que en generen. Aquest fet es pot observar a la Figura 4-11 a la que s'hi representa la potència instantània consumida en una maniobra d'ascens i descens a una 10^a planta d'un ascensor elèctric de 720 kg de pes de cabina, contrapesat amb una massa de 1440 kg i carregat amb 1400 kg.



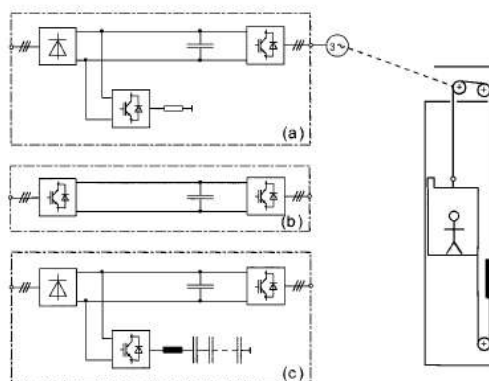
Figura 4-11: Consum energètic pujada/baixada 10^a planta.



Font: IEEE [6], 2002.

En aquesta figura s'hi observa que hi ha moments als que la potència consumida és negativa. Tal i com es representa a la Figura 4-12, actualment existeixen tres opcions que permeten dissipar aquesta energia produïda.

Figura 4-12: Opcions de l'energia regenerada.



Font: IEEE, 2002.

- a. Frenada resistiva. En aquest cas l'energia introduïda al bus de contínua es dissipa en forma de calor a una resistència connectada mitjançant un commutador elèctric anomenat "chopper de frenada". Aquests choppers s'activen quan la tensió al bus de contínua supera el nivell determinat segons la tensió nominal de l'inversor.



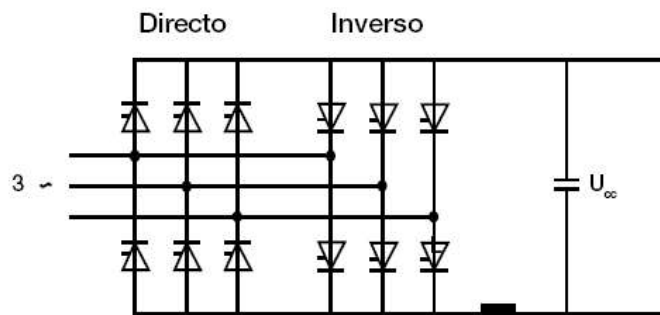
- b. Retorn a la xarxa. En aquest cas el pont de díodes del rectificador es substitueix per dos rectificadors controlats per tiristors en antifase. Aquesta configuració permet canviar el pont rectificador segons el flux de potència que es necessiti al procés.

Tal i com es pot observar a la Figura 4-13 els principals components de la unitat d'alimentació per tiristors són dos ponts de tiristors de sis polsos. El pont directe converteix l'alimentació trifàsica de CA a CC, i subministra alimentació als convertidors (inversors) mitjançant el circuit intermediari. El pont invers converteix la CC en CA quan es necessita desviar la potència de frenada sobrant del motor cap a la xarxa d'alimentació.

La solució d'evacuar energia directament a la xarxa tal i com s'exposa, clarament representa efectiva pel que fa a l'estalvi d'energia. Això és degut a que es dona una utilització a aquesta energia, i s'evita haver de fer conversions energètiques on entren en joc els rendiments com en el cas 'c'. Per altra banda, s'observa que la utilització d'una tecnologia més complexa encareix el sistema, tal i com era d'esperar.

Pel que fa a aquests sistemes, un altre fet que cal remarcar és que no milloren els problemes de pics de demanda dels sistemes elevadors sobre la xarxa, així com les variacions de tensió, o l'efecte flicker. Per donar solució a això, així com a la problemàtica de la retribució d'aquesta energia retornada a la xarxa (analitzada al següent subapartat 4.3.2.3), al proper punt es mostra la tercera alternativa, la qual consisteix en la instal·lació d'un element intermediari d'emmagatzematge.

Figura 4-13: Configuració antiparalela dels ponts dels tiristors.



Font: CIBSE GUIDE D, 2005.

- c. Acumulació d'energia. Tal i com s'ha vist als dos punts anteriors, el flux energètic pot anar del convertidor a la càrrega o de la càrrega al convertidor. En aquest cas, tal i com s'observa a la figura, al bus de continu enlloc d'instal·lar-hi una resistència, es procedeix a la instal·lació d'un sistema d'acumulació gestionat per un convertidor.

El sistema d'acumulació més adient en una aplicació d'aquestes característiques és un que consisteix en la utilització d'ultracapacitors. Aquests dispositius representen una de les darreres innovacions al camp de l'acumulació d'energia, i sobretot poden fer-se lloc en aplicacions on l'acumulació d'energia permeti donar solució als problemes derivats dels pics de demanda de la xarxa de distribució.



Els ultracapacitors tenen una capacitat d'acumulació molt més gran que els condensadors clàssics. Encara que la densitat energètica no és comparable amb els acumuladors electroquímics, les seves característiques de càrrega i descàrrega fan que aquests sistemes siguin compatibles amb moltes aplicacions industrials. Concretament en l'àmbit del transport, s'han realitzat estudis sobre la possible aplicació en autobusos de línia, en automòbils propulsats per cel·les de combustible, o en sistemes elevadors (veure article Dr. P. Rufer [et al.], *Supercapacitors as energy buffers: a solution for elevators and electric busses supply*. IEEE: 2002.[6]).

4.3.2.3 Anàlisi normatiu del retorn d'energia elèctrica a la xarxa.

A l'apartat anterior s'ha presentat el retorn de l'energia de frenada a la xarxa com una de les possibilitats dels sistemes regeneratius. Tal i com s'ha exposat, aquesta opció és molt favorable des del punt de vista de l'eficiència energètica. Per altra banda, suposa un sobrecost a la inversió del sistema elevador, que ara per ara implica que aquest tipus de sistemes pràcticament no s'utilitzin.

En aquest apartat es pretén dur a terme una anàlisi normatiu del retorn d'energia elèctrica a la xarxa, i més concretament de la possibilitat de rebre certa retribució per l'energia retornada a la xarxa que permetés donar rendibilitat a la inversió. Aquest és un tema que cal estudiar a fons, tan des del punt de vista tècnic com des del punt de vista econòmic.

A continuació s'analitza la possibilitat de venda de l'energia retornada, el règim econòmic aplicable, i la consideració de la potència instal·lada.

a. Normativa aplicable

- “Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.”
- “Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.”
- “Real Decreto-Ley 7/2006, de 23 de junio, por el que se adoptan medidas urgentes en el sector energético.”
- “Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.”
- “Corrección de errores del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, publicada el día 25 de julio de 2007.”

b. Sobre la consideració de productor d'energia elèctrica

i. Normativa aplicable

- Article 1 del “Real Decreto-Ley 7/2006, de 23 de junio”.

“La Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, se modifica en los siguientes términos:

Uno. Se modifica el párrafo a) del apartado 1 del artículo 9, que queda redactado como sigue: a) Los productores de energía eléctrica, que son



aquellas personas físicas o jurídicas que tienen la función de generar energía eléctrica, ya sea para su consumo propio o para terceros, así como las de construir, operar y mantener las centrales de producción."

Segons la Disposición final tercera del citat "Real Decreto-Ley 7/2006, de 23 de junio", aquest article entrava en vigor amb la revisió del règim retributiu de les instal·lacions de règim especial, fet que es va produir amb l'entrada en vigor del nou "Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo".

- Article 21 de la "Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico".

"1. La construcción, explotación, modificación sustancial y cierre de cada instalación de producción de energía eléctrica estará sometida al régimen de autorización administrativa [...]. El otorgamiento de la autorización administrativa tendrá carácter reglado y se regirá por los principios de objetividad, transparencia y no discriminación.

2. Los solicitantes de autorizaciones para instalaciones de producción de energía eléctrica deberán acreditar los siguientes extremos: [...]. d) Su capacidad legal, técnica y económico-financiera. [...]"

ii. Conclusió

Segons la normativa anteriorment citada, per la consideració d'un agent com a productor d'energia elèctrica, és condició necessària acreditar la seva capacitat legal.

En aquest sentit no es troba cap impediment a la normativa vigent perquè una persona física susceptible de disposar d'un sistema elevador amb un sistema de frenada regenerativa com una comunitat de veïns, una indústria, etc., tingui capacitat legal per rebre la consideració de productor d'energia elèctrica, tal i com es dona als casos als que comunitats de veïns, particulars i d'altres disposen d'explotacions fotovoltaïques (entre d'altres).

c. Sobre la inclusió al règim especial

i. Normativa aplicable

- Article 2 del "Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial" i "Ámbito de aplicación, i Corrección de errores del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo", publicada el dia 25 de juliol de 2007.

"1. Podrán acogerse al régimen especial establecido en este Real Decreto las instalaciones de producción de energía eléctrica contempladas en el artículo 27.1 de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre.

Dichas instalaciones se clasifican en las siguientes categorías, grupos y subgrupos, en función de las energías primarias utilizadas, de las tecnologías de producción empleadas y de los rendimientos energéticos obtenidos:



Categoría a: productores que utilicen la cogeneración u otras formas de producción de electricidad a partir de energías residuales.

Tienen la consideración de productores cogeneradores aquellas personas físicas o jurídicas que desarrollen las actividades destinadas a la generación de energía térmica útil y energía eléctrica y/o mecánica mediante cogeneración, tanto para su propio uso como para la venta total o parcial de las mismas. Entendiéndose como energía eléctrica la producción en barras de central o generación neta, de acuerdo con los artículos 16.7 y 30.2 de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre.

[...]

Grupo a.2. Instalaciones que incluyan una central que utilice energías residuales procedentes de cualquier instalación, máquina o proceso industrial cuya finalidad no sea la producción de energía eléctrica.”

ii. Conclusió

Dins de les categories i grups del règim especial, l'únic que contempla les energies residuals és el Grup a.2. L'energia de frenada dels sistemes elevadors podria ser considerada en principi com una energia residual.

D'acord amb la definició donada després de la publicació de la correcció d'errors del “Real Decreto 661/2007” al Grup a.2, es podria considerar que l'energia residual de la frenada podria ser inclosa dins del règim especial, degut a que aquesta es produeix com a conseqüència d'una instal·lació (sistema elevador) la finalitat de la qual és la producció d'energia mecànica (necessària pel moviment de la cabina).

d. Sobre la potencia de la instal·lació

i. Normativa aplicable

- Article 111 del “Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica”.

“1. El objeto del presente Título es la regulación de los procedimientos para el otorgamiento de autorizaciones administrativas para la construcción, modificación, explotación, transmisión y cierre de instalaciones de producción, transporte y distribución de energía eléctrica cuando su aprovechamiento afecte a más de una Comunidad Autónoma o cuando el transporte o distribución salga del ámbito territorial de una de ellas.”

- Article 113 del “Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre”.

“1. Las competencias sobre las instalaciones descritas en el anterior artículo 111 son de titularidad de la Administración General del Estado y serán ejercidas por la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Economía, sin perjuicio de las que expresamente se atribuyan al Consejo de Ministros.”



- Article 23 de la “Ley 54/97 de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico”.

“Mercado de producción. Sistema de ofertas:

1. Los productores de energía eléctrica efectuarán ofertas económicas de venta de energía, a través del operador del mercado, por cada una de las unidades de producción de las que sean titulares, cuando no se hayan acogido a sistemas de contratación bilateral o a plazo que por sus características queden excluidos del sistema de ofertas.

Aquellas unidades de producción de energía eléctrica cuya potencia instalada sea superior a 50 MW, o que a la entrada en vigor de la presente Ley estén sometidas al régimen previsto en el Real Decreto 1538/1987, de 11 de diciembre, sobre la determinación de la tarifa de las empresas gestoras del servicio público, estarán obligadas a realizar ofertas económicas al operador del mercado para cada período de programación, salvo en los supuestos previstos en el artículo 25 de la presente Ley.

Las unidades de producción de energía eléctrica no incluidas en el apartado anterior, cuando tengan una potencia instalada igual e inferior a 50 MW y superior a 1 MW, podrán realizar ofertas económicas al operador del mercado para aquellos períodos de programación que estimen oportunos.”

ii. Conclusió

Tenint en compte que les instal·lacions de generació analitzades (els sistemes elevadors) tenen un aprofitament que afectarà només a una Comunitat Autònoma, es pot considerar que les competències sobre les citades instal·lacions, i per tant la determinació de la potencia d'aquesta correspon al govern autonòmic (en el cas de Catalunya al Departament d'Economia i Finances).

Pel que fa a la obligació de presentar ofertes al mercat elèctric, segons els articles citats de la “Ley del Sector Eléctrico”, i segons l'establert al “Real Decreto 661/2007”, es considera que la instal·lació no haurà de presentar-les degut a que en cap cas s'arribarà als 50 MW establerts a la normativa. Per tant, el més natural per aquest tipus d'instal·lacions seria que s'acollissin al règim retributiu a tarifa regulada.

Per tant, l'opinió d'aquest centre d'investigació és que no hi ha cap impediment legal en que aquest tipus d'instal·lacions siguin incloses dins el règim especial i rebin una retribució per l'energia retornada a la xarxa.

Pel que fa a la prima concreta que rebin aquestes instal·lacions, es considera que no apliquen, en aquest cas, tots els principis generals establerts per la retribució del règim especial que a continuació es mostren:

Preàmbul del “Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial”:

“Desde el punto de vista de la retribución, la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial se caracteriza por la posibilidad de que su régimen retributivo se



complemente mediante la percepción de una prima en los términos que reglamentariamente se establezcan, para cuya determinación pueden tenerse en cuenta factores como el nivel de tensión de entrega de la energía a la red, la contribución a la mejora del medio ambiente, el ahorro de energía primaria, la eficiencia energética y los costes de inversión en que se haya incurrido.”

S'observa que en aquest cas, una prima superior al preu de referència del kWh (el de la tarifa corresponent) podria representar un incentiu sobre la utilització normal dels sistemes elevadors. Per tant, en aquest s'interpreta que la retribució no deuria ser superior al preu de referència. Amb aquesta mesura, s'aconseguiria que l'estalvi donat per la recuperació de l'energia emmagatzemada al sistema elevador repercutís directament sobre el propietari d'aquest, aconseguint una rendibilitat millor que permetés reduir el període de retorn de la sobreinversió necessària per instal·lar aquest tipus de sistemes elevadors.

Rebre una retribució al preu de referència és equivalent a que l'energia fos consumida a la xarxa de la comunitat de veïns, ja que seria equivalent a deixar de consumir de la xarxa aquesta energia regenerada. De fet, el sistema elevador i la resta dels serveis comunitaris solen estar connectats al mateix comptador, pel que això es donaria de forma natural. El problema és que la potència de l'energia regenerada serà d'entre 3kW i 15kW (a nivell residencial), i a la majoria de les hores del dia, la potència del consum serà menor, retornant per tant l'energia a la xarxa sense reportar cap benefici econòmic al propietari del sistema elevador. En conseqüència, s'observa que la única opció que clarament representa un incentiu als propietaris seria una retribució per l'energia regenerada.

4.3.3 Paràmetres de qualitat de subministrament

Aquest estudi, de forma anàloga a d'altres actuacions desenvolupades per la comunitat científica des de la crisi del petroli de 1973, té com a objectiu primordial l'increment de l'eficiència energètica.

Tal i com es fa referència a l'article [28], moltes vegades es desenvolupen equips que aconsegueixen reduir substancialment el seu consum respecte d'altres que donen el mateix servei, però per altra banda presenten una influència negativa sobre la qualitat de subministrament (factor de potència FP i distorsió harmònica total THD) que origina que el rendiment conjunt, equip-xarxa elèctrica, sigui molt menor a l'esperat.

Per aquest motiu, en cas de que es faci una campanya des de l'administració pública per tal d'incrementar l'eficiència energètica dels sistemes elevadors, és molt important exigir uns paràmetres de qualitat mínims, per tal d'aconseguir un doble objectiu: una conversió energètica d'alt rendiment, un consum d'energia elèctrica d'alta qualitat i, per tant, unes pèrdues mínimes a la distribució elèctrica.

4.3.3.1 Control del factor de potència

En general, el factor de potència es defineix com la relació entre la potència activa P subministrada a la càrrega i l'aparent S posada en joc: $FP = P / S = \cos\phi$. És habitual



referir-se al factor de potència com a rendiment extern d'una xarxa, perquè relaciona la potència utilitzable amb la que és necessària aportar.

Entre les principals conseqüències d'un factor de potència baix es poden enumerar les següents:

1. Disminució de la capacitat de transport i distribució d'energia elèctrica, que es troba limitada per corrents màximes, encara que la potència lliurada no sigui la màxima. La capacitat d'entrega és directament proporcional al factor de potència.
2. Augment de les pèrdues tèrmiques als conductors que són inversament proporcionals al quadrat del factor potència: $\Delta P = I^2 \cdot R$. Com $I = P / (U \cdot \cos\phi)$, llavors $\Delta P = R \cdot P^2 / (U^2 \cdot \cos^2\phi)$; on, ΔP són les pèrdues de potència i R és la resistència dels conductors.
3. Augment de la secció transversal dels conductors necessaris per transmetre la mateixa potència, en quant aquesta secció és inversament proporcional al quadrat del factor de potència.
4. Disminució de la tensió terminal a les càrregues, el que comporta importants desavantatges secundaries.

A més, el consum d'energia reactiva implica ineficiències al propi sistema elevador. Una d'elles és la necessitat d'una major potència de refrigeració de la sala de màquines, degut a que l'increment de l'intensitat que circula pels cables té com a conseqüència el creixement de l'efecte joule. Per altra banda, des del punt de vista econòmic s'observa que la potència contractada ha de ser més gran, en trobar-se definida per la intensitat nominal dels sistemes magnetotèrmics de protecció. A més, no és baladí que s'han de tenir en compte les bonificacions i penalitzacions que les empreses distribuïdores apliquen en funció del factor de potència.

Per aquest motiu, hi ha fabricants de sistemes elevadors que dins la seva línia de productes incorporen sistemes amb un factor de potència proper a la unitat, a la propaganda dels quals incorporen estudis econòmics que contemplen els beneficis econòmics que aquests representes (veure Figura 4-14). El factor de potència proper a la unitat s'aconsegueix mitjançant sistemes electrònics incorporats als convertidors de freqüència (tecnologia PFC).

Figura 4-14: Estudi comparatiu dels costos d'operació de diferents sistemes elevadors.

ANNUAL COST COMPARISON				
Component of operating cost, per year	ThyssenKrupp 10K Drive™ system-DC	SCR 6-pulse	SCR 12-pulse	MG
Energy consumption	\$5,512	\$7,122	\$6,767	\$10,233
Peak demand	\$9,115	\$13,262	\$11,880	\$15,055
Reactive power consumption	\$393	\$3,735	\$2,804	\$4,512
Machine room cooling	\$2,365	\$3,026	\$2,875	\$3,783
Total annual cost	\$17,385	\$27,145	\$24,326	\$33,583

Font: ThyssenKrupp, 2006.

Nota: 1\$≈1,45€ (2008)



Els consums de potència reactiva d'un sistema elevador es troben tant als elements auxiliars (il·luminació, accionaments, placa de control, etc.), com al sistema de tracció. És important ressaltar que l'influència negativa sobre el factor de potència del sistema de tracció és molt més rellevant que no pas la dels sistemes auxiliars, el que provoca que hi hagi una diferència substancial entre el factor de potència en espera i el factor de potència en càrrega. Els valors habituals dels sistemes elevadors estan compresos entre 0,74 i 0,89 [29].

4.3.3.2 Control de la pol·lució harmònica

La distorsió harmònica provocada per les càrregues no lineals és origen d'una sèrie d'efectes nocius sobre el sistema elèctric de potència, entre els que cal destacar:

1. Reducció del rendiment dels sistemes de generació, transport i utilització. Cal destacar el cas dels transformadors, als que es veuen incrementades les pèrdues per histèresi i per corrents de Foucault, a més de les donades al coure.
2. Envelliment prematur dels aïllaments dels components de la xarxa.
3. Incorrecte funcionament del sistema o d'alguns dels seus components.
4. Possibilitat de l'amplificació d'alguns harmònics, com a conseqüència de ressonàncies sèrie/paral·lel.

A la instal·lació elèctrica del sistema d'elevació s'alimenten càrregues no lineals, per tant apareixeran harmònics. Les càrregues no lineals es caracteritzen per ser alimentades per una tensió sinusoïdal però que absorbeixen una corrent no sinusoïdal. En aquest cas les formes d'ona i corrent no són semblants entre si. Així doncs, per a que una càrrega sigui no lineal és suficient que un dels seus components sigui no lineal.

Tots els components no lineals es poden classificar en un dels tres tipus següents:

- Arcs de descàrrega
- Equips electrònics
- Inductàncies amb nucli saturable

En el cas específic dels sistemes elevadors existeixen diferents elements no lineals. És més, incorporen elements que pertanyen a cadascun dels tipus esmentats anteriorment. Per tant, s'hauran de controlar i prendre les mesures necessàries per a que afectin el mínim possible a l'eficiència energètica del mateix.



Valoració de les propostes principals

8º. Fer servir sistemes gearless amb motor brushless

Per tal de valorar el potencial d'estalvi d'aquesta mesura, s'ha considerat que aquesta s'aplica només als ascensors, deixant igual els muntacàrregues (típicament hidràulics).

Potencial d'estalvi anual			
104,7 GWh (29,4 %)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

9º. Fer servir sistemes gearless amb motor brushless, incorporant sistemes de frenada regenerativa.

Per tal de valorar el potencial d'estalvi d'aquesta mesura, s'ha considerat que aquesta s'aplica només als ascensors, deixant igual els muntacàrregues (típicament hidràulics).

La diferència amb la proposta anterior radica en la incorporació del sistema de frenada regenerativa, que fa canviar el paràmetre k1 del model utilitzat (veure apartat ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)

Potencial d'estalvi anual			
125,6 GWh (35,3 %)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

10º. Fer servir sistemes de control basats en convertidors VVVF enlloc dels sistemes basats en contactors.

Per tal de valorar el potencial d'estalvi d'aquesta mesura, s'ha considerat que aquesta s'aplica a tots els sistemes elevadors.

Potencial d'estalvi anual			
27,5 GWh (7,7%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix



11º. Corregir el factor de potència dels sistemes elevadors.

Per tal de valorar el potencial d'estalvi d'aquesta mesura, s'ha considerat que aquesta s'aplica a tots els sistemes elevadors. El resultat de la valoració és la reducció de les pèrdues en transport i distribució, considerant un rendiment de la xarxa a Catalunya el 85%.

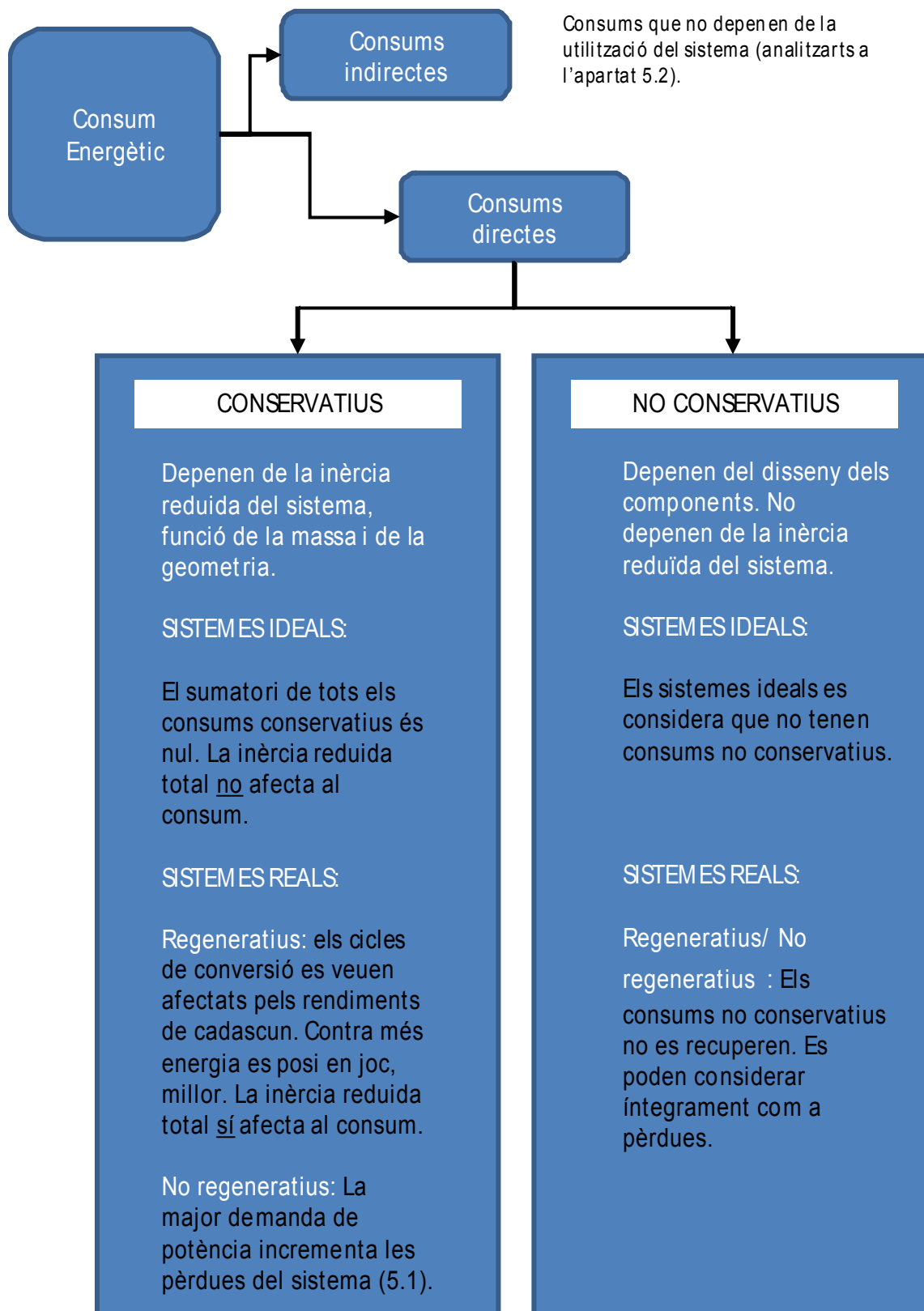
Potencial d'estalvi anual			
10,2 GWh (2,88%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

Altres recomanacions:

- Profunditzar en l'estudi normatiu per tal de retribuir l'energia retornada a la xarxa pels sistemes elevadors.
- Profunditzar en l'estudi de l'aplicació d'ultracapacitors al transport.
- Reducció del THD.



4.4 Milliores des del punt de vista constructiu/mecànic



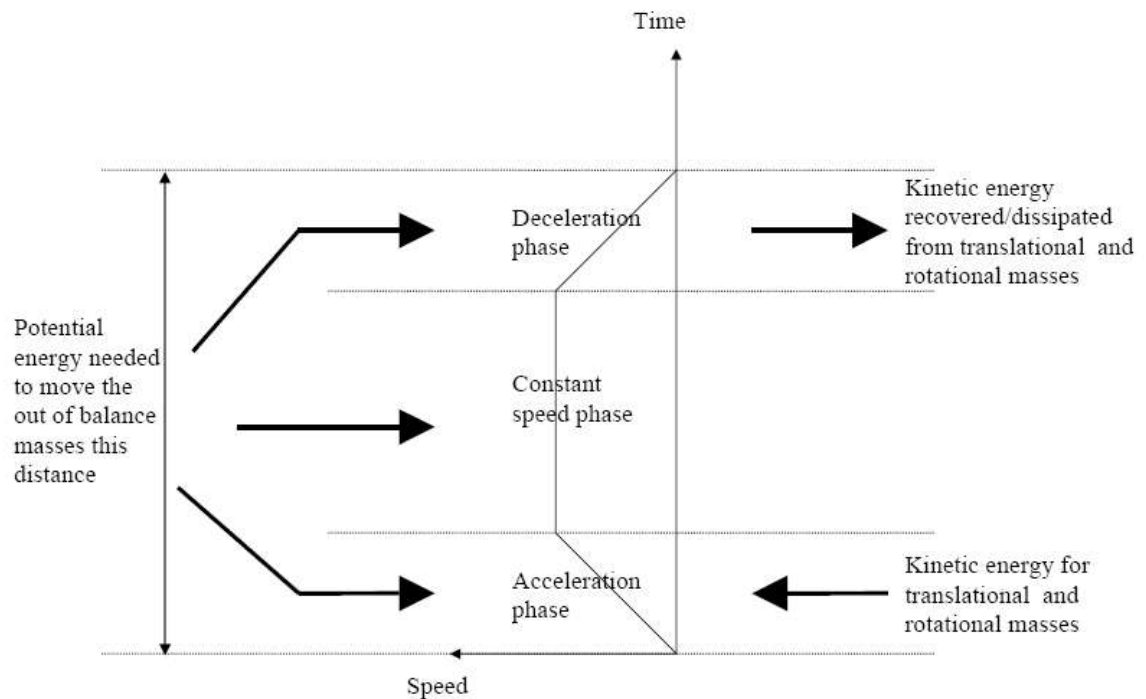
Tal i com es representa al diagrama anterior, en aquest apartat es presenten les millores als sistemes elevadors que tenen a veure amb la reducció dels consums directes relacionat amb el sistema mecànic, descrits a l'apartat **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

4.4.1 Reducció dels consums directes conservatius.

4.4.1.1 Mesures generals

Tal i com s'exposa a l'apartat referenciat, els consums directes relacionats amb les forces conservatives serveixen per proporcionar energia potencial i energia cinètica al sistema.

Figura 4-15: Diagrama de flux energètic durant una maniobra d'ascens (ídem ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).



Font: Al-Sharif VTC [26], 2004.

Pel que fa a l'energia potencial requerida pel sistema a l'hora de fer les maniobres, aquesta està relacionada amb els components que tenen un moviment lineal. Aquesta energia requerida serà independent de la massa dels components, degut a que la massa de la cabina sempre serà compensada per la del contrapès, i l'únic que determinarà la potència serà la càrrega transportada.



Per altra banda, l'energia cinètica sí que dependrà de la massa del sistema, tant de la massa dels components que tenen un moviment lineal, com de la dels que tenen un moviment rotacional. El paràmetre que unifica la influència comuna de tots els components s'anomena inèrcia reduïda i_{red} (veure ANNEX).

Per altra banda, tal i com es representa a la Figura 4-15, aquesta energia cinètica es retorna al sistema, per tant, idealment l'energia consumida per proporcionar-la al sistema, després es recupera en forma d'energia potencial. Als sistemes reals, en canvi, com més gran sigui la inèrcia reduïda, major serà la potència requerida per tal de mantenir els paràmetres cinètics del sistema (estrebada, acceleració i velocitat nominal). Això implica que la potència que ha de proporcionar el sistema de propulsió creix amb la massa del sistema, i tal i com s'exposa a l'apartat 4.1.2, això implica que les pèrdues al coure i al ferro del motor siguin més grans, i per tant el sistema més ineficient.

Per tant, esdevé molt recomanable prendre mesures per a la reducció de la massa del sistema, com pot ser, per exemple, evitar l'ús materials pesants com el marbre, o fer servir politges de poliamida enlloc de les de fundició, les quals a més de reduir la inèrcia en una proporció aproximada de 5:1, tenen menys pèrdues per fregament. En aquest sentit cal dir que les actuacions enfocades a la reducció de la massa de la cabina tenen un efecte doble, degut a que es veuen directament repercutides a la reducció de la massa del contrapès.

Pel que fa a les masses amb un moviment rotacional s'observa que tenen un efecte particularment desfavorable, a causa de les altes velocitats angulars del motor. Una reducció d'aquestes masses pot donar lloc a una reducció significativa de la potència necessària. Això s'aconsegueix, per exemple, mitjançant l'elecció d'un motor amb un moment d'inèrcia intrínsecament baix, o per un desplaçament del disc de fre a l'eix de baixa velocitat.

4.4.1.2 Reducció de la massa del contrapès

Tal i com s'ha exposat a l'ANNEX, la funció del contrapès és la d'intentar minimitzar la potència requerida del sistema de propulsió. Per norma general, el contrapès es calcula de forma que compensi la massa de la cabina més la meitat de la massa nominal. Aquest valor de la massa del contrapès minimitza la potència del motor en cas de suposar una distribució equiprobable de càrrega de la cabina, compresa entre 0 i la seva càrrega nominal.

Per altra banda, hi ha empreses d'ascensors que han fet estudis que conclouen que els sistemes elevadors mai s'omplen amb la càrrega nominal (veure també apartat 4.1.2), i fan servir valors del contrapès que enlloc de compensar el 50% de la càrrega, en compensen el 40%.

En el cas, per exemple, que un sistema elevador elèctric es compensés amb només 1/3 de la càrrega nominal, es donaria el fet de que fins una càrrega de 2/3 de la nominal, el motor estaria dins el seu rang de funcionament, però si es carrega més, el motor estaria sobrecarregat.

Fent ús de l'equació de la potència [5.2] utilitzada a l'apartat 4.1.2, s'observa que la potència desenvolupada pel motor a la velocitat nominal depèn linealment de la càrrega i



de la velocitat. Això implica que en cas de que la càrrega superi el valor nominal, reduint la velocitat és possible mantenir constant el valor de la potència nominal.

$$P_{NEP} = 9,81 \cdot \frac{B \cdot v_N}{\eta} \quad \text{(Equació 4-4)}$$

On:

B	Càrrega sense compensar ($B = M - m$) [kg]
v_N	Velocitat nominal del sistema [m/s]
η	Rendiment del sistema

Per tal d'aconseguir aquesta modulació de la velocitat en funció de la càrrega, cal implementar sistemes de control que permetin, per una banda, variar la velocitat (per exemple VVVF), i per altre mesurar la càrrega transportada.

D'aquesta forma s'aconseguiria donar servei amb un dimensionament menor del motor, el qual, tenint en compte que la càrrega sol ser menor a la nominal, resultaria més eficient. A més, la implementació d'un sistema de control com el descrit, permetria donar servei en cas de que la càrrega superés el valor contrapesat.

En aquest sentit cal remarcar que a les hores punta, la capacitat del sistema es veuria reduïda. Per altra banda, això es corregiria a mida que els passatgers fossin baixant a les diferents plantes.

4.4.2 Reducció dels consums directes no conservatius.

Tal i com s'exposa al diagrama introductorï d'aquest capítol, els consums directes no conservatius es poden interpretar directament com a pèrdues, degut a que aquests es dissipen íntegrament en forma de calor i soroll.

En el cas dels sistemes mecànics, la força no conservativa causant d'aquestes pèrdues és coneguda com el fregament. Tal i com s'exposa a l'ANNEX, els consums directes de caràcter conservatiu no són només els relacionats amb el sistema mecànic, sinó que a més també estan els relacionats amb el sistema elèctric i els relacionats amb el sistema auxiliar.

Aquests consums s'identifiquen com els següents:

- Fregament a les guies

Tant la cabina com el contrapès (en el cas de sistemes elevadors elèctrics), requereixen de la utilització de guies, les quals per seguretat impedeixen el lliure desplaçament d'aquests elements pel buit.

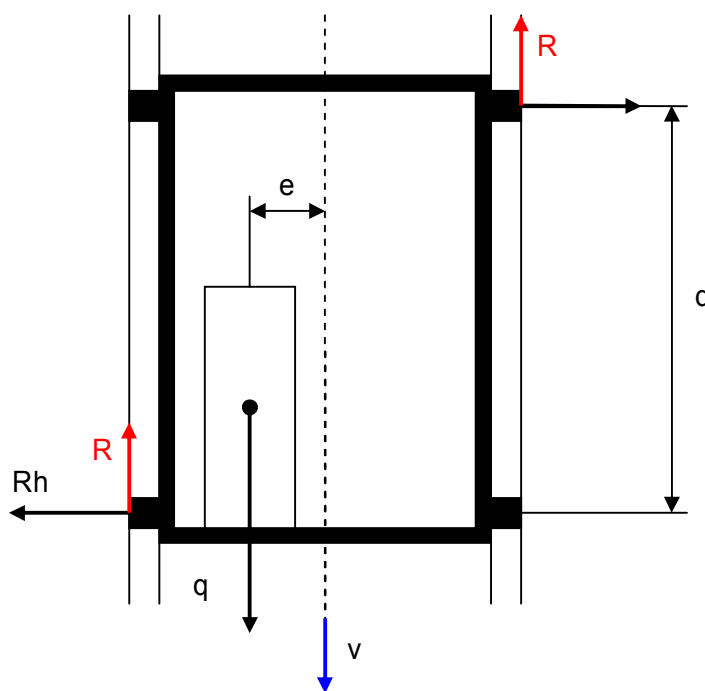
Tal com s'observa a la figura següent, l'excentricitat de la càrrega implica l'aparició de reaccions horitzontals als suports que contraresten el gir provocat. Al seu torn, l'aparició d'aquestes forces horitzontals farà aparèixer unes forces de fregament que



s'oposaran al moviment, les quals dependran del coeficient de fregament entre la guia i el suport.

La utilització de corrons als enllaços enlloc de sabates lliscants és molt recomanable, degut a que es veu reduït el coeficient de fregament del recolzament. Per altre banda, la localització de l'enllaç dels cables de subjecció ben centrada reduirà, suposant que la càrrega també o està en mitjana, les reaccions als recolzaments.

Figura 4-16: Representació de les forces sobre les guies.



Font: CITCEA, 2008.

- Fregament a la transmissió

Tal i com s'ha exposat a l'ANNEX, els sistemes d'engranatges més emprats són els vis sens fi, encara que de forma molt excepcional també es fan servir trens epicicloïdals. La força no conservativa que produeix pèrdues en aquests dispositius és el fregament. Existeix una gran quantitat d'estudis sobre la geometria de les dents d'engranatge l'objectiu del qual és la reducció del fregament i el funcionament òptim. Tot i això, és inevitable que existeixi sempre un cert nivell de pèrdues, i malauradament l'extensa aplicació dels sistemes vis sens fi implica que els rendiments estiguin compresos per norma general entre el 0,4 i el 0,6.

Aquest fet implica que el més recomanable sigui, amb diferència, fer servir sistemes gearless, que a més d'estalviar les pèrdues del reductor, solen incorporar motors síncrons d'imants permanents molt més eficients que no pas els asíncrons clàssics.



- Fregament a les politges

Aquests elements, encara que en menor escala, també presenten certes pèrdues energètiques derivades de la seva naturalesa de funcionament. Generalment sempre hi haurà una branca de la corriola que té una tensió major que l'altra. Per aquest motiu, un punt del cable que passi a través de la corriola tindrà una determinada tensió a l'entrada, i altra diferent a la sortida, pel que apareixerà un increment de deformació unitària que durà amb si un cert lliscament funcional, l'existència del qual provoca l'aparició de pèrdues per fricció.

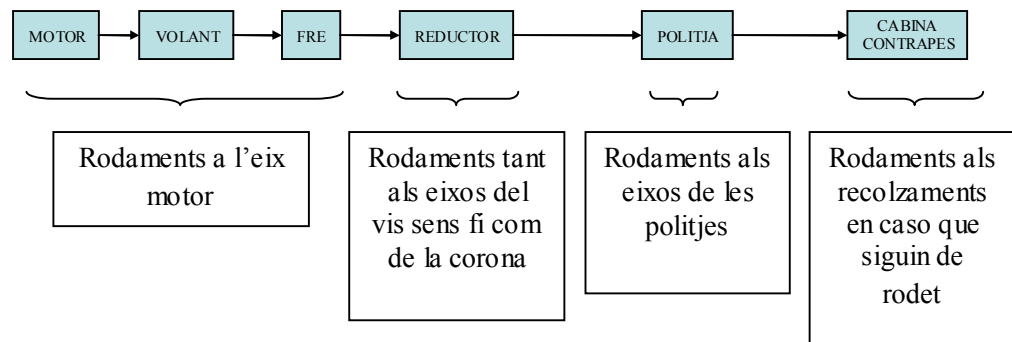
En aquest sentit, una recomanació que es pot fer és la d'utilitzar politges de diàmetre gran que requereixin tensions menors per tal de vèncer el fregament de l'eix, veient-se reduïdes així les pèrdues per aquest concepte. Una altra mesura recomanable en aquesta línia és la reducció del diàmetre del cable.

En aquest sentit la disposició del sistema de tracció és molt important, essent primordial reduir al màxim la necessitat de politges al sistema. Un exemple gens recomanable és la instal·lació del motor al fons de la fossa, el qual obliga a fer servir 2 politges més per tal de funcionar.

- Fregament als eixos dels suports

Els sistemes elevadors contenen nombrosos components amb moviment rotacional al voltant d'un eix, el qual requereix l'aplicació de rodaments i coixinets.

Si s'analitza la cadena energètica dels sistemes elevadors elèctrics, s'observa que l'aplicació d'aquests elements està present en la seva totalitat.



En aquest sentit no cal dir que és molt més recomanable la utilització de rodaments enlloc de coixinets.



Valoració de les propostes principals

12°. Reduir la massa del contrapès per tal de reduir la potència elèctrica demandada.

Per tal de valorar el potencial d'estalvi d'aquesta mesura, s'ha considerat que aquesta s'aplica només als ascensors elèctrics, duent a terme una reducció del contrapès del 50% al 33%.

Potencial d'estalvi anual			
6,1 GWh (1,7%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

Altres recomanacions:

- Fer servir sistemes gearless (veure proposta 8°)
- Minimitzar la massa del sistema
- Dissenyar els sistemes de forma que la disposició de les politges sigui la més senzilla possible.
- Fer servir rodaments als enllaços de la cabina i el contrapès enlloc de les sabates de fricció.
- Millorar al màxim l'aerodinàmica de la cabina



4.5 Millores al sistema de gestió del trànsit

Un altre punt clau en relació al consum energètic dels sistemes elevadors és el sistema de gestió. El principal problema que es presenta a l'hora d'implementar o dissenyar tecnologies per a l'eficiència energètica en el camp de la gestió, és l'aleatorietat del trànsit que ha de tractar el sistema de control d'un elevador. Així doncs, l'objectiu principal és determinar un patró de trànsit el més fidel possible a la realitat per, posteriorment, implementar els algorismes concrets que regulin de manera eficient el trànsit.

Així doncs, una de les maneres més adients per a l'obtenció d'un patró de trànsit acurat és mitjançant la implementació d'un sistema de memorització automàtic del trànsit que hagi portat a terme l'ascensor durant les diferents hores del dia històricament i, implementar un algorisme intel·ligent que utilitzi aquestes dades per gestionar l'ascensor en funció del tipus de funcionament històric. Això s'aconsegueix mitjançant l'implementació d'un sistema d'intel·ligència artificial, el qual representa el tema central d'aquest apartat.

A continuació s'explica el concepte de control d'ascensors mitjançant intel·ligència artificial i les aplicacions que se'n poden obtenir.

Prenent com a punt de partida que l'ascensor és un aparell que acostuma a portar una rutina dia rere dia, és a dir, la demanda del mateix és quasi sempre similar, es tracta de trobar un sistema que modeli aquesta demanda i faci que l'ascensor es comporti de tal manera que segueixi la rutina esmentada. Una de les millors eines per a aconseguir aquest objectiu és el control d'ascensors mitjançant intel·ligència artificial. Aquesta es basa en implementar un sistema de recollida de dades que consisteix en detectar i emmagatzemar les demandes de trànsit requerides a l'ascensor per analitzar-les, simplificar-les i obtenir un patró de trànsit segons el moment del dia en el què es troba l'ascensor.

Figura 4-17: Comparació dels sistemes tradicional i intel·ligent.



Font: Revista BIT, 2004

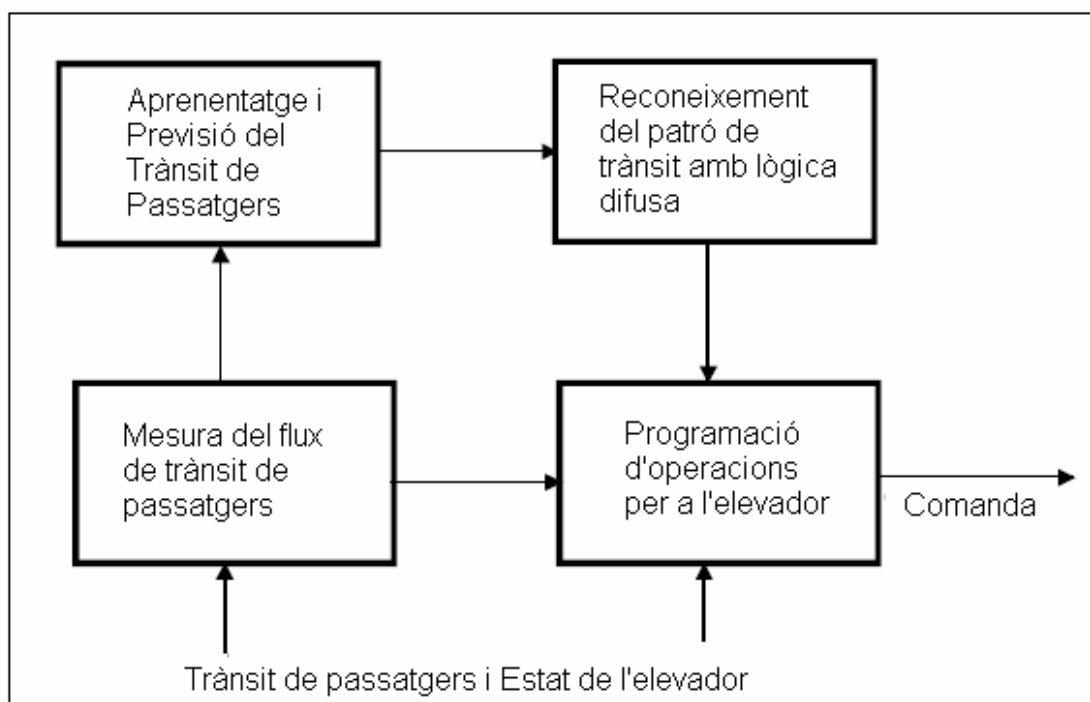


Així doncs, la mesura, l'emmagatzematge de les dades obtingudes i la informació sobre el trànsit de passatgers en un o diversos elevadors és tractada en quatre fases com es mostra a la Figura 4-18.

A la primera fase, el flux de trànsit de passatgers és mesurat i emmagatzemat en petits intervals de temps juntament amb altres dades de trànsit, tal com l'enregistrament o cancel·lació de trucades. El nombre d'entrades i sortides de passatgers durant un dia es segmenta en períodes de quinze minuts i, un cop al dia s'emmagatzemen les dades en termes estadístics de llarg termini.

A la segona fase, es processa la informació obtinguda mitjançant algorismes que es poden dissenyar tenint en compte nombrosos paràmetres de funcionament de l'elevador i es fa una previsió de la demanda que tindrà l'ascensor en un dia o diversos, això dependrà del propi sistema de recollida de dades i de processament i també de les necessitats de cada tipus d'edifici.

Figura 4-18: Fases del sistema de recollida de dades.



FONT: CITCEA, 2008.

A la tercera fase, la previsió estadística s'utilitza per a fer un reconeixement del patró de trànsit que està demandant l'ascensor. Les incerteses en els límits dels patrons de trànsit es modelen mitjançant lògica difusa.

Per últim, a la quarta fase, mitjançant la mesura del trànsit i el patró de trànsit donat per la tercera fase, s'utilitzen per a l'assignació de trucades i per a la programació d'operacions de l'ascensor, és a dir, dirigir-lo a la planta més adequada en cada moment.



En termes generals, la tecnologia del grup de control consta de diverses plaques, tals com la placa de la CPU, les plaques per a la comunicació en sèrie, per a la memòria, per als mòduls de cada planta, i per al subministrament de potència. L'emmagatzematge de les previsions de trànsit es guarden en una memòria RAM implementada en una placa que incorpora una bateria per a que la informació no es perdi en cas que hi hagi una caiguda de potència a la xarxa.

Mitjançant aquesta tecnologia es pot, per exemple, programar el grup d'ascensor per a que durant els pics de trànsit, els ascensors es dirigeixin a les plantes més sol·licitades d'acord amb el patró de trànsit o que durant els períodes de poca demanda, es mantinguin els ascensors esperant a les plantes amb més probabilitat de sol·licitar l'ascensor.

Així doncs, s'observa que mitjançant la tecnologia explicada es pot aconseguir una major qualitat i quantitat del trànsit de passatgers en un elevador i, consegüentment, un menor consum d'energia.



4.6 Actuacions en relació a la gestió dels edificis.

El consum energètic d'un edifici, tal i com és de suposar, depèn fortament del disseny del mateix, tant des del punt de vista de la mobilitat com de la refrigeració, la il·luminació, etc (consums directes i indirectes). Avui dia tant a nivell internacional com a nivell local cada dia més existeixen polítiques que promouen pràctiques per reduir el consum als edificis. Aquest fet, juntament amb uns preus energètics cada dia més elevats, ha permès que cada cop hi hagi una major sensibilitat per part dels agents responsables (arquitectes, promotors, etc.) pel que a l'eficiència energètica es refereix.

A més del disseny, hi ha dos factors molt importants a tenir en compte que de vegades poden ser oblidats: el manteniment i les remodelacions. Als següents apartats es fa una breu explicació de la problemàtica lligada a ambdós factors.

4.6.1 Manteniment

Pel que fa al manteniment i la gestió dels edificis, és important remarcar que en cas de que no es dugui a terme correctament, es pot perdre l'efecte que es pretenia aconseguir a través del disseny. Pel que fa als sistemes elevadors, els punts clau per garantir que l'eficiència energètica no es vegi compromesa degut a un manteniment i una gestió incorrecte són els següents:

- a. Garantir un manteniment correcte amb la periodicitat adequada per tal d'assegurar una bona lubricació de les peces mòbils, així com la detecció a temps dels problemes derivats de la fatiga (desgast, ruptures parcials, etc.).
- b. Adaptar el funcionament dels ascensors al trànsit de l'edifici, fent servir programes de trànsit adequats (amb ajuda si s'escau dels serveis tècnics encarregats dels sistemes elevadors) i desconnectant grups a les hores vall.
- c. En cas que hi hagi un nombre considerable d'ascensors dur a terme certa monitorització del consum per tal de detectar possibles problemes al sistema.
- d. Promoure per mitjà de cartells, campanyes informatives, etc. que els usuaris de l'edifici facin servir les escales per trajectes d'un o dos pisos (veure apartat 4.1.1.3).
- e. Assegurar-se de que el manteniment s'està duent a terme pel personal adequat.

4.6.2 Remodelació

A més de l'eficiència energètica aplicada a les noves instal·lacions, no s'ha de perdre de vista la seva aplicació a les remodelacions. És un fet que generalment el que motiva la remodelació de l'ascensor no sol ser la reducció del cost d'operació del mateix, sinó d'altres motius més rotunds, entre els quals es pot destacar:



- Un increment del tràfic, degut per exemple a un canvi d'utilització de l'edifici.
- Finalització de la vida útil del sistema: averies freqüents, queixes dels usuaris, etc.
- Remodelació completa de l'edifici o campanyes de modernització (veure iniciativa de l'Ajuntament de Barcelona [32]).

Quan es tracta de remodelar els sistemes elevadors, l'encarregat del projecte ha d'afrontar les restriccions imposades per la distribució espacial del propi edifici. A més de les restriccions tècniques, l'encarregat ha de tenir en compte l'opinió del responsable de seleccionar el disseny, que usualment es basa principalment en els costos. Per aquest motiu, moltes vegades el dissenyador no opta per solucions energèticament eficients.

Per tant, pel que fa a l'eficiència energètica en sistemes elevadors s'observa que el fet que més ho pot fer avançar és la competència entre fabricants, per tal d'oferir un producte millor pel mateix preu que el del seu competidor. Una altre font de motivació pot ser el valor afegit que els productes verds poden oferir a les empreses, tant des del punt de vista del consumidor com des del punt de vista del fabricant.

Per tal d'incrementar l'eficiència dels sistemes elevadors després d'una remodelació, es poden recomanar les següents accions:

- Selecció de la tecnologia

En cas de fer una remodelació completa, o en cas d'instal·lar un sistema elevador a un edifici que en principi no es va dissenyar per tenir-ne, cal escollir quina tecnologia de sistema elevador es vol instal·lar. En ocasions, l'estructura de l'edifici és robusta i no hi ha problemes d'espai. En aquests casos, es pot escollir qualsevol tecnologia, i tal i com s'ha exposat a l'apartat 4.3, la tecnologia més recomanable des del punt de vista de l'eficiència energètica és la d'imants permanents amb frenada regenerativa.

En el cas que l'edifici presenti restriccions d'espai i d'estructura (la majoria dels casos), la opció més habitual és la d'escollir tecnologia hidràulica. Aquesta, tal i com s'exposa a l'ANNEX, és la més ineficient des del punt de vista de l'eficiència energètica, però al no transmetre les sol·licitacions a l'estructura, i no requerir de sala de màquines ni espai pel contrapès, sol ser la opció escollida.

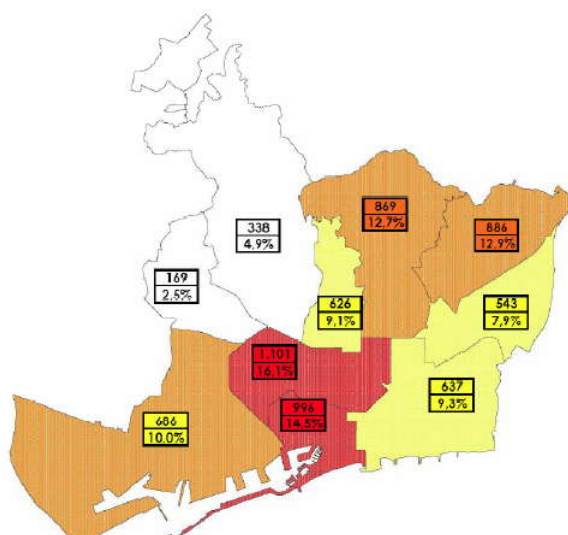
Com alternativa a aquests sistemes, avui dia existeixen els sistemes *roomless*, els quals són molt més eficients perquè fans servir motors d'imants permanents, i per altra banda permeten la incorporació de sistemes regeneratius.

En aquest sentit cal remarcar que l'Ajuntament de Barcelona està duent a terme una campanya d'instal·lació d'ascensors a edificis de més de 4 plantes que no en disposen, la qual s'ha posat en marxa al setembre de 2008. El potencial d'instal·lació d'aquesta iniciativa és de 7.000 habitatges a tot Barcelona (veure Figura 4-19).



Figura 4-19: Potencial del Pla promogut per l'Ajuntament de Barcelona.

TOTAL EDIFICIS D'HABITATGE	EDIFICIS D'HABITATGES DE 4 PLANTES O MÉS	EDIFICIS DE 4 PLANTES O MÉS SENSE ASCENSOR EN QUÈ ES POT INSTAL·LAR ASCENSOR
74.376	43.419	6.851



Font: Ajuntament de Barcelona [32].

- Motors

Per norma general, a no ser que es tracti d'una remodelació complerta del sistema elevador, la tecnologia entrant sol ser de la mateixa tipologia que la substituïda. És a dir, els motors d'alterna de dues velocitats solen ser substituïts per equips d'alterna controlats per convertidor. Als motors de contínua, es substitueixen els generadors per sistemes de control basats en convertidors estàtics. Pel que fa als sistemes gearless es sol mantenir la mateixa tecnologia degut al cost de reemplaçar-los.

Pel que es pot veure, la tendència quan es fa una remodelació és a incrementar l'eficiència del sistema. Això en part s'explica pel fet que les tecnologies eficients a la vegada proporcionen una millora del servei pel que fa a la comoditat, a la velocitat i a la seguretat. A més, la normativa recent RD 57/2005, tal i com s'ha exposat a l'apartat 4.3.1.2, imposa unes condicions de funcionament que només es poden aconseguir mitjançant la instal·lació de sistemes VVVF.

- Cabina

Pel que fa a la cabina, el que resulta més recomanable des del punt de vista de l'eficiència energètica és la reducció de la seva massa. Això implica una reducció de la massa mòbil del conjunt, que a més s'ha de tenir en compte que té efecte doble: el mateix que es redueix la massa de la cabina s'ha de reduir de la massa del contrapès.



Per aconseguir-ho existeixen materials compostos d'alta resistència, que suposen una alternativa important per substituir els equipaments tradicionals d'acer.

Per contra, la reducció de la massa del conjunt en segons quins sistemes d'elevació (com per exemple als equips d'inducció), té com a conseqüència una reducció en la comoditat així com en la capacitat d'ajust.

Per altra banda, s'ha de tenir en compte la introducció de sistemes auxiliars que redueixin el consum, com per exemple la utilització de lluminàries d'alta eficiència (veure apartat 4.2).

- Massa rodant

Tal i com s'ha vist a d'altres apartats, l'efecte de la massa rodant al consum energètic és bastant contraproduent, principalment pel que fa a la massa que gira a altes velocitats, com la que gira solidària a l'eix motor.

Una reducció de la massa rodant por portar com a conseqüència estalvis energètics importants, sobretot pel que fa a les maniobres d'arrencada. Entre les diferents actuacions que es poden dur a terme per reduir la massa rodant, s'ha de tenir en compte:

- La selecció d'un motor amb un moment d'inèrcia petit inherent.
- La ubicació del fre mecànic a l'eix de sortida del reductor (el qual gira a una velocitat molt menor).
- La reducció del diàmetre o la utilització de materials alternatius per les politges, la massa de les quals guanya importància pel que a la inèrcia es refereix a mida que els sistemes tenen velocitats nominals majors.

- Sistema de control

La substitució dels quadres de maniobra clàssics comandats per contactors, per sistemes basats en microprocessadors pot reduir molt el consum del sistema. A més, la introducció de rutines senzilles com la desconexió dels equips en hores vall són fàcilment incorporables als sistemes de control moderns.

A part dels motius energètics, hi ha d'altres raons de pes per modernitzar els sistemes de control, com pot ser una millora de la comoditat del servei, la reducció de l'espai ocupat, una major flexibilitat, i un manteniment més senzill.



Valoració de les propostes principals

13°. Instal·lar sistemes roomless enlloc de sistemes hidràulics als edificis que no són de nova construcció.

Aquesta mesura té el següent potencial d'estalvi, considerant la substitució de tots els sistemes hidràulics substituïbles (els ascensors i no els muntacàrregues) per sistemes roomless:

Potencial d'estalvi anual			
93,2 GWh (26,2 %)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

14°. Substituir els controladors per contactors per sistemes VVVF a les remodelacions.

Aplicant aquesta mesura, aproximadament s'obté un estalvi energètic del 15% sobre els sistemes elèctrics convencionals 1v, 2v. El potencial d'estalvi d'aquesta mesura substituint tots els controladors per sistemes VVVF és el següent:

Potencial d'estalvi anual			
27,5 GWh (7,73%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

Altres recomanacions:

- Assegurar un manteniment periòdic de la instal·lació
- Promoure l'eficiència energètica entre el personal de manteniment dels sistemes elevadors.
 - Que recomanin l'aplicació dels sistemes de gestió del trànsit més adient en cada cas.
 - Que duguin a terme un control perquè les guies disposin de la lubricació necessària.



- Promocionar mitjançant campanyes informatives la utilització de les alternatives als sistemes elevadors.
- Controlar el consum dels sistemes elevadors en cas que hi hagi un gran nombre.
- Assegurar-se de que el manteniment s'està duent a terme pel personal adequat.
- En cas de remodelar el sistema:
 - Promoure l'alleugeriment de la cabina.
 - Substituir les lluminàries originals per lluminàries d'alta eficiència.



4.7 Millores als sistemes hidràulics d'elevació

Tal i com s'ha vist al capítol 3, el funcionament d'un sistema d'elevació hidràulic generalment és el següent: a les maniobres d'ascens s'introdueix oli a pressió dins el pistó per mitjà de la bomba, a l'extrem del qual s'hi troba la cabina/plataforma; a les maniobres de descens, es gestiona la sortida de l'oli mitjançant una vàlvula de sortida.

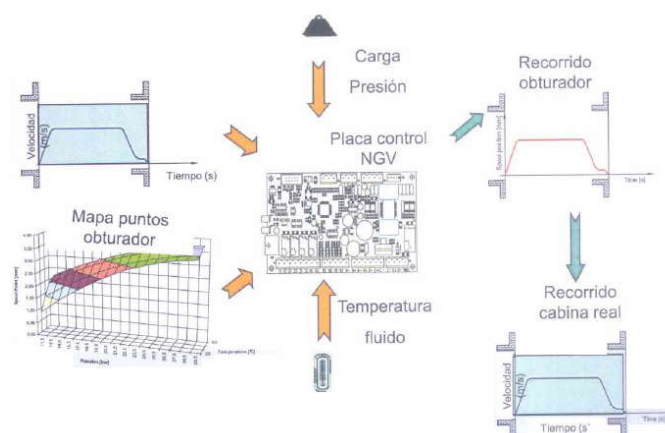
Des del punt de vista energètic, els sistemes elevadors hidràulics són molt pitjors. Això és degut principalment a que durant la maniobra d'ascens es consumeix molta energia en donar calor al fluid de treball a mida que adquireix la pressió suficient. A més, a partir de certa potència és necessària la instal·lació d'un sistema de refrigeració del fluid de treball per tal d'evitar els sobreescalfaments. Això s'afegeix al fet de que l'immensa majoria dels ascensors hidràulics no estan contrapesats, el que comporta que el pes a salvar és el de la càrrega més el pes mort de la cabina, incrementant la potència demandada amb les ineficiències que això comporta. Tot plegat contribueix a no recomanar en cap cas la instal·lació d'aquest tipus de tecnologia.

Per tant, des del punt de vista de l'eficiència energètica no és gens recomanable la utilització d'aquests tipus de sistemes. Si més no, tal i com es fa referència a la introducció d'aquest capítol, als preus energètics d'avui dia segueix essent rentable la seva utilització vers els sistemes elèctrics d'elevació. A més, en determinades ocasions representen la opció tècnica més adient. En conseqüència, a continuació es mostren diferents actuacions que milloren l'eficiència energètica d'aquest tipus de sistemes elevadors.

4.7.1 Control electrònic digital de les vàlvules

La instal·lació de vàlvules amb control digital permet reduir el consum energètic fins un 30% en comparació amb les vàlvules mecàniques tradicionals.

Figura 4-20: Sistema de control digital de vàlvules.



Font: GMV, 2008.



El principi de funcionament dels sistema hidràulic amb control de vàlvules electrònic és el mateix que els sistemes convencionals amb vàlvules mecàniques, és a dir, la bomba funciona a règim constant i el grup de vàlvules regula la velocitat mitjançant la derivació de fluid de treball cap al dipòsit.

La diferència entre aquests sistemes i els sistemes de vàlvules mecàniques és que aquests, enlloc d'estar governats per una estratègia tot o res, ho estan per medi d'una placa de control que regula el moviment de l'obturador de forma progressiva. La posició de l'obturador és calculada en funció del patró de velocitat programat, corregit en base a la pressió de l'oli (que depèn de la càrrega) i de la temperatura. Contínuament el sistema és realimentat amb la posició de la cabina.

Aquest sistema dona lloc a perfils de velocitat més precisos, que permeten un millor confort pels passatgers, i acurten el temps de les maniobres, i per tant el temps que la bomba es troba en funcionament.

4.7.2 Instal·lació de motors de velocitat variable

Tal i com s'exposa a l'article *The frequency-controlled hydraulic drive* [33], publicat l'any 1998 a la revista *Elevator World*, els sistemes hidràulics propulsats per motors de velocitat variable són una opció molt important a tenir en compte a l'hora d'incrementar l'eficiència energètica, degut a que consumeixen aproximadament el 45% menys que un sistema convencional.

El principi de funcionament consisteix en la instal·lació d'un motor de velocitat variable controlat per un convertidor VVVF, exposat a diferents apartats d'aquest estudi, en sèrie amb una vàlvula controlada electrònicament. La possibilitat de variar la velocitat del motor i en conseqüència la de la bomba, implica que només cal subministrar la quantitat d'oli necessària pel desplaçament de la cabina. Als sistemes hidràulics convencionals, en canvi, el cabal de la bomba és constant recirculant-se la fracció que calgui per tal de modular la velocitat. Això comporta que per medi dels sistemes de velocitat variable s'obtinguin estalvis energètics deguts a la reducció del cabal a bombejar, que implica una reducció del consum energètic a més de la reducció a les pèrdues al motor i a la bomba. La reducció del cabal, per altra banda, també comporta un menor grau d'escalfament al fluid de treball.

La velocitat durant les fases d'arrencada i aturada es controla mitjançant la vàlvula electrònica. Durant la resta del trajecte la velocitat és controlada purament per la velocitat de la bomba. Això permet a que durant les maniobres de descens, l'energia potencial acumulada al sistema elevador es transfereixi al motor, que en aquest cas treballarà com a generador. La quantitat d'energia transformada en electricitat depèn dels rendiments de la bomba i del motor (treballant com a generador). Una altre conseqüència d'aquest sistema de control de velocitat és la reducció de l'escalfament de l'oli de treball, al dissipar la seva energia en forma de treball enlloc de convertir-la en calor. Aquesta energia es sol dissipar a les resistències de frenada, encara que tal i com es veurà al següent apartat i en línia amb el punt 4.3.2, pot resultar viable injectar-la a la xarxa elèctrica (el que resulta molt més eficient).



Des del punt de vista energètic, les principals avantatges són:

- Una reducció del consum energètic, sobretot durant les fases d'arrencada i aturada on aproximadament es consumeix la meitat (veure taula següent).
- Una reducció del pic de corrent durant la fase d'arrencada.
- La no necessitat d'un sistema de refrigeració de l'oli a conseqüència del menor escalfament de l'oli.

Taula 4-8: Comparació del consum energètic de la tecnologia convencional front el sistema de velocitat variable.

Sistema	Convencional (amb control de vàlvules digital)	VVVF
Energia consumida durant l'acceleració	30 %	15 %
Energia consumida durant l'aturada	30 %	15 %
Energia consumida a velocitat màxima	40 %	37 %
Energia consumida TOTAL	100 %	68 %

Font: Elevator World, 1998.

Nota: Les dades s'han pres en un viatge de 10s.

4.7.3 Sistemes amb contrapès

Una forma de reduir el consum energètic del sistema és a través de la instal·lació d'un contrapès, que de la mateixa forma que als sistemes elèctrics, redueixen la potència requerida del sistema mitjançant la compensació de part de la càrrega.

A conseqüència de la reducció de la demanda de potència (entre un 35% i un 40% menys), les pèrdues al motor es redueixen (veure apartat 4.1).

El funcionament del sistema consisteix en la instal·lació d'un contrapès que s'acciona des d'un cilindre de doble efecte. A més d'estalviar energia, aquesta disposició estalvia la quantitat d'oli requerida per funcionar.

Per altra banda, de la mateixa forma que la majoria de les propostes presentades en aquest apartat, es perd en senzillesa d'instal·lació respecte als sistemes convencionals. A més, suposa una càrrega per l'estructura, i es perd el plus de seguretat en cas de fallida.

4.7.4 Sistemes regeneratius

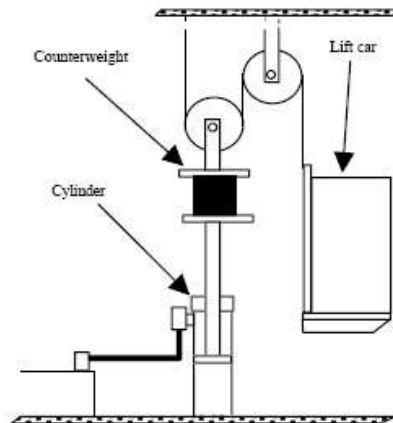
Tal i com s'ha mostrat en apartats anteriors, quan un sistema elevador hidràulic (sense contrapesar) fa la maniobra de descens, l'energia potencial de la cabina es converteix en



calor degut a l'estrangulament de les vàlvules de control de baixada. Aquesta és una de les raons per les quals els ascensors hidràulics convencionals són menys eficients que els ascensors elèctrics.

Per tal de millorar aquesta situació, i poder assolir alts nivells d'eficiència quan l'opció més adient (per motius estructurals, d'espai, de càrrega, etc.) és l'ascensor hidràulic, es presenta la possibilitat (en fase d'estudi) d'instal·lar un sistema de frenada regenerativa.

Figura 4-21: Sistema hidràulic contrapesat.

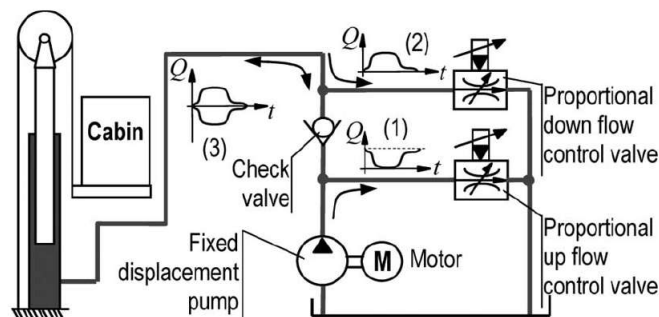


Font: Guidelines on energy efficiency. Government of HK, 2000.

Tal i com s'ha vist al capítol 3, un sistema hidràulic convencional funciona de la següent manera (veure Figura 4-22):

- La velocitat de la cabina és proporcional al cabal d'entrada al pistó.
- La bomba dona un cabal constant.
- Per la maniobra de pujada la vàlvula 1 controla el by-pass d'oli per tal de proporcionar una progressió al flux cap a l'interior del pistó.
- Per la maniobra de baixada, la vàlvula 2 controla el buidat del pistó, de tal forma que es controla la velocitat de descens de la cabina.

Figura 4-22: Sistema d'elevació hidràulic.



Font: IEEE [34], 2007.



Per tant, tal i com s'ha dit a la introducció de l'apartat, l'energia potencial de l'ascensor es transforma en calor durant la maniobra de descens. Per tant, la recerca en sistemes que recuperin part d'aquesta energia que als sistemes convencionals es dissipa, pot comportar estalvis energètics considerables.

Avui dia al mercat ja hi ha fabricants que comercialitzen aquest tipus de sistemes, encara que molts altres estan encara en fase de desenvolupament. La promoció per part de l'administració contribuirà al desenvolupament d'aquestes tecnologies, el que estalviarà molta energia en aplicacions en les que encara resulten més adients els sistemes hidràulics.

4.7.4.1 Regeneració a partir de sistemes de velocitat variable

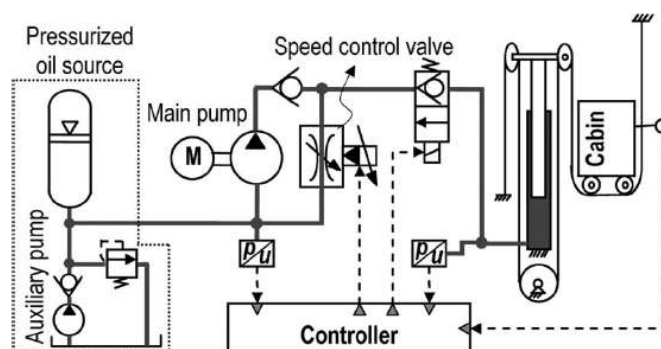
Una primera opció de sistema regeneratiu consisteix en substituir el convertidor de freqüència convencional, amb chopper de frenada, per un que permeti l'emmagatzement d'energia o la connexió amb la xarxa elèctrica. Aquestes opcions són equivalent a les descrites a l'apartat 4.3.2.

L'eficiència del sistema dependrà del rendiment de la bomba funcionant a la inversa, així com del motor treballant de generador.

4.7.4.2 Sistema convencional amb acumulador de pressió

Aquesta és la solució que serveix de base per les que s'exposaran a continuació. El principi de funcionament es basa en la inclusió d'un sistema acumulador de pressió a l'esquema d'un sistema convencional controlat per vàlvules. La pressió acumulada permet reduir la diferència de pressió a la bomba principal, el que redueix considerablement el consum energètic.

Figura 4-23: Sistema convencional amb acumulador de pressió.



Font: IEEE, 2007.



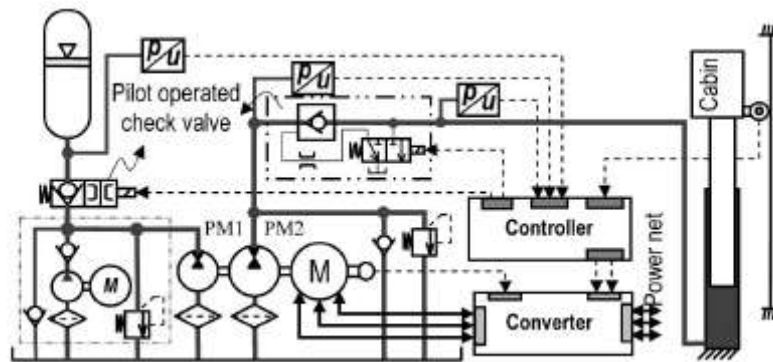
4.7.4.3 Sistema amb acumulador de pressió i eix de bombeig comú

Aquest sistema incorpora un acumulador de pressió, de la mateixa forma que el sistema descrit a l'apartat anterior. Aquest, a més, fa servir dues bombes connectades a un eix comú. La bomba PM1 és d'alta pressió, i fa el paper de “contrapès” del sistema. Tal i com es pot apreciar a la Figura 4-23, el sistema és molt més complex, a més de ser considerablement més costós.

Quan la cabina ascendeix, l'acumulador proporciona energia a través de la bomba PM1, que mou la PM2 que a la vegada és la que injecta l'oli a pressió al pistó. Quan aquesta baixa, l'energia potencial es transmet a l'acumulador a través de la de la bomba PM2, que mou la PM1.

L'element principal de control del sistema és el motor controlat per convertidor de freqüència que proporciona potència al sistema quan aquest no en disposa de suficient, i la retorna a la xarxa de distribució quan en sobra (actuant com a generador).

Figura 4-24: Sistema amb acumulador de pressió i eix de bombeig comú.



Font: IEEE, 2007.

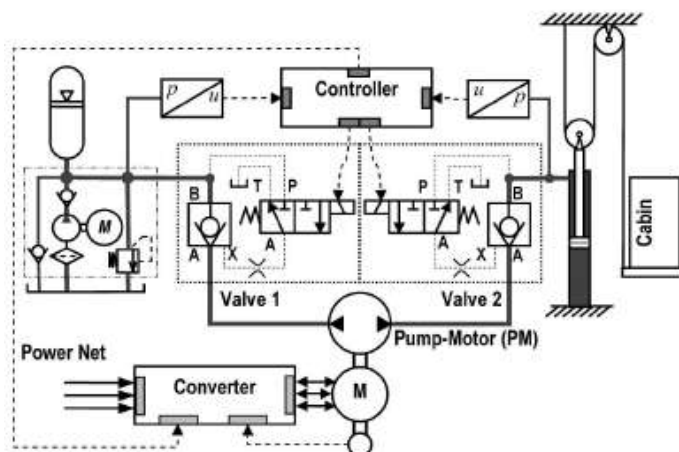
4.7.4.4 Sistema amb acumulador de pressió i cilindre de doble efecte

El principi de funcionament d'aquest sistema consisteix, igual que l'anterior, en un acumulador de pressió i un motor governat per convertidor de freqüència que permet injectar energia a la xarxa en cas de que el sistema sigui excedentari. La principal avantatge d'aquest sistema és que combina les qualitats dels dos anteriors: eficiència energètica i fàcil construcció.

Quan la cabina ascendeix l'acumulador de pressió, a través de la vàlvula 1, proporciona energia a la bomba PM, la qual haurà d'aportar o consumir energia per tal de proporcionar el moviment a la cabina, a través de la vàlvula 2. Durant la maniobra de descens, el flux d'energia va circula de la cabina a l'acumulador a través de les vàlvules. El motor de nou és l'encarregat de regular el cabal, de forma que si hi ha excedent d'energia la retorna a la xarxa.



Figura 4-25: Sistema amb acumulador de pressió i cilindre de doble efecte.



Font: IEEE [34], 2007.

Taula 4-9: Comparació de l'eficiència dels sistemes regeneratius d'eix comú i doble efecte amb el sistema convencional.

Tipus de sistema hidràulic	Convencional	Eix comú	Doble efecte
Potència nominal [kW]	29-33	15-18,5	9,5-11
Consum a plena càrrega [kJ]	334	153	93
Consum a mitja càrrega [kJ]	270	124	60
Consum en buit [kJ]	207	95	83
Suma [kJ]	811	372	236
Estalvi front el sistema convencional	-	54,13%	70,90%

Font: IEEE [34], 2007.



Valoració de les propostes principals

- 15°. Fer servir sistemes elevadors hidràulics amb control de vàlvules electrònic digital front els sistemes tradicionals amb vàlvules mecàniques.**

Aplicant aquesta mesura, aproximadament s'obté un estalvi energètic del 30% sobre els sistemes hidràulics convencionals. El potencial de millora serà, per tant:

Potencial d'estalvi anual			
33,29 GWh (9,36%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

- 16°. Fer servir sistemes elevadors hidràulics amb motors de velocitat variable, controlats per convertidors VVVF, front els sistemes tradicionals governats per contactors.**

Aplicant aquesta mesura, aproximadament s'obté un estalvi energètic del 45% sobre els sistemes hidràulics convencionals.

Considerant que la utilització d'aquests sistemes és menyspreable, i per tant suposant que es substitueixen el 100% dels sistemes elevadors hidràulics instal·lats, la mesura suposa el següent estalvi anual:

Potencial d'estalvi anual			
49,9 GWh (14,1%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

- 17°. Fer servir sistemes elevadors hidràulics contrapesats.**

Aplicant aquesta mesura, aproximadament es redueix la demanda de potència màxima en un 35-40% front els sistemes hidràulics convencionals. Això implica un increment de l'eficiència dels motors (per calcular-ho es fa ús de l'equació 5-1). Suposant que es substitueixen el 100% dels sistemes elevadors hidràulics instal·lats, la mesura té el següent potencial d'estalvi anual:

Potencial d'estalvi anual			
7,9 GWh (2,2%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix



18°. Fer servir sistemes hidràulics regeneratius enlloc del sistemes convencionals.

Tal i com s'exposa a la pàgina 145, els sistemes elevadors hidràulics regeneratius consumeixen un 70,9% menys que els sistemes convencionals, el qual suposa un potencial d'estalvi anual de:

Potencial d'estalvi anual			
78,67 GWh (22,13%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

Altres recomanacions:

- Control automàtic de la refrigeració del tanc d'oli dels sistemes hidràulics.
- Instal·lar els sistemes de refrigeració fora de la sala de màquines.



4.8 Resum de les recomanacions fetes en aquest capítol.

A continuació es presenta un recull de les propostes presentades durant aquest capítol. La valoració del potencial d'estalvi es du a terme seguint el següent criteri:

Taula 4-10: Criteri de valoració del potencial d'estalvi de les millores.

Valoració	Potencial de millora
Baix	0 – 5 %
Mitjà	5 – 10 %
Alt	10 – 15 %
Molt Alt	> 15 %

Font: CITCEA, 2007.

- 1) Fer servir sistemes gearless amb motor brushless, incorporant sistemes de frenada regenerativa.

Potencial d'estalvi anual			
125,6 GWh (35,3%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

- 2) Fer servir sistemes gearless amb motor brushless

Potencial d'estalvi anual			
104,7 GWh (29,4 %)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

- 3) Instal·lar sistemes roomless enlloc de sistemes hidràulics als edificis que no són de nova construcció.

Potencial d'estalvi anual			
93,2 GWh (26,2 %)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

- 4) Instal·lar sistemes elèctrics enlloc de sistemes hidràulics.

Potencial d'estalvi anual			
79,8 GWh (22,5 %)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix



5) Fer servir sistemes hidràulics regeneratius enlloc del sistemes convencionals.

Potencial d'estalvi anual			
78,67 GWh (22,13%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

6) Fer servir sistemes elevadors hidràulics amb motors de velocitat variable, controlats per convertidors VVVF, front els sistemes tradicionals governats per contactors.

Potencial d'estalvi anual			
49,9 GWh (14,1%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

7) Aprofitar la calor generada a la sala de màquines dels sistemes elevadors.

Potencial d'estalvi anual			
46 GWh (12,9%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

8) Fer servir lluminàries més eficients.

Potencial d'estalvi anual			
45,6 GWh (12,8%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

9) Disseny i implementació d'algorismes per la commutació al mode stand-by

Potencial d'estalvi anual			
44,3 GWh (12,5%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix



10) Dimensionar el motor en funció de la càrrega real.

Potencial d'estalvi anual			
38,1 GWh (10,7%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

11) Disseny i implementació d'algorismes per la desconexió dels sistemes en períodes de baixa demanda

Potencial d'estalvi anual			
35,0 GWh (9,9%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

12) Fer servir sistemes elevadors hidràulics amb control de vàlvules electrònic digital front els sistemes tradicionals amb vàlvules mecàniques.

Potencial d'estalvi anual			
33,3 GWh (9,4%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

13) Fer servir sistemes de control basats en convertidors VVVF enlloc dels sistemes basats en contactors.

Potencial d'estalvi anual			
27,5 GWh (7,7%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

14) Situar els sistemes elevadors en llocs apropiats, prop de les alternatives, i millorar l'apariència de les alternatives.

Potencial d'estalvi anual			
15,9 GWh (4,5%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix



15) Corregir el factor de potència dels sistemes elevadors.

Potencial d'estalvi anual			
10,2 GWh (2,88%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

16) Fer servir sistemes elevadors hidràulics contrapesats.

Potencial d'estalvi anual			
7,9 GWh (2,2%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

17) Reduir la massa del contrapès per tal de reduir la potència elèctrica demandada.

Potencial d'estalvi anual			
6,1 GWh (1,7%)			
Molt alt	Alt	Mitjà	Baix

A continuació es presenten les propostes secundàries recollides als diferents apartats:

- Situar els sistemes elevadors agrupats per tal de maximitzar la seva ocupació i permetre la implementació de sistemes col·lectius de gestió del trànsit.
- Dimensionar el sistema tenint considerant els següents aspectes:
 - La reducció del nombre de sistemes elevadors reduirà el consum en espera, i per alre banda incrementarà la ocupació fent que els sistemes treballin més propers al punt òptim.
 - Contenir els valors de velocitat màxima i acceleració per tal de reduir la potència cinètica i potencial requerida.
- Desconnexió als períodes de baixa demanda.
- Implementar sistemes de desconnexió del motor als sistemes Ward Leonard.
- Fer servir sistemes de tancament de les portes que no requereixin alimentació continuada per garantir el seu bloqueig.
- Profunditzar en l'estudi normatiu per tal de retribuir l'energia retornada a la xarxa pels sistemes elevadors.
- Profunditzar en l'estudi de l'aplicació d'ultracapacitors al transport.



- Instal·lació de filtres per la reducció dels THD.
- Fer servir sistemes gearless (veure proposta 8°).
- Minimitzar la massa del sistema.
- Dissenyar els sistemes de forma que la disposició de les politges sigui la més senzilla possible.
- Fer servir rodaments als enllaços de la cabina i el contrapès enlloc de les sabates de fricció.
- Millorar al màxim l'aerodinàmica de la cabina.
- Assegurar un manteniment periòdic de la instal·lació
- Promoure l'eficiència energètica entre el personal de manteniment dels sistemes elevadors.
 - Que recomanin l'aplicació dels sistemes de gestió del trànsit més adient en cada cas.
 - Que duguin a terme un control perquè les guies disposin de la lubricació necessària.
- Promocionar mitjançant campanyes informatives la utilització de les alternatives als sistemes elevadors.
- Controlar el consum dels sistemes elevadors en cas que hi hagi un gran nombre.
- Assegurar-se de que el manteniment s'està duent a terme pel personal adequat.
- En cas de remodelar el sistema:
 - Promoure l'alleugeriment de la cabina.
 - Substituir les lluminàries originals per lluminàries d'alta eficiència.
- Control automàtic de la refrigeració del tanc d'oli dels sistemes hidràulics.
- Instal·lar els sistemes de refrigeració fora de la sala de màquines.



5 El sector dels sistemes elevadors

5.1 Consideracions prèvies per la formulació d'una política d'eficiència energètica al sector dels sistemes elevadors

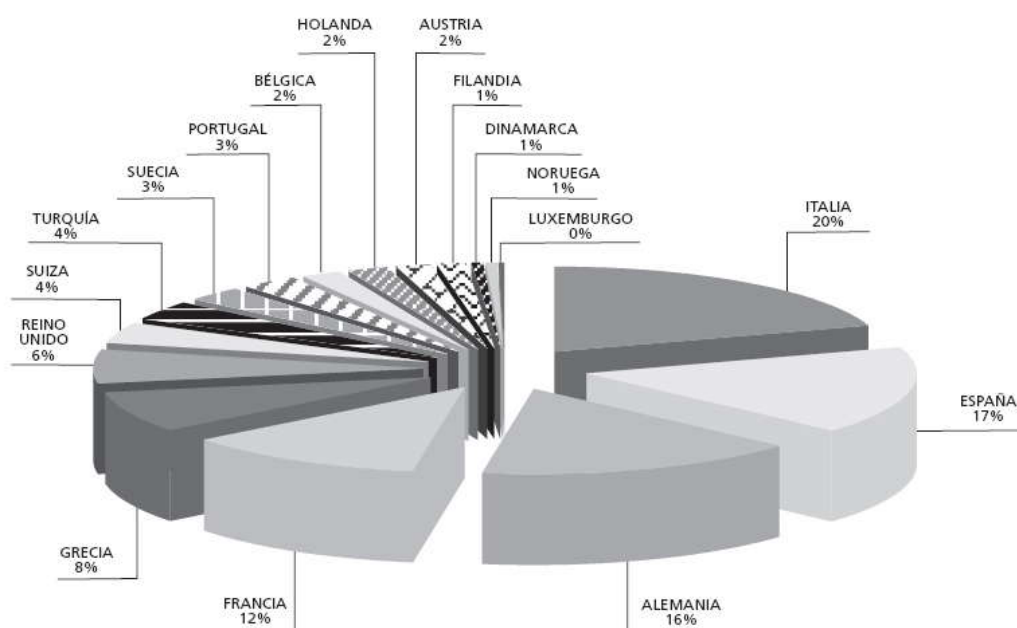
Tal i com s'ha vist anteriorment el sector d'ascensors a Espanya presenta un alt potencial d'estalvi (veure capítol 4), i és un sector on poden aplicar-se mesures que propiciïn l'estalvi i la sostenibilitat energètica de forma general. L'elevació, és un sector sobre el qual no s'ha realitzat de forma oficial cap programa d'eficiència energètica, i és per aquest motiu que es presenten a continuació una sèrie d'elements a tenir en compte en el cas de que es projecti la realització d'un programa des de l'administració en aquest sector.

5.1.1 El sector en xifres

A l'any 2005 a la Unió Europea prop d'un de cada cinc ascensors estava instal·lat a Espanya (d'un total de 4 milions, amb un creixement de 120.000 unitats a l'any), i segons informació dels fabricants aquesta xifra té tendència a l'alça. Espanya és el segon país després d'Itàlia amb més ascensors instal·lats i amb més perspectiva d'instal·lació, amb un total de prop de 900.000 unitats.

Pel que fa a Catalunya [18], el parc actual (2008) d'ascensors supera les 160.000 unitats, amb un creixement anual d'unes 10.000 unitats (als darrers anys).

Figura 5-1: Ascensors a la Unió Europea.



Font: Blanco [et al.] [15], 2008.



En referència a altres dades d'interès, s'ha de dir que a Espanya el sector d'ascensors estava compost en l'any 2005 per un total de 586 empreses, amb un volum total d'ingressos d'explotació que ascendia a uns 3.530 milions d'euros i amb un volum de treballadors que arribava a amb les últimes dades disponibles els 25.400 [16], 2.500 dels quals treballen a Catalunya. A la Taula 5-1 es poden veure les principals empreses del sector a Espanya.

Taula 5-1: Principals fabricants i ensambladors del sector de l'elevació a Espanya (2004).

Principales fabricantes y ensambladores del sector de elevación en España (1)			
Fabricante	Ingresos 2003 (M.EUR)	Ingresos 2004 (M.EUR)	Venta nueva (%)
1 ZARDOYA OTIS (GRUPO)	636,40	665,53	34
ZARDOYA OTIS, S.A.	502,00	534,66	--
ASCENSORES EGUREN, S.A.	19,95	23,00	--
SERVEIS DE L'ASCENSOR M.R.I.R., S.L.	13,85	15,29	--
ASCENSORES PERTOR, S.L.	13,14	12,79	--
ASCENSORES SERRA, S.A.	9,30	9,50	--
2 SCHINDLER, S.A. (GRUPO)	524,44	570,00	n.d.
SCHINDLER, S.A.	337,71	353,25	45 (*)
3 GRUPO THYSSENKRUPP	422,41 (*)	490,00	n.d.
THYSSENKRUPP ELEVADORES, S.L.	253,87	254,00 (*)	60 (*)
ASCENSORES CENIA, S.A.	82,63	82,00 (*)	50 (*)
THYSSENKRUPP NORTE, S.A. (+)	44,00 (*)	44,50 (*)	100 (*)
THYSSENKRUPP AIRPORT SYSTEMS, S.A. (+)	32,51	33,00 (*)	100 (*)
ASCENSORES SILVES HIDROLEX, S.L. (2)	9,40	10,00	40 (*)
4 GRUPO ORONA	257,20	304,40	--
ORONA SDAD. COOP.	212,23	245,26	50 (*)
5 KONE ELEVADORES, S.A.	76,00	81,00	44
6 MAC-PUAR, S.A.	73,02	77,50	--
7 FAIN ASCENSORES, S.A.	31,81	60,00	40 (*)
8 GRUPO ZENER	39,00	46,40	--
CATALANA DE ASCENSORES ZENER, S.A.	16,00	18,00	40
FABRICACION DE ELEVADORES, S.A. (FELESA)	10,50	12,90	95
ZENER ELEVADORES DEL NOROESTE, S.A.	7,16	7,82	50
9 ASCENSORES ENOR, S.A. (3)	23,07	24,19	50
10 ASCENSORES ENINTER, S.L.	17,85	20,96	47
11 PECRES, S.L. (4)	17,10	20,14	50
12 IND. MONTAÑESAS ELEC. MECANICAS, S.L. (MEM)	15,00	17,40	70
13 ELECTROMECHANICAS ALJO, S.L.	17,86	17,00 (*)	40 (*)
14 A. EMBARBA, S.A.	15,76	16,00 (*)	40
15 AUTUR, S.A.	13,63	14,00 (*)	n.d.
16 LIFT TECHNIK, S.A.	12,67	13,00	100
17 GENERAL ELEVADORES XXI, S.L.	11,10	12,02	32
18 INDUSTRIAL DE ELEVACION, S.A. (NELSA)	15,47	11,69	--
19 OMEGA ELEVATOR, S.A. (5)	11,00 (*)	11,50 (*)	40 (*)
20 TEC. REPAR. ESPECIAL ASTURIAS, S.A. (TRESA)	9,90	11,11	70
21 ASCENSORES CARBONELL, S.A.	6,66	6,80	40
22 INALXA COMERCIAL, S.A.	6,00 (*)	6,50 (*)	100
23 ASCENSORES MARVI, S.L.	6,14	6,50 (*)	35
24 MONTES TALLON, S.A.	5,36	5,40 (*)	35
25 ASCENSORES ERSCE, S.A.	5,66	5,31	50
26 ASCENSORES JORDA, S.A.	4,48	5,00 (*)	35
27 MAGAIZ, S.A.	4,34	4,08	83

n.d.: no disponible.
 (*) Estimación CONSTRUCCION ALIMARKET.
 (+) Sólo fabrican escaleras, pasarelas y pasillos mecánicos.
 (1) Los grupos incluyen filiales con ventas superiores a 7 M.EUR.
 (2) Adquirida por THYSSENKRUPP a mediados de 2005.
 (3) Comercializa en España la producción que fabrica ELECTROMECHANICA DEL NOROESTE, S.A., ambas integradas en GRUPO ASCENSORES ENOR que consolida ventas de 31,75 M. en 2004.
 (4) Está participada en un 42% por ORONA, S.COOP.
 (5) Participada en un 25% por CATALANA DE ASCENSORES ZENER, S.A. y ZENER ELEVADORES DEL NOROESTE, S.L.

Fuente: CONSTRUCCION ALIMARKET

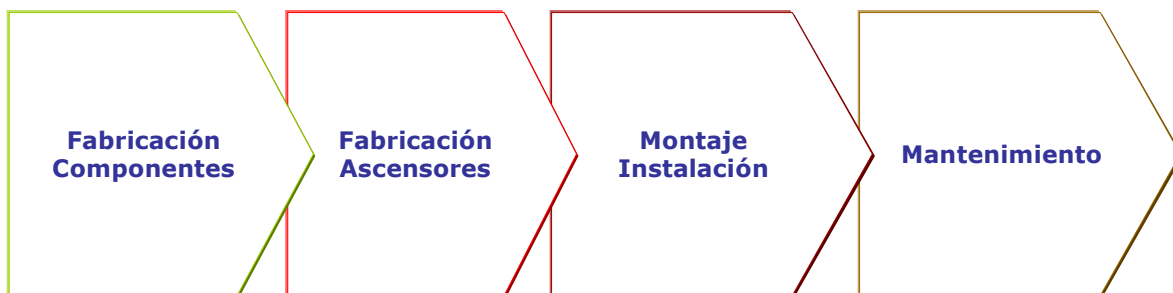
Font: Alimarket, 2004.



5.1.2 La Cadena de valor al sector de l'elevació

La fig. mostra la cadena de valor del procés productiu dels sistemes elevadors. Com es pot veure, a la cadena hi intervenen els següents agents: els fabricants de components, els fabricants d'ascensors, les empreses que fan muntatge i instal·lació i els responsables de manteniment.

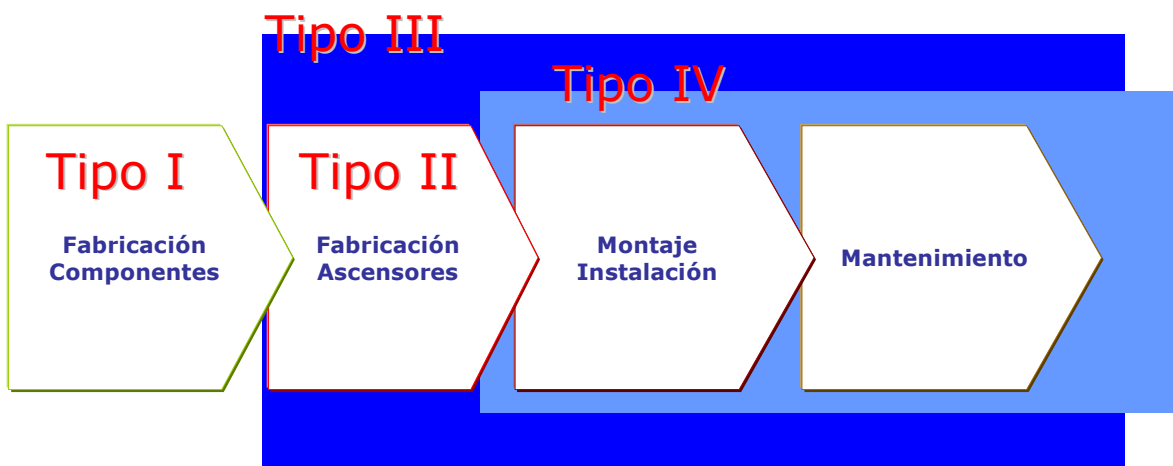
Figura 5-2: Cadena de valor del sector de l'elevació.



Font: Gobierno de Aragón [17], 2003.

Ara bé, la presència d'empreses que realitzen aquestes funcions és com es mostra a continuació.

Figura 5-3: Tipus d'empreses al sector de l'elevació.



Font: Gobierno de Aragón [17], 2003.

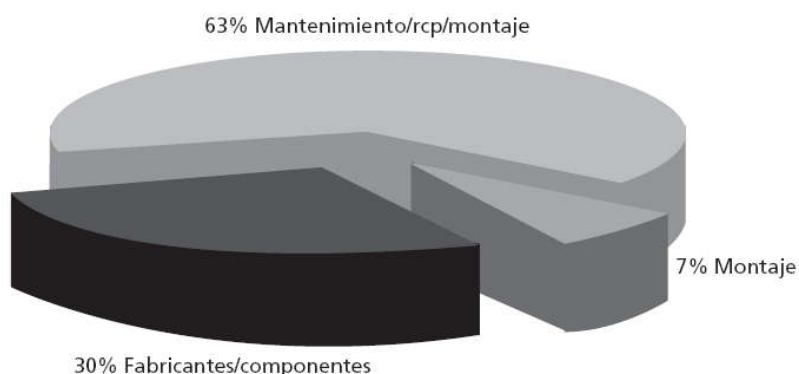
En general es reconeixen quatre tipus d'empreses:

- Tipus I: Empreses dedicades a la fabricació de components d'ascensors.
- Tipus II: Empreses dedicades a la fabricació d'ascensors.
- Tipus III: Empreses dedicades a la fabricació, muntatge, instal·lació i manteniment d'ascensors.



- Tipus IV: Empreses dedicades al muntatge, instal·lació i manteniment d'ascensors.

Figura 5-4: Subsectors al sector de l'elevació.



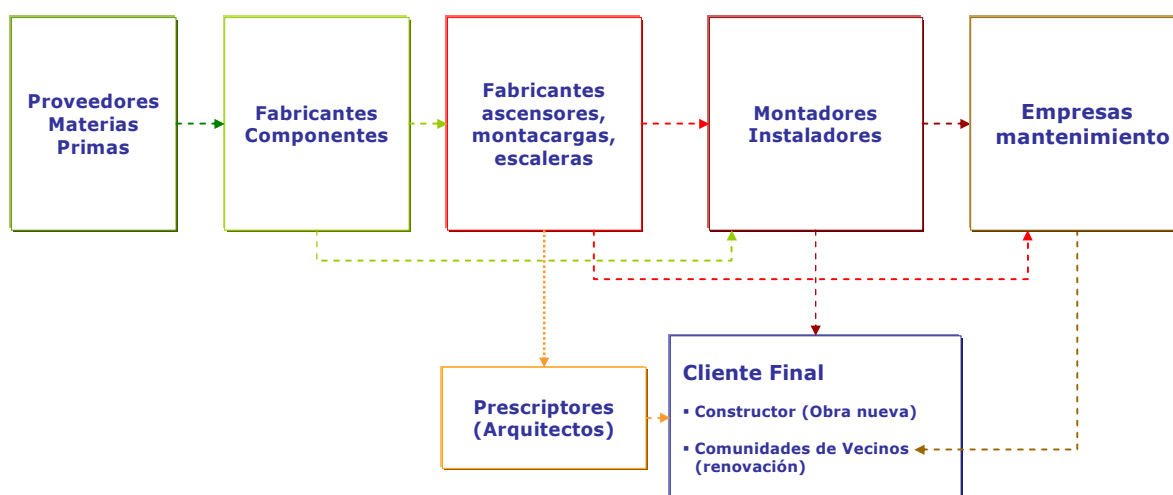
Font: Blanco [et al.] [15], 2008.

En general s'han de tenir en compte quin tipus de mesures es poden proposar a cada tipus d'empreses, tenint en compte que les empreses que poden tenir una major oportunitat d'estalvi són les empreses de Tipus III,

En general els agents que intervenen al procés de producció d'ascensors es mostren al següent diagrama. En aquest s'agreguen dos components bàsics i que poden ser determinants en la recerca de l'eficiència: els prescriptors (en general els Arquitectes) i el client final. Aquests dos últims poden demanar una major eficiència als equips a ser instal·lats i a la remodelació dels mateixos.

El procés de creació d'una política d'eficiència energètica en aquest sector hauria de tenir en compte la forma que està constituït, mostrada durant aquest apartat.

Figura 5-5: Agents del sistema productiu d'ascensors.



Font: Gobierno de Aragón [17], 2003.



Activitats a desenvolupar dins un Programa d'Eficiència Energètica en Sistemes Elevadors:

- 1 Desenvolupar un esquema d'activitats o propostes d'acord al tipus d'empresa
- 2 Vinculació amb els gremis
- 3 Càlcul d'efectes del programa
- 4 Promoció i divulgació
- 5 Accions Paral·leles

5.2 Consum energètic dels sistemes elevadors a Catalunya

Les dades calculades en aquest apartat s'han realitzat en base a unes suposicions, les quals són exposades a continuació. La dada obtinguda, per tant, proporciona únicament un ordre de magnitud que permet fer una valoració inicial del pes dels sistemes elevadors sobre el consum total, i de les mesures que es poden dur a terme per tal de reduir-lo.

Pel desenvolupament d'aquest càlcul s'ha fet ús de dades estadístiques oficials, així com de les dades proporcionades per les empreses i l'opinió d'experts.

Tal i com s'ha mostrat a l'apartat anterior, actualment a Catalunya hi ha més de 160.000 sistemes elevadors en funcionament. Per tal de poder determinar el seu consum s'ha fet servir el model exposat a l'apartat **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, basat principalment en la metodologia proposada al SIA Standard 380/4.

Per tal d'aplicar el mètode, s'han seguit els següents passos (les suposicions utilitzades s'expliquen a peu de pàgina):

- a) Determinació del nombre de sistemes elevadors a Catalunya: Aquesta dada, proporcionada pel Departament d'Indústria i Energia de la Generalitat de Catalunya, es basa en el registre d'aparells elevadors (RAE), el qual engloba totes les instal·lacions d'ascensors i muntacàrregues elèctrics i hidràulics (RD 2291/1985).
- b) Estimació de la distribució dels sistemes elevadors en funció de l'aplicació: Fer la distribució per sectors¹ (residencial, comercial, etc.) permet desagregar el conjunt de forma que es pugui assignar una utilització a cadascun (cicles/any)², la qual depèn fortament de l'aplicació.

¹ La distribució per sectors s'ha fet en base a les dades disponibles de Suïssa, on hi ha un nombre similar de sistemes elevadors (150.000 a l'any 2005 [8]).

² La dada s'ha obtingut fent la mitja del resultat obtingut pel mètode proposat pel SIA Standard 380/4 i pel TC/178 de ISO.



- c) Determinació dels paràmetres de les construccions en funció de l'aplicació¹.
- d) Determinació de les característiques tècniques (excepte consum indirecte) en funció de l'aplicació, així com el seu repartiment².
- e) Determinació dels paràmetres:
- k_1 : Índex tecnològic. Determina la potència directe desenvolupada mitja (veure desenvolupament a l'ANNEX).
 - P_i : Potència indirecte.
 - F_{cd} : Factor corrector de la potència directe en funció de l'aplicació³.
 - F_{ci} : Factor corrector de la potència indirecte en funció de l'aplicació⁴.

A continuació es presenten les taules de resultats:

Taula 5-2: Paràmetres de població

Tipus d'edifici	Nº Ascensors	%
Residencial	104.000	65,00%
Hospitals	16.000	10,00%
Comerços	6.400	4,00%
Oficines	19.200	12,00%
Pàrquings	6.400	4,00%
Edificis industrials	8.000	5,00%
Total	160.000	100,00%

Taula 5-3: Paràmetres de les construccions

Tipus d'edifici	k_2	Alçada (pisos)	Alçada (m)
Residencial	0,5	6	14
Hospitals	0,5	8	19,6
Comerços	0,5	3	5,6
Oficines	0,5	8	19,6
Pàrquings	0,5	4	8,4
Edificis industrials	0,5	4	8,4

¹ S'han fet servir els paràmetres proposats pel SIA Standard 380/4.

² En base a la cartera de clients a Catalunya d'una empresa del sector.

³ Corregint en funció de la càrrega nominal i la velocitat nominal ($P_d = m \cdot g \cdot v$).

⁴ En base a les mesures realitzades a 33 instal·lacions per la SIA [8] incloses a l'ANNEX IV.



Taula 5-4: Característiques tècniques i repartiment de les tecnologies en funció de l'aplicació.

Tipus d'edifici	Tecnologia	Proporció	k1	Vel. [m/s]	F _{cd}	P _d [kW]	F _{ci}	P _i [W]
Residencial	hidràulics	0,33	30,00%	0,63	1	10	1	100
	elèctrics (1v, 2v)	0,67	35,00%	1		5		
Hospitals	hidràulics	0,20	30,00%	0,63	1,3	13,3	2	200
	elèctrics (1v, 2v)	0,80	35,00%	1,6		6,7		
Comerços	hidràulics	0,80	30,00%	0,63	5,7	56,9	1,5	150
	elèctrics (1v, 2v)	0,20	35,00%	1		28,4		
Oficines	hidràulics	0,20	30,00%	0,63	5,3	53,3	2	200
	elèctrics (1v, 2v)	0,80	35,00%	1,6		26,7		
Pàrquings	hidràulics	1	30,00%	0,63	5,3	53,3	1	100
Edificis industrials	hidràulics	1	30,00%	0,63	3,6	35,6	1,5	150

Taula 5-5: Consum energètic. Cicles calculats segons la metodologia SIA Standard 380/4.

Tipus d'edifici	Cicles (SIA)	Tecnologia	Indirecte [GWh]	Directe [GWh]	Total [GWh]
Residencial	40.000	hidràulics	30	13	43
		elèctrics (1v, 2v)	61	9	70
Hospitals	300.000	hidràulics	6	17	22
		elèctrics (1v, 2v)	22	15	38
Comerços	200.000	hidràulics	7	22	28
		elèctrics (1v, 2v)	2	2	4
Oficines	200.000	hidràulics	7	53	60
		elèctrics (1v, 2v)	27	49	76
Pàrquings	60.000	hidràulics	6	11	17
Edificis industrials	40.000	hidràulics	11	6	17

Consum energètic total (SIA Strd 380/4) = 376,6 GWh



Taula 5-6: Consum energètic. Cicles calculats segons la metodologia ISO TC/178.

Tipus d'edifici	D	W	Tp	Total	Tecnologia	Indirecte [GWh]	Directe [GWh]	Total [GWh]
Residencial	7	52	100	36400	hidràulics	30	13	43
					elèctrics (1v, 2v)	61	9	70
Hospitals	7	52	300	109200	hidràulics	6	17	22
					elèctrics (1v, 2v)	22	15	38
Comerços	6	52	300	93600	hidràulics	7	22	28
					elèctrics (1v, 2v)	2	2	4
Oficines	5	48	750	180000	hidràulics	7	53	60
					elèctrics (1v, 2v)	27	49	76
Pàrquings	7	52	300	109200	hidràulics	6	11	17
Edificis industrials	5	48	100	24000	hidràulics	11	6	17

Consum energètic total (ISO TC/178) = 336,4 GWh

Per tant, el consum energètic total calculat com la mitja dels valor obtinguts per les dues metodologies, és:

Consum energètic total (mitja) = 355,5 GWh

Consum energètic domèstic total (mitja) = 112,4 GWh

Consum energètic directe = 183,2 GWh (52%)

Consum energètic indirecte = 172,3 GWh (48%)

El qual, considerant un consum elèctric a Catalunya (2008) [20] de 47.224GWh, dels quals 11.090GWh [19] correspon al consum domèstic, representa:

Percentatge sobre el consum elèctric de Catalunya = 0,75 %

Percentatge sobre el consum domèstic elèctric de Catalunya = 1,01 %



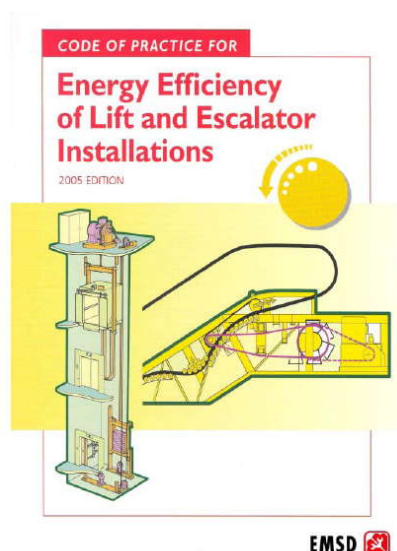
5.3 Eines per a la promoció de l'eficiència energètica als sistemes elevadors. Benchmarking internacional.

5.3.1 Codi de conducta pels projectistes

Tal i com s'ha fet referència a la introducció, aquest estudi s'ha fet tenint en compte les iniciatives que a nivell mundial s'han desenvolupat pel que fa a l'eficiència energètica en sistemes elevadors.

La majoria d'aquests estudis, de la mateixa forma que aquest, es troben en fases preliminars. Per altra banda, hi ha altres països que tenen els seus estudis en estadis més avançats, com és el cas de Hong Kong.

Figura 5-6: Portada del document divulgatiu desenvolupat pel govern de HK.



Font: EMSD, 2000.

En aquest país, el departament del govern Electrical & Mechanical Services Department ha desenvolupat aquesta guia, dins una col·lecció que tracten altres aspectes relacionats amb el consum energètic als edificis.

Aquesta guia no té caràcter vinculant, però anima als projectistes a adoptar criteris que millorin l'eficiència energètica dels sistemes elevadors. El punt clau d'aquesta guia és l'assignació d'una potència màxima del motor en funció de la velocitat de servei, la càrrega nominal i la tecnologia (elèctrica o hidràulica). Es determina, per tant, la potència directe màxima.



Taula 5-7: Potència màxima dels sistemes elevadors elèctrics.

Rated Load (kg)	Maximum Allowable Electrical Power (kW) of Traction Lift Systems for various Ranges of Rated speed (Vc) in m/s				
	Vc < 1	1 ≤ Vc < 1.5	1.5 ≤ Vc < 2	2 ≤ Vc < 2.5	2.5 ≤ Vc < 3
L < 750	7	10	12	16	18
750 ≤ L < 1000	10	12	17	21	24
1000 ≤ L < 1350	12	17	22	27	32
1350 ≤ L < 1600	15	20	27	32	38
1600 ≤ L < 2000	17	25	32	39	46
2000 ≤ L < 3000	25	37	47	59	70
3000 ≤ L < 4000	33	48	63	78	92
4000 ≤ L < 5000	42	60	78	97	115
L ≥ 5000	0.0083L+ 0.5	0.0118L+1	0.0156L+0.503	0.019L+2	0.0229L+ 0.5

Font: EMSD, 2000.

Taula 5-8: Potència màxima dels sistemes elevadors hidràulics.

Rated Load (kg)	Maximum Allowable Electrical Power (kW) under rated conditions
L < 1000 kg	28
1000 kg ≤ L < 2000 kg	53
2000 kg ≤ L < 3000 kg	75
3000 kg ≤ L < 4000 kg	97
4000 kg ≤ L < 5000 kg	121
L ≥ 5000 kg	0.0242L

Font: EMSD, 2000.

S'observa que en el cas dels sistemes elevadors elèctrics, el que s'està duent a la pràctica és l'establiment d'un rendiment mínim del 80% (fent ús de l'equació 5-2).

$$P_{NEP} = 9,81 \cdot \frac{B \cdot v_N}{\eta}$$

$$P_{NEP} = 9,81 \cdot \frac{1000 \cdot 2,5}{0,8} = 32kW$$

$$P_{NEP} = 9,81 \cdot \frac{2000 \cdot 1}{0,8} = 25kW$$

...

Pel que fa a la potència indirecte, fa recomanacions en referència a la desconnexió de grups i ascensors i a l'activació del mode stand-by. En aquest sentit s'ha de dir que la guia no profunditza tant com es deuria, degut a que tal i com s'ha fet constar durant tot el document, els consums indirectes són pràcticament els més importants.

5.3.2 Promoció d'un sistema d'etiquetatge energètic

Sens dubte, per a obtenir un increment de l'eficiència energètica global en un territori és imprescindible la conscienciació en matèria energètica de la població que hi viu. Així



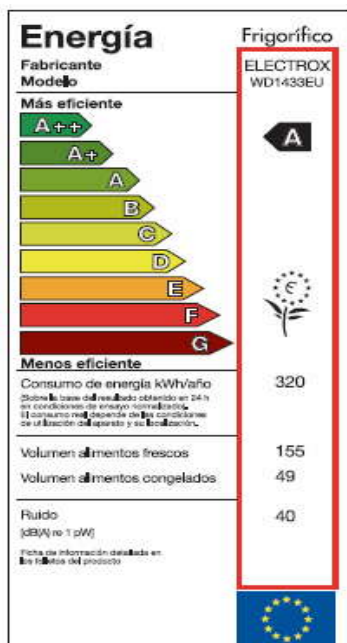
doncs, no n'hi ha prou amb obtenir un ascensor altament eficient mitjançant el conjunt de tecnologies que s'han descrit al llarg de l'estudi, sinó que l'objectiu final ha de ser el de l'aplicació de les tecnologies al mercat real dels ascensors. És a dir, és necessària una conscienciació de l'administració pública i dels ciutadans per a que s'instal·lin ascensors eficients enlloc dels convencionals.

Una de les possibles vies per a aquesta conscienciació pot ésser la implantació d'un sistema d'etiquetatge en els ascensors de manera que es classifiquin en rangs d'eficiència, que a més de conscienciar al ciutadà mitjançant dita classificació, pot donar lloc a un programa d'incentius econòmics via descomptes.

Aquest etiquetatge ja fa temps que s'aplica en els electrodomèstics i els aparells d'ofimàtica, el seu àmbit d'aplicació és europeu i constitueix una eina informativa al servei dels compradors d'aparells consumidors d'electricitat. Aquesta etiqueta és obligatòria en cada electrodomèstic posat a la venda. Així doncs, l'etiqueta energètica permet al consumidor conèixer de manera ràpida l'eficiència energètica d'un electrodomèstic.

A continuació es mostra un exemple d'etiqueta energètica d'un electrodomèstic (figura 6-5):

Figura 5-7: Etiqueta energètica d'un electrodomèstic.



Font: Guía práctica de la energía, Ministeri d'Indústria, turisme i comerç, 2007

Aleshores, es tracta d'aplicar en el camp de l'elevació el mateix concepte d'aparell eficient que s'ha aplicat en els electrodomèstics. No obstant això, l'etiquetatge en aparells elevadors és més complex que el d'electrodomèstics ja que l'elevador depèn energèticament de més variables que un electrodomèstic. Aquest fet es deu a que un mateix ascensor podria rebre una classificació diferent depenent de la funció que realitzi en un edifici. És a dir, el temps que es mantingui en espera o en funcionament. Així



doncs, un ascensor s'haurà d'etiquetar, a banda de les prestacions tècniques que incorpori com són les elèctriques i les mecàniques, en funció del seu ús.

Existeix un estudi sobre etiquetatge eficient d'ascensors per part de l'empresa alemanya Böhne + Partner GmbH en el qual es proposa l'etiquetatge d'ascensors en funció bàsicament de l'energia que consumeix l'ascensor en espera, i la que consumeix en funcionament segons es mostra a continuació:

Figura 5-8: Criteris energètics per a l'etiquetatge d'elevadors.

Classificació per la potència indirecte consumida

Potència en W	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	≤ 1600	> 1600
Classe	A	B	C	D	E	F	G

Classificació energètica per la potència directe consumida

Energia en mWh/m·kg	≤ 0,8	≤ 1,2	≤ 1,8	≤ 2,7	≤ 4,0	≤ 6,0	> 6,0
Classe	A	B	C	D	E	F	G

Font: Energieeffizienz von Aufzügen, Böhne + Partner GmbH, 2008

Tal i com es pot observar a la , els criteris seguits per a la classificació de l'eficiència dels ascensors és en primer lloc la potència indirecte, en Watts, que consumeix l'elevador en espera i, en segon lloc, la potència directe consumida per l'elevador, en mWh/m·kg, quan està en moviment.

A continuació es mostra un exemple de l'etiqueta proposada per l'empresa esmentada:

Figura 5-9: Etiqueta energètica proposada per a un elevador.

Fabricant:	<i>Hopman Köln</i>						
Adreça:	<i>Industrieweg 13, 51429 Bergisch Gladbach</i>						
Tipus i model d'ascensor	<i>Muntacàrregues, n°fabricació: 10063</i>						
Tracció:	<i>Elèctrica</i>						
Càrrega nominal:	<i>4400 kg</i>						
Velocitat nominal:	<i>0,5 m/s</i>						
Potència indirecte consumida: <100 W (Classe B)	Potència directe consumida: <0,8 mWh/m·kg (Classe A)						
Observacions:							
Classe Energètica							
A	B	C	D	E	F	G	

Font: Energieeffizienz von Aufzügen, Böhne + Partner GmbH, 2008

Així doncs, a tall de conclusió, el què es proposa és realitzar un etiquetatge energètic d'ascensors mitjançant les pautes donades al llarg de tot l'estudi per a classificar i promocionar els tipus d'ascensors existents de manera que el consumidor disposi d'informació per fer una valoració de l'eficiència de l'elevador que instal·larà i, per altra



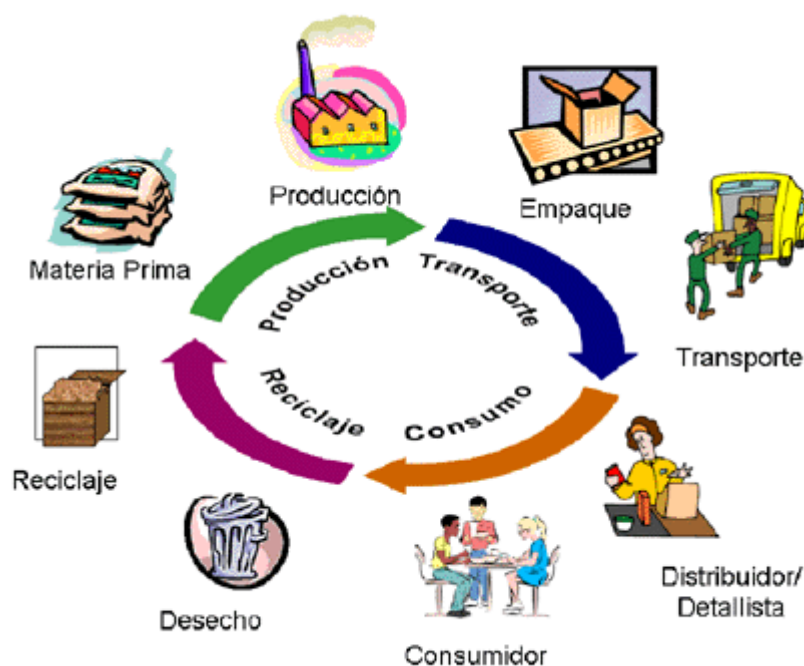
banda, serveixi com una eina a l'administració per tal de valorar i promocionar l'eficiència energètica existent al mercat real dels ascensors.

5.4 Estudi mediambiental

La intenció d'aquest estudi és la identificació de les mesures que es poden dur a terme per tal de reduir el consum energètic dels sistemes elevadors. La reducció del consum energètic d'un país o una regió porta amb sí una millora en el saldo comercial, una reducció de costos, etc., però l'objectiu primer de la reducció del consum energètic és, en principi, la reducció de l'impacte ambiental associat als consums energètics. Per tant, per a garantir l'eficàcia de la implantació d'un programa d'eficiència energètica per part de l'Administració, és necessari el desenvolupament d'un estudi d'impacte mediambiental, el qual permetrà tenir una visió general de les conseqüències.

Per tal de poder avaluar les mesures a prendre, la eina més adient en aquest cas seria l'anàlisi del cicle de vida (ACV) [36]. Segons la norma ISO 14040, el cicle de vida és un concepte que es refereix a les "etapes consecutives i interrelacionades d'un sistema o producte, a partir de l'adquisició de matèria primera o de la seva generació a partir de recursos naturals fins a la disposició final" del producte que es tracti. Entre aquestes etapes es destaquen l'extracció i l'adquisició de matèries primeres, l'ús del producte i la seva disposició final al concloure la seva vida útil per al seu usuari.

Figura 5-10: Fases del cicle de vida d'un producte.



Font: www.cegesti.org, 2008

La ISO 14040 estableix els principis per l'avaluació del cicle de vida del producte, partint de la consideració de que qualsevol producte, servei o activitat desenvolupat tindrà



aparellat un impacte sobre el medi ambient. L'essència d'aquesta norma és la necessitat de realitzar un inventari dels impactes ambientals associats als productes i avaluar-los, elaborant un informe que s'utilitzaria en la presa de decisions i fins i tot, en cas necessari, per a ser presentat a les parts interessades.

D'acord amb la ISO 14040, l'ACV consta de quatre fases:

- Primera fase: definició de la meta i l'abast.

La definició de la meta apunta a establir concretament per a què i per quin motiu es desitja fer l'ACV, i a qui es comunicaran els resultats que s'obtinguin de l'estudi. En el cas concret d'aquest estudi, el destinatari seria la pròpia Administració, i la finalitat seria la determinació de les implicacions mediambientals que tindria la implantació d'actuacions per la reducció del consum energètic als sistemes elevadors, per tal de proporcionar una visió de conjunt.

- Segona fase: anàlisi de l'inventari

Aquesta fase implica la recol·lecció i la quantificació de les entrades i sortides de matèria i energia corresponents del sistema producte sota estudi durant el seu cicle de vida. Tals entrades i sortides comprenen, entre unes altres, matèries primeres, material auxiliar, combustibles, carbó, derivats del petroli, fusta i energia elèctrica; emissions a l'aire, a l'aigua i al sòl; sorolls, vibracions, radiacions i calor. El procés de recol·lecció de les dades vinculades amb aquestes entrades i sortides és el nucli principal d'aquesta fase.

Per tant, en cas de promoure la implantació d'alguna actuació caldrà analitzar quines implicacions tindrà sobre el mediambient. Fins al moment, les dades orientatives que acompanyen a cada actuació permeten avaluar una part tan important de l'estudi mediambiental com és la que concerneix a les emissions de CO₂. Això es durà a terme mitjançant la dada d'emissions de CO₂ per kWh elèctric, que en el cas de Catalunya serà de 0,545 kgCO₂/kWh [35].

- Tercera fase: avaluació de l'impacte

Aquesta fase té per finalitat conèixer i avaluar la magnitud i la significació dels impactes ambientals potencials que podrien originar-se pel funcionament del sistema producte sota estudi. L'avaluació es realitza prenent com a base les dades obtingudes en la fase d'anàlisi de l'inventari. Se subratlla l'adjectiu potencials doncs en realitat aquesta fase no permet conèixer ni estimar la significació dels impactes ambientals reals o efectius derivats del sistema producte que s'estudia, en aquest cas, la implantació de mesures per l'increment de l'eficiència energètica als sistemes elevadors.

- Quarta fase: interpretació

És la fase que tanca l'ACV, i té summa importància pel que concerneix "l'exactitud" i "la transparència" de l'estudi d'ACV realitzat, dos punts que són d'interès per a qui desitgi conèixer els detalls referits a es suposicions adoptades en els casos que, per exemple, manquessin dades, o els hi hagués extraviat o no estiguessin disponibles en



el moment oportú. En ella s'utilitzen eines tals com les verificacions d'integritat, sensibilitat i coherència de les dades.

5.5 Estudi econòmic

Com tot pla d'actuació dut a terme des de l'Administració, la promoció d'un pla d'estalvi energètic en sistemes elevadors ha d'anar acompanyat per un estudi econòmic que el justifiqui.

Per tal d'avaluar econòmicament les actuacions, els paràmetres que s'han de tenir en compte són:

- Costos: estimació del cost econòmic de cada mesura, tenint en compte el grau d'implantació que previsiblement pot tenir cadascuna i el costos associats a la mateixa.
- Quantificació de l'estalvi energètic: als països amb una gran dependència energètica externa, com aquest cas, l'estalvi energètic té un gran impacte sobre el saldo comercial del mateix. Per tant, per tal d'avaluar la viabilitat econòmica d'una actuació concreta, s'ha de tenir en compte els beneficis econòmics que suposa l'estalvi energètic.
- Estalvi en les emissions de gasos d'efecte hivernacle: l'estalvi en les emisions d'efecte hivernacle comporta un increment de la competitivitat de les empreses quantificable amb el preu del mercat d'emissions, així com un increment del grau de compliment del protocol de Kioto, el qual es preveu que impliqui sancions pel seu incompliment.
- Especialització tecnològica: la utilització de tecnologies punteres al sector de l'elevació comportarà una avantatge comparativa de la indústria de l'elevació catalana, contribuint així a la transició en el model econòmic.
- Producció nacional: de la mateixa forma que a d'altres sectors (veure RD 661/2007), la utilització de tecnologia de fabricació nacional pot ser tinguda en compte a l'hora de fomentar determinades actuacions.



Conclusions

Un cop dut a terme l'estudi, on per una banda s'ha fet una anàlisi exhaustiva de l'estat de l'art dels sistemes elevadors durant els primers capítols, i posteriorment s'han analitzat les actuacions que es poden dur a terme per tal d'incrementar l'eficiència energètica d'aquests, s'extreuen les següents conclusions i recomanacions.

1. A Catalunya existeix un parc d'ascensors de més de 160.000 unitats, el que suposa un consum de 355 GWh/any. Aquest consum representa el 0,75 % del consum elèctric total.

D'aquest, aproximadament el 50% és directe, és a dir, que depèn de la utilització del sistema, i l'altre 50% és indirecte, el qual és independent del nivell d'utilització del sistema, i es produeix majoritàriament quan es troba en espera.

2. Per tal de reduir el consum energètic dels sistemes elevadors, s'han proposat una sèrie d'actuacions junt amb la seva valoració (veure apartat 4.8), entre les quals cal destacar:
 - a. Fer servir sistemes gearless que incorporin sistema de frenada regenerativa pot proporcionar un estalvi anual a Catalunya de 126GWh/any, el que suposa una reducció del 35% del consum dels sistemes elevadors en el seu conjunt.
 - b. La instal·lació de sistemes de control que incorporin mode stand-by, pot proporcionar un estalvi anual de 35GWh, el que suposa una reducció del 10%.
 - c. Fomentar la instal·lació de sistemes roomless enlloc de sistemes hidràulics pot suposar un estalvi anual de 93GWh (26%). Aquests sistemes competeixen al mercat pel mateix tipus d'instal·lacions (les que no disposen d'espai o tenen limitacions estructurals), per tant són substituïus.

Aquestes millores, depenent de les característiques de cadascuna, s'hauran de promoure entre els agents que intervenen al sector dels sistemes elevadors. A tal efecte, s'ha desenvolupat un estudi sectorial centrat a Catalunya, el qual s'exposa al capítol 5.

3. A més de la divulgació de les mesures exposades, a l'estudi es presenten dues eines per tal de promoure l'increment de l'eficiència energètica als sistemes elevadors:
 - a. Desenvolupament d'una guia tècnica.
 - b. Establiment d'un programa d'etiquetat similar al que s'aplica als electrodomèstics.
 - c. Fer un estudi de viabilitat sobre la possibilitat de retribuir els kWh introduïts a la xarxa pels sistemes de frenada regenerativa, millorant així la rendibilitat d'aquest tipus d'instal·lacions.



En aquest sentit, el què es considera més adient és realitzar un etiquetatge energètic d'ascensors mitjançant les pautes donades al llarg de tot l'estudi per a classificar i promocionar els tipus d'ascensors existents de manera que el consumidor disposi d'informació per fer una valoració de l'eficiència de l'elevador que instal·larà i, per altra banda, serveixi com una eina a l'administració per tal de valorar i promocionar l'eficiència energètica existent al mercat real dels ascensors.

Aquesta mesura és compatible amb l'estudi de viabilitat sobre la retribució de l'energia retornada a la xarxa procedent de la frenada regenerativa.

4. Punts pendents:

- a. Millorar el model de càlcul del consum energètic dels sistemes elevadors i fer recerca per tal d'incrementar l'ajust dels càlculs.
- b. Fer un estudi de viabilitat més exhaustiu de les propostes, tenint en compte tots els aspectes tècnics i econòmics. Aquesta seria convenient que es fes en col·laboració amb els agents del sector.
- c. Prendre mesures de sistemes elevadors reals, per tal de desenvolupar una base de dades completa que permeti avaluar les opcions d'una forma directa.



Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, *Guidelines on energy efficiency of lift and escalator installations*. Hong Kong: 2004
- [2] Antonio Miravete [et al.], *Elevadores: Principios e innovaciones*. Editorial Reverté: 2007.
- [3] *Real Decreto 2291/1985, de 8 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención de los mismos*. BOE 296 de 11-12-1985.
- [4] Harvey M. Sachs, *Opportunities for elevator energy efficiency improvement*. American Council for an Energy Efficient Economy: 2005.
- [5] Froi Villalobos, *Transporte vertical: Ascensores Hidráulicos*. GMV: 2008.
- [6] Dr. P. Rufer [et al.], *Supercapacitors as energy buffers: a solution for elevators and electric busses supply*. IEEE: 2002.
- [7] Oriol Boix Aragonès, Joan Rull Duran, *Màquines elèctriques*. Edicions UPC: 1998.
- [8] Jürg Nipkow; Max Schalcher, *Energy consumption and efficiency potentials of lifts*. Swiss agency for efficient energy use S.A.F.E., Zurich: 2005.
- [9] Carles Riba Romeva, *Màquines i mecanismes*. Edicions UPC: 2000.
- [10] Doolaad D A, *Energy consumption of different types of lift drive system*. Elevator Technology (e.d. G.C. Barney): 1992.
- [11] Schroeder, J. *The Energy Consumption of Elevators*. Elevator Technology (e.d. G.C. Barney): 1990.
- [12] *CIBSE Guide D – Transportation Systems in Buildings*. CIBSE: 2005.
- [13] Lutfi R. Al-Sharif, *Lifts energy consumption*. Elevator World: 1996.
- [14] Barney, G.C, *Energy efficiency of lifts: measurement, conformance, modelling, prediction and simulation*. Lift consulting: 2007.



-
- [15] Fernando Blanco Silva y José Grela Ramos, El sector de la instalación y el mantenimiento de ascensores y montacargas en Galicia desde el punto de vista de la competencia. TGDC: 2007.
- [16] ESTUDIO SOBRE EL SECTOR DE ASCENSORES. Observatorio Industrial del Sector de Bienes de Equipo: 2005.
- [17] LÍNEAS DE NEGOCIO EN INTERNET DEL SECTOR DE LA ELEVACIÓN. Gobierno de Aragón [et al.], 2003.
- [18] INSTALACIÓN DE ASCENSORES DURANTE EL AÑO 2007. FEEDA: 2008.
- [19] PLA DE L'ENERGIA 2006-2015. Generalitat de Catalunya: 2005.
- [20] La energía eléctrica por Comunidades Autónomas. Red Eléctrica de España: 2007.
- [21] *CIBSE Guide F – Energy efficiency in buildings*. CIBSE: 2004.
- [22] Ron Van Houten [et al.], *Reducing elevator energy use: A comparison of posted feedback and reduced elevator convenience*. Journal of applied behaviour analysis: 1981.
- [23] Dr-Eur.Ing. Gina Barney, *Towards Low Carbon Lifts*. Gina Barney Associates: 2007.
- [24] Adrian Shiner, *Energy saving in lifts instalations*. Kone Plc: 2008.
- [25] *Motors: Elevators*. Upper Peninsula Power Company: 2006.
- [26] Lufti Al-Sharif, *Elevator energy simulation model*. VTC Al-Sharif: 2004.
- [27] Sheng Nian Yeh [et al.], *Optimal efficiency analysis of induction motors fed by vvvf sources*. IEEE: 1992.
- [28] Eguíluz, L.I [et al.], *Eficiencia energètica y calidad de suministro*. Universidad de Cantabria.
- [29] *10 K Drive sistem for gearless elevators*. ThyssenKrupp Elevator Corporation, 2006.
- [30] Oriol Boix Aragonès [et al.], *Tecnologia elèctrica*. Editorial CEYSA: 2002.
- [31] Ashok B.Kulkarni [et al.], *A comparative evaluation of line regenerative and non-regenerative vector controlled drives for AC gearless elevators*. Thyssen Dover Elevator: 2000.



-
- [32]** *L'Ajuntament de Barcelona universalitza els ajuts per a la instal·lació d'ascensors.* Ajuntament de Barcelona: 2008.
- [33]** *The frequency-controlled hydraulic drive.* Elevator World, 1998.
- [34]** Huayong Yang [et al.], *New Investigation in Energy Regeneration of Hydraulic Elevators.* IEEE, 2007.
- [35]** UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT. *Informe MIES. Una aproximació a l'impacte ambiental,* Barcelona, 2005.
- [36]** Luís Trama [et al.], *Análisis del ciclo de vida según las normas de la subserie IRAM-ISO 14040,* Revista Construir: 2007.



A Annex

En aquest primer Annex es fa una síntesi de l'estat de l'art dels sistemes elevadors, així com la seva anàlisi energètica. La seva intenció és donar una visió general del funcionament d'aquests sistemes amb la finalitat d'aportar els coneixements bàsics per a afrontar el problema de la reducció del consum energètic.

A.1 Tecnologies

Avui dia la gran majoria dels sistemes d'elevació que s'instal·len es poden subdividir en dos grans grups tecnològics: els elèctrics i els hidràulics. En el mercat català i espanyol existeix una major tradició dels primers, encara que avui dia s'està produint un gran auge dels segons. En els següents apartats es duu a terme una descripció d'ambdós.

Tal com recull la bibliografia sobre sistemes elevadors [1], els sistemes hidràulics són pitjors des del punt de vista de l'eficiència energètica. Això es dona principalment degut al fet que durant la maniobra d'ascens es consumeix molta energia en donar calor al fluid de treball mentre assoleix la pressió suficient. A més, a partir de certa potència és necessària la instal·lació d'un sistema de refrigeració del fluid per tal d'evitar els sobreescalfaments. Això, sumat al fet que la immensa majoria dels sistemes hidràulics no presenten contrapesos, motiu pel qual la massa a desplaçar és el de la càrrega més el pes mort de la cabina, contribueix a que des del punt de vista de l'estalvi energètic no es recomani la instal·lació d'aquest tipus de tecnologia. No obstant això, hi ha situacions a les quals les circumstàncies obliguen que l'única opció viable tecnològicament sigui un sistema hidràulic.

A.1.1 Sistemes elevadors elèctrics

Els sistemes elevadors elèctrics (o de tracció) es caracteritzen per tenir un sistema de tracció normalment compost per un motor acoblat a un reductor (opcional), el qual al seu torn es connecta a una corriola o a un tambor d'enrotllament que proporciona el desplaçament necessari als cables que governen la cabina.

Els motors elèctrics més utilitzats són els de corrent altern, entre els quals es distingeixen els següents tipus:

- Asíncrons d'una velocitat
- Asíncrons de dues velocitats
- Asíncrons amb variador de freqüència
- Síncron amb variador de freqüència

Cadascuna d'aquestes tipologies s'explicaran en detall més endavant.

De forma general, un ascensor elèctric té l'estructura simplificada que es detalla a la Figura A-1. Una possible classificació dels seus components és la utilitzada a [2], que a continuació es detalla:

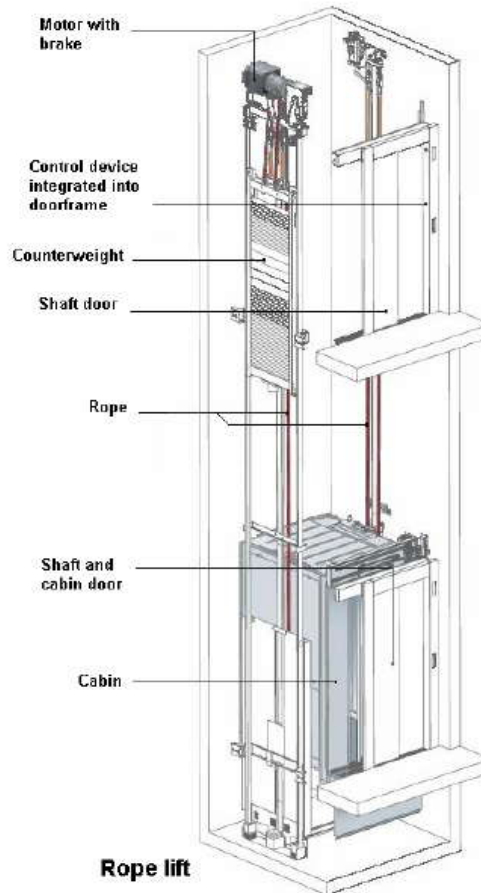
- a) Buit de l'ascensor, compostat per:
 - Espai tancat pel qual circulen cabina i contrapès.



- Portes d'accés.
 - Guies metàl·liques de cabina i contrapès.
 - Amortidors, situats al final de carrera tant de la cabina com del contrapès.
- b) Circuit de tracció, compostat per:
- Motor elèctric.
 - Fre electromecànic.
 - Transmissió (normalment vis sens fi - corona).
 - Corriola de tracció.
 - Corriola desviadora.
 - Eixos, suports i rodaments.
 - Carcassa metàl·lica.
- c) Circuit d'elevació, compostat per:
- Elements de suspensió de cabina i contrapès (cables d'acer).
 - Cabina, composta per:
 - Estructura (esquelet metàl·lic).
 - Plataforma de sòl.
 - Porta i mecanisme d'obertura de la mateixa.
 - Suports de les guies, dues en la part superior i dues en la part inferior.
 - Paracaigudes.
 - Ancoratges dels cables.
 - Contrapès, compostat per:
 - Peses.
 - Bastidor.
 - Ancoratges dels cables.
 - Suports en les guies (idènticament a la cabina).
 - Cable de compensació (per a ascensors de més de 25 m d'altitud).
- d) Circuit de paracaigudes, compostat per:
- Limitador de velocitat.
 - Cable d'accionament de paracaigudes.
 - Mecanisme paracaigudes.
 - Corriola tensora.
- e) Circuits auxiliars, entre els quals destaquen:
- Instal·lació elèctrica.
 - Circuit de força.
 - Circuit de seguretat.
 - Enllumenat.
 - Sistema de control.



Figura A-1: Sistema elevador elèctric.



Font: Schindler Aufzüge AG, 2005.

Tal i com s'observa a la Figura A-1, un esquema general de la cadena energètica d'un ascensor elèctric és la següent:



A continuació es detallen cadascun dels seus components:

a) Motor.

El motor, com és ben sabut és l'element encarregat de transformar l'energia elèctrica de la xarxa en energia mecànica, i constitueix, amb caràcter general, la porta d'entrada al sistema des del punt de vista energètic.

L'elecció del tipus de motor a instal·lar, en principi, depèn de les necessitats del servei que ha de donar. Generalment, en aquest procés de selecció intervien principalment criteris econòmics, en detriment dels energètics i mediambientals.



Per regla general, tal com es recull en [2], se sol complir el que disposa la Taula A-1.

Taula A-1: Característiques del grup tractor en funció de l'aplicació.

<i>Classe d'instal·lació</i>	<i>Velocitat de règim</i>	<i>Grup Tractor (màquina)</i>
Edificis baixos de vivendes	Fins a 0,7 m/s	Amb reductor y motor asíncron d'una velocitat
Edificis de vivendes alts i d'oficines	De 0,7 m/s fins a 1 m/s	Amb reductor i asíncron de 2 velocitats
Edificis d'oficines, comercials i hospitals	De 1 m/s fins a 2,5 m/s	Amb reductor i amb convertidor de freqüència, o de CC amb convertidor CA-CC
Edificis d'oficines o comercials amb tràfic intens.	Major de 2,5 m/s	Tracció directe i amb variador de freqüència
Muntacàrregues industrials, muntacamilles, etc.	Fins a 0,7 m/s	Amb reductor i motor asíncron d'una o dues velocitats

Font: Miravete [et al.] [2].

En la reglamentació vigent sobre sistemes elevadors (Reglament d'Aparells d'Elevació i Manutenció [3]), no es fa referència de forma explícita al motor, sinó que es fa referència al grup tractor en el seu conjunt, donant-li el nom de màquina.

b) Volant d'inèrcia.

La raó principal per la qual s'utilitzen aquests dispositius en els sistemes d'elevació, és la necessitat de delimitar la variació percentual de la inèrcia del sistema en funció de la seva càrrega, amb la finalitat d'aconseguir aturar l'ascensor dintre d'unes toleràncies de nivell determinades.

El frenat final d'un sistema elevador es duu a terme mitjançant un fre mecànic. Aquest és accionat mitjançant sabates que bloquegen un tambor. La pressió produïda per aquestes sabates és sempre la mateixa (la qual és ajustada per l'instal·lador), en conseqüència l'anivellat exacte solament es donarà per a una càrrega de la cabina determinada. Per a velocitats reduïdes ($v < 0,7$ m/s) l'anivellat oscil·la entre ± 5 cm, la qual cosa és acceptable per a habitatges, però no ho és per a muntacamilles, per exemple. Com a solució, existeixen els motors de dues velocitats, els quals poden prescindir del volant d'inèrcia degut a que es connecten en marxa curta (0,25 m/s) quan estan a punt d'arribar a la seva destinació, reduint així la seva energia cinètica facilitant l'anivellació durant l'aturada. Tot i això, quan la velocitat nominal és gran i la massa de la cabina és petita, igualment s'instal·len volants d'inèrcia per tal de suavitzar el canvi sobtat del parell en el moment de canvi de velocitat ràpida a lenta.

c) Fre.

El fre és el dispositiu encarregat d'aturar el sistema elevador quan el motor deixa de ser alimentat elèctricament. La raó d'ésser d'aquest dispositiu és la d'aturar totalment el sistema al final de la maniobra (o en cas de fallida del subministrament elèctric).



Aquest sistema sol estar acoblat a l'eix del vis sens fi (en cas que l'hi hagi), actuant en molts casos d'enllaç entre el reductor i el motor. El seu funcionament consisteix en la pressió de dues sabates contra un tambor solidari a l'eix referenciat. La pressió exercida per aquestes sabates es controla mitjançant dues molles regulables.

És necessari matisar que la tasca de "frenar" el conjunt en les maniobres excedentàries d'energia (descens amb càrrega, ascensió en buit), és duta a terme pel motor, que en aquest cas actuaria com fre.

d) Reductor.

L'objectiu del reductor és el d'adaptar les prestacions del motor (de velocitat elevada i parell reduït) a les de l'equip d'elevació (velocitats reduïdes i parells elevats). Avui dia existeixen els motors denominats *gearless* els quals, tal com es veurà a l'apartat 0, no requereixen la incorporació d'aquest tipus de dispositius. La utilització d'aquest tipus de motors encara no està molt estesa, encara que la seva aplicació és creixent avui dia principalment per a aplicacions d'alta velocitat ($v > 2$ m/s) i altes prestacions de comoditat.

Per norma general, els reductors s'instal·len entre el fre i la politja de tracció. El sistema més àmpliament utilitzat és el vis sens fi - corona, el qual es justifica pels següents avantatges:

- És la més compacta pels nivells de reducció i potència donats.
- Presenta un nombre molt reduït de peces mòbils, reduint així les necessitats de manteniment i recanvi.
- És molt silenciosa.
- Presenta una elevada resistència a l'impacte, la qual cosa és clau en el cas d'un elevador.
- Es pot dissenyar de manera que sigui irreversible.

Per contra, aquest tipus de sistemes presenten un rendiment comprès entre el 0,4 i el 0,60, el qual és molt rellevant des del punt de vista de l'eficiència energètica. Actualment s'està estudiant la implantació de reductors planetaris (trens epicicloïdals), els quals poden proporcionar una eficiència propera al 0,9.

e) Politja de tracció.

La politja de tracció, tal com el seu nom indica, és l'element encarregat accionar el cable, transmetent per tant el parell que surt del reductor.

Aquests elements disposen de tres paràmetres clau: diàmetre, perfil i material de construcció. La combinació d'aquests ha de proporcionar a la corriola l'adherència suficient així com durabilitat i fiabilitat.

El rendiment típic d'aquest tipus de transmissions està comprès entre un 0,8 i un 0,9. Les pèrdues són conseqüència del lliscament funcional, fenomen que consisteix en el lliscament del cable en la zona de màxima tracció de la politja.

f) Cabina i contrapès.

Tal i com es pot apreciar a la Figura A-1, la cabina i el contrapès componen el sistema de masses que ha de desplaçar el grup tractor.

Pel que es refereix a la cabina, aquesta es pot definir com l'element raó d'ésser del sistema elevador, sent l'encarregada de transportar la càrrega (passatgers en el cas dels



ascensors). En la seva composició es poden distingir d'una banda el bastidor i per un altre la caixa. El primer té una funció estructural, proporcionant al conjunt la resistència mecànica suficient per a suportar la càrrega que en ella s'introdueixi, així com les acceleracions a les quals es vegi sotmès el conjunt. Mentre que d'altra banda, el segon fa la funció d'habitacle.

Pel que fa al contrapès, aquest té la funció d'equilibrar el sistema. Per norma general, l'elecció de la massa m del contrapès és tal que minimitza la potència requerida pel grup tractor. Fent ús de la simplificació de considerar una distribució equiprobable d'entrada de càrrega en la cabina (compresa entre 0 i la càrrega nominal), s'obté que la massa m que optimitza el problema de minimització de la potència requerida és tal que suposi la meitat de la càrrega nominal de la cabina més la tara de la mateixa.

A.1.2 Sistemes elevadors hidràulics

Tal com s'ha fet referència en la introducció d'aquest apartat, la utilització dels sistemes elevadors hidràulics està menys estesa que la dels ascensors elèctrics, encara que algunes de les seves característiques han permès la seva major implantació durant els últims anys, ocupant un percentatge molt gran dels sistemes elevadors de nova instal·lació. Aquest fenomen està generalitzat a nivell internacional, arribant casos com en Estats Units, país en el qual es va iniciar fa més temps, en el qual el percentatge de sistemes hidràulics respecte al total suposa aproximadament el 75% [4].

Pel que fa a l'aplicabilitat d'aquesta solució, és necessari ressaltar que existeix una limitació en altura màxima, la qual pot arribar a ésser d'uns 30m. Aquest fet, en ciutats com les espanyoles únicament afecta al 10% dels edificis, sent viable l'aplicació de sistemes elevadors hidràulics al 90% restants [5].

El grup tractor més habitual sol estar compost per motors asíncrons d'una velocitat, els quals poden ser d'arrencada directe o d'arrencada estrella-triangle. Més recentment s'estan introduint puntualment sistemes tractors controlats per convertidors estàtics que permeten variar la velocitat, obtenint estalvis energètics de l'ordre del 40%.

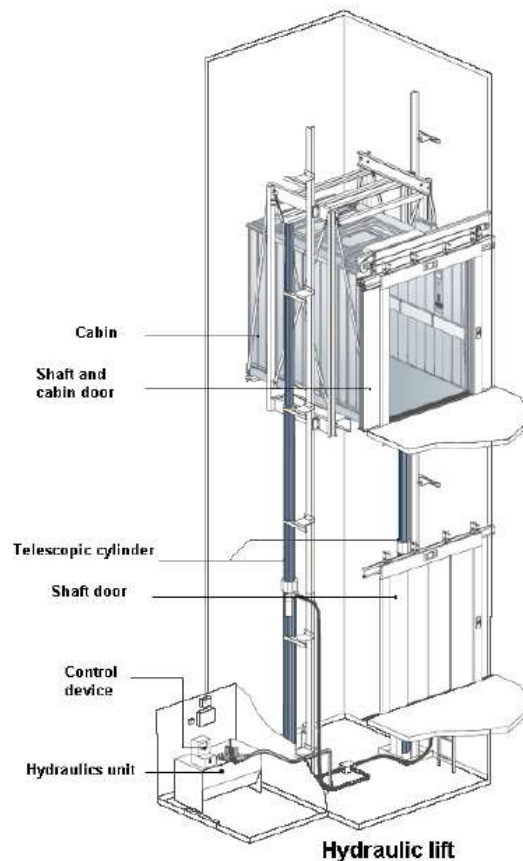
De forma general, un ascensor hidràulic té l'estructura mostrada a la . Cal destacar que el circuit hidràulic és tancat, i que per tant és necessària la instal·lació d'un dipòsit d'oli. L'esquema de components és similar al d'un sistema elèctric, encara que amb certes diferències que a continuació es detallen:

- La impulsió es porta a terme mitjançant un pistó hidràulic, pel que el circuit de tracció es compon únicament del conjunt motor-bomba, el dipòsit d'oli i la caixa de vàlvules.
- En molts casos el moviment es porta a terme mitjançant l'actuació directa del pistó a la cabina en un lateral (directe o diferencial) o en la part inferior (directe o telescòpic), pel que el circuit d'elevació se simplifica al prescindir del contrapès. Aquest fet no implica que existeixin algunes instal·lacions d'ascensors hidràulics amb contrapès tal com es veurà en els següents apartats.
- Segons la norma EN 81.2 no precisen de paracaigudes en el xassís.

A continuació es presenta una comparativa dels avantatges i desavantatges dels sistemes elevadors hidràulics enfront dels elèctrics (Taula A-2).



Figura A-2: Sistema elevador hidràulic.



Font: Schneider Aufzüge, 2005.

Taula A-2: Avantatges i desavantatges dels sistemes elevadors hidràulics.

Sistemes elevadores hidràulics	
Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ No es necessita sala de màquines a la part superior de l'edifici. ▪ La càrrega es transmet directament a la fonamentació de l'edifici, sense sobrecarregar l'estructura. ▪ L'aprofitament de l'espai és major, gràcies a la falta de contrapès així com a la llibertat en la ubicació de la cambra de màquines (sobretot als d'acció directa). La central hidràulica fins i tot es pot instal·lar en el buit. ▪ El muntatge és més senzill i es redueix la perillositat per als operaris durant aquesta fase. ▪ No requereixen paracaigudes en el xassís. ▪ Impossibilitat d'atrapament d'usuaris entre pisos. Descens per gravetat mitjançant obertura d'electrovàlvula de baix consum (funcionament amb bateria). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Major cost d'instal·lació (la tecnologia, si entrar en detall de circumstàncies concretes). ▪ Major potència a instal·lar per a les mateixes prestacions (no duen contrapès). ▪ Les velocitats de treball són més reduïdes. ▪ Dependència respecte a la temperatura de l'oli, que en ocasions requereix refrigeració. ▪ En general un major consum energètic.

Font: CITCEA, 2008.



Pel que fa a la cadena energètica, tal com s'observa en la Figura A-2, es compona dels següents elements:



A continuació es detalla cadascun dels seus components:

a) Motor.

Anàlogament als sistemes elevadors elèctrics, el motor és un element clau en el grau d'eficiència energètica del sistema. Aquest, per motius constructius, és habitual que formi un conjunt únic i estanc amb la bomba. Quan no és així, el motor i la bomba solen estar connectats mitjançant una corriola.

Les tipologies més esteses de motorització en els sistemes hidràulics són l'asíncron amb arrencada directa i l'asíncron amb arrencada estrella-triangle. Avui dia, a més dels dos anteriors, tal com s'ha comentat abans, es comencen a estendre els motors asíncrons controlats per convertidors estàtics de freqüència.

b) Bomba.

La bomba és l'element encarregat de convertir l'energia mecànica proporcionada pel motor en energia hidràulica. El més habitual és que s'utilitzin bombes de tipus volumètric (de pistons, engranatges o de cargol) als requeriments de pressió per al funcionament del sistema (entre 2,5 i 3 MPa).

La ubicació més habitual de les bombes és a l'interior del dipòsit d'oli.

c) Conductes.

Els conductes són els elements encarregats de connectar entre si els dispositius que conformen el circuit hidràulic. La seva selecció ha de ser tal que sigui capaç de suportar les elevades pressions requerides en l'interior del circuit, garantint un marge de seguretat mínim i unes pèrdues de càrrega acceptables.

d) Bloc de vàlvules.

El bloc de vàlvules és l'element encarregat de controlar el moviment del sistema elevador, proporcionant o extraient pressió al circuit. Pot ser mecànic o electrònic, sent més habitual avui dia el segon. El control sobre el bloc de vàlvules és dut a terme pel quadre de maniobra.

Segons la seva complexitat, existeixen diferents tipologies de control de les vàlvules, així com un menor o major nombre d'aquestes. Al seu torn, disposa d'un comandament accessible que permet accionar manualment una vàlvula de descens amb l'objectiu de dur l'ascensor a una posició des de la qual es pugui evacuar al passatge amb seguretat en cas de fallida de subministrament. En cas de tractar-se d'un bloc de vàlvules electrònic, aquest disposarà d'una bateria auxiliar per a accionar les vàlvules en cas d'emergència.



e) Pistó hidràulic.

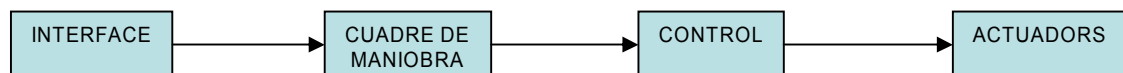
El pistó hidràulic és l'element encarregat de l'accionament de la cabina. Aquest pot ser directe o indirecte. El directe, tal com el seu nom indica, consisteix en l'accionament del pistó directament sobre la base de la cabina, unint sengles elements mitjançant una ròtula esfèrica o mitjançant un sistema cardan. L'accionament indirecte (o diferencial) per contra, consisteix en la impulsió de la cabina mitjançant cables i politges, essent el ràtio de desplaçament cabina/pistó de 2:1.

Per a evitar els efectes nocius de la filtració de les pèrdues d'oli inevitables en aquest tipus de sistemes, entre altres mesures, es pren la d'instal·lar una safata en concepte de recollidor en la base del cilindre.

A.2 Accionament dels sistemes elevadors

En aquest apartat s'analitzen els diferents sistemes de propulsió que s'instal·len en ambdues tipologies de sistemes elevadors: elèctrics (o de tracció) i hidràulics. Aquesta anàlisi consistirà en la descripció general de cadascun dels sistemes de propulsió així com el seu control i la seva connexió.

El concepte de "control" fa referència al sistema de control de posició i de velocitat, que actua sobre els diferents dispositius (màquina i fre principalment). En el capítol de "Trànsit vertical" s'aprofundeix en major grau en el camp de la maniobra.



A.2.1 Accionament dels sistemes elevadors elèctrics

L'esquema general de funcionament dels sistemes elèctrics és el representat a la Figura A-1. Pel que es refereix al sistema de propulsió, es considera que està compost pel conjunt motor-reductor. Per a fer referència a aquest conjunt, a la reglamentació s'utilitza el terme de màquina.

A continuació es proporciona una visió general de les diferents tipologies de màquines que hi ha en el mercat, classificant-les en funció del tipus de motor i descrivint la seva connexió elèctrica així com el seu control.

A.2.1.1 Màquina amb motor de corrent altern.

A.2.1.1.1 Màquina amb motor d'inducció.

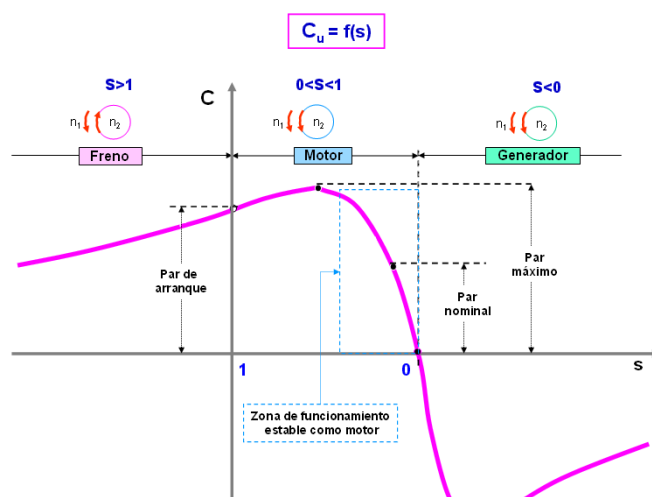
Les màquines amb motor d'inducció (o asíncron) han estat àmpliament utilitzades en la història dels ascensors, representant avui dia un percentatge elevat del parc en actiu. La clau de l'èxit del motor asíncron en el camp dels ascensors és essencialment la mateixa que en la resta de la indústria: la seva senzillesa. Aquesta està present tant en la seva construcció com en la seva vida útil (no requereix tant manteniment com altres tipus de motors).



Aquest tipus de motors estan compostos com tota màquina elèctrica dinàmica rotativa, per un estator i un rotor. El rotor, en aquest cas, està compost per una sèrie d'espines que normalment per a aquest tipus d'aplicacions són accessibles. El seu funcionament consisteix, a grans trets, en la creació d'un camp magnètic rotatiu a l'estator que al seu torn induïx corrents al rotor. L'existència d'aquestes comporta l'aparició d'una força sobre el rotor, que tendirà a seguir el camp magnètic giratori de l'estator sense arribar mai a adquirir la seva velocitat (només idealment).

Com tota màquina elèctrica, les màquines d'inducció poden treballar tant com de motor com de generador. A la Figura A-3 es representa la corba característica parell-velocitat, on s'observa en règim permanent el comportament de la màquina tant si rep potència mecànica (generador) com si la produeix (motor).

Figura A-3: Corba característica de la màquina asíncrona.



Font: Juan Luís Hernández (www.tuveras.com), 2007.

Característiques del funcionament com motor:

- Es produeix un parell sobre el rotor.
- Velocitat menor a la de sincronisme ($s < 1$).
- Consum de la xarxa de potència activa i reactiva.

Característiques de funcionament com generador:

- El rotor proporciona un parell.
- Velocitat major a la de sincronisme (el qual no implica que la freqüència injectada en la xarxa sigui major a la d'aquesta).
- Generació de potència activa i consum de potència reactiva, necessària per a magnetitzar el rotor.

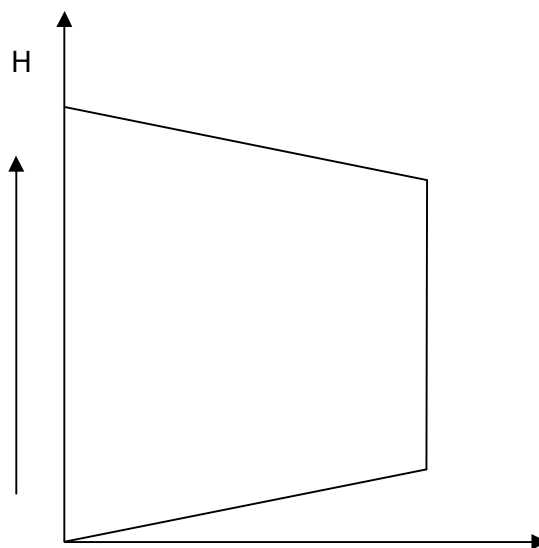


Dintre de les màquines amb motor asíncron s'apliquen quatre tipologies:

a) Màquina amb motor asíncron d'una velocitat:

El motor consta d'un estator amb 4 pols, pel que la seva velocitat nominal de funcionament és de 1500 min^{-1} . S'utilitza en aplicacions amb velocitats de funcionament menors a $0,7 \text{ m/s}$, degut al fet de que per a velocitats superiors l'error en l'anivellació que s'obté és massa elevat. El control dels mateixos és del tipus tot o res mitjançant contactors. Per a potències relativament elevades s'utilitzen sistemes d'arrencada tipus estrella triangle. En ocasions també s'afegeixen resistències en sèrie durant les fases d'arrencada i aturada.

Figura A-4: Diagrama de velocitat-recorregut per a motors de 1v.



Font: CITCEA , 2008.

b) Màquina amb motor asíncron de dues velocitats.

El motor consta d'un estator amb dos conjunts de pols, el que permet el funcionament a una velocitat lenta o ràpida depenent de com dels dos estigui connectat.

Aquest sistema pot ser utilitzat en aplicacions amb velocitats fins a 1 m/s , degut al fet que l'activació de la velocitat lenta en el moment de la detenció permet un bon ajustament d'anivellació.

Les combinacions més habituals de pols (p) solen ser de $4p$ (1500 min^{-1}) i $24p$ (250 min^{-1}), $4p$ i $18p$ (333 min^{-1}), i $4p$ i $16p$ (375 min^{-1}). Funcionant a velocitats massa baixes el comportament polsant del parell pot ser un problema. El control del sistema de nou és del tipus tot o res mitjançant contactors. Igualment per a potències relativament elevades s'utilitzen sistemes d'arrencada tipus estavella triangle i resistències en sèrie.

L'esquema de connexió d'aquesta tipologia d'elevadors és anàleg al dels sistemes de 1v amb la diferència que existeix un commutador trifàsic en l'entrada del motor governat pel

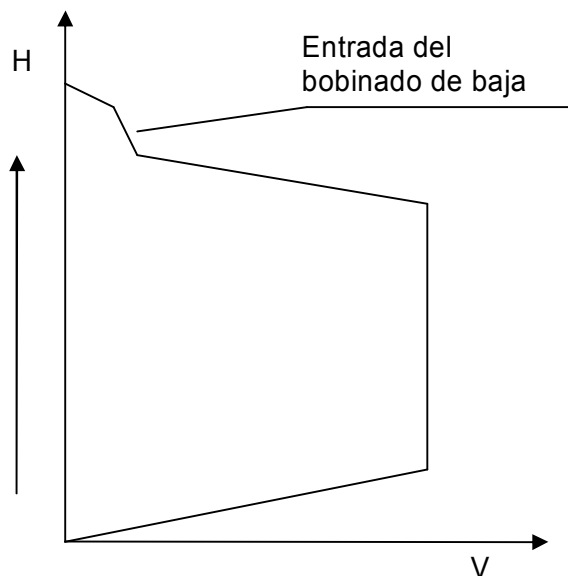


quadre de maniobra, que permet fer el canvi de bobinatges per a passar de velocitat ràpida a velocitat lenta.

c) Màquina amb motor asíncron amb variador de freqüència VVVF.

Aquest tipus de màquines consisteixen en motors d'inducció controlats per convertidors estàtics que permeten la variació tant de la tensió com de la freqüència d'alimentació.

Figura A-5: Diagrama de velocitat-recorregut per a motors de 2v.

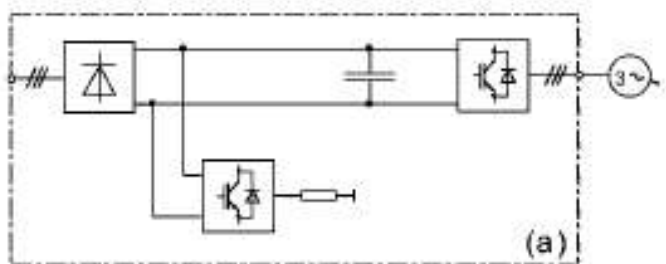


Font: CITCEA , 2008.

Aquesta tecnologia permet el funcionament en un rang molt ampli de velocitats, i es pot instal·lar tant en motors amb reductor com en motors sense reductor, així com en motors de 1v i en motors de 2v.

Les diferents estratègies de modulació, al seu torn permeten implementar sistemes de control sofisticats que redueixen les sobreintensitats i incrementen el confort dels usuaris. A més, tal i com es veu al capítol 4, aquesta tecnologia és molt més eficient des del punt de vista energètic, sobretot en el cas d'incorporar-hi sistemes regeneratius.

Figura A-6: Esquema de connexió de motors controlats per convertidors de freqüència.



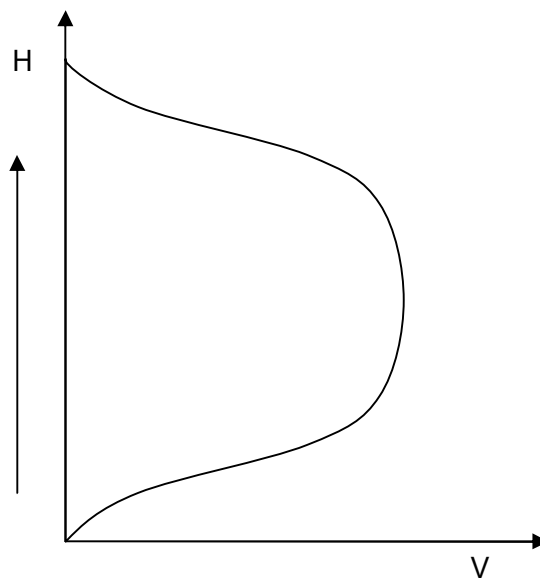
Font: Rufer [et al.] [6] , 2008.



d) Màquina amb motor asíncron amb variador de tensió VV.

Durant un temps es van instal·lar sistemes d'elevació amb aquesta tecnologia, el principi de funcionament de la qual consisteix en el retallat d'ona aconseguit mitjançant el dispar de 3 parells d'interruptors SCR connectats en antiparal·lel. Avui dia aquests sistemes han estat desbancats pels VVVF, que permeten a més del control de la tensió, el control de la freqüència, aconseguint una reducció del consum energètic així com un increment de la qualitat de subministrament de la xarxa.

Figura A-7: Diagrama de velocitat-recorregut per a motors controlats per convertidor de freqüència.



Font: CITCEA , 2008.

A.2.1.1.2 Màquina amb motor síncron.

L'aplicació de motors síncrons a la indústria de l'elevació és relativament recent. Aquesta està molt lligada al desenvolupament dels convertidors estàtics, a causa de la seva naturalesa de funcionament.

Figura A-8: Motor brushless per ascensors.



Font: LEROY-SOMER , 2008.

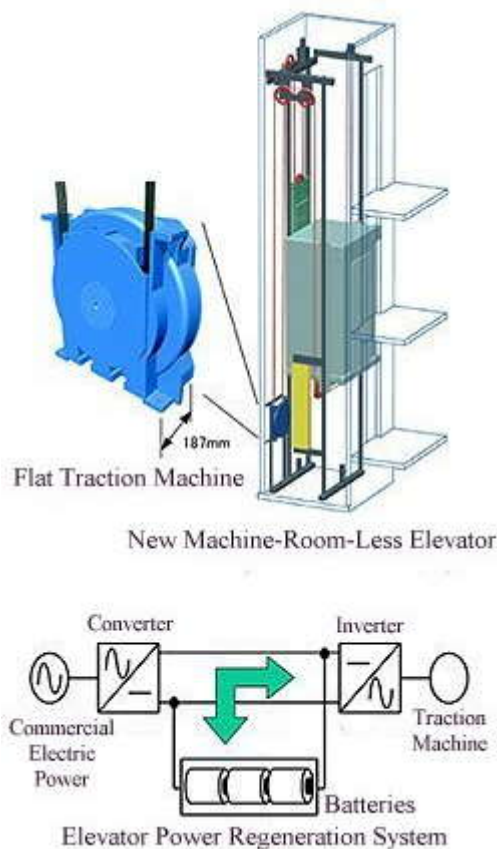


Els motors síncrons, de la mateixa forma que els asíncrons, disposen d'un rotor i d'un estator en el qual hi ha disposat un cert nombre de parells de pols. Pel que es refereix al rotor, aquest consisteix en un camp magnètic constant, que s'obté mitjançant un imant permanent o mitjançant una bobina alimentada elèctricament.

El funcionament d'aquests motors consisteix en la creació d'un camp magnètic rotatiu a l'estator, el qual en aquest cas és seguit pel camp creat en el rotor sense lliscament algun. Per tant el motor sempre girarà a la velocitat de rotació del camp magnètic de l'estator, coneguda com a velocitat de sincronisme.

En cas que el parell sol·licitat a la màquina sigui major del que pot oferir, la màquina es detindrà, fenomen que es coneix com a pèrdua de sincronisme. Aquest fenomen es dona en cas que l'angle de desfasament entre el camp magnètic de l'estator i del rotor excedeixi de cert valor, donant lloc a l'aparició d'una velocitat relativa entre ambdós camps.

Figura A-9: Ascensor roomless amb sistema regeneratiu.



Font: Mitsubishi Electric Co., 2001.

Així mateix el fenomen de la pèrdua de sincronisme és motiu de problemes d'arrencada d'aquest tipus de motors. Si partint del sistema en repòs s'alimenta l'estator directament de la xarxa, la velocitat del camp magnètic d'aquest crearà una velocitat relativa igual a la velocitat de sincronisme. En conseqüència el motor, el qual té una inèrcia diferent de zero, no arrencarà. Per tant, per a arrencar aquest tipus de motors és necessari un equip auxiliar que porti el motor a la velocitat de sincronisme o un sistema de control electrònic que variï la freqüència d'alimentació, modulant aquesta de forma progressiva durant la fase d'arrencada.



La utilització de sistemes de control electrònic, normalment convertidors estàtics, al seu torn permet prescindir del reductor donant lloc a la tipologia de màquines tipus *gearless*. Aquesta tipologia de màquines sol tenir una arquitectura interna tal que permet prescindir d'alimentació al rotor. En aquest cas, els motors reben el nom de *brushless*, degut al fet que la creació del camp magnètic del rotor mitjançant imants permanents permet prescindir de les escombretes (*brush*), que amb l'arquitectura convencional són les encarregades d'alimentar el rotor amb corrent continu.

Aquesta tecnologia permet obtenir un grau elevat de confort a conseqüència de la suavitat de les maniobres, així com un estalvi energètic considerable i una major compacitat del conjunt. Això redueix tant l'espai requerit en la sala de màquines com a la càrrega que ha de suportar. Recentment, tal com es veurà en els següents capítols, s'estan començant a instal·lar equips anomenats *roomless*, degut al fet que la compacitat de la màquina permet que sigui emplaçada en el propi buit o fins i tot al conjunt de la cabina, rebent el nom de sistemes autopulsats.

El diagrama velocitat-recorregut i l'esquema de connexió són anàlegs als propis dels sistemes amb màquina d'inducció controlada per convertidor estàtic VVVF (veure Figura A-7). Igualment permeten la instal·lació de sistemes regeneratius.

A.2.1.2 Màquina amb motor de corrent continu.

Igualment que les altres màquines elèctriques rotatives, el motor de contínua disposa d'una sèrie de bobinatges a l'estator i d'un al rotor, que d'igual forma que en la màquina síncrona consisteix en un camp magnètic permanent. En els motors utilitzats per a sistemes d'elevació, el camp magnètic rotatiu a l'estator s'obté mitjançant un sistema de commutació, compost pel col·lector de delgues i les escombretes.

Pel que fa a l'alimentació en corrent continu, la forma més habitual avui dia és mitjançant rectificadors, que consisteixen en ponts de tiristors governats per sistemes de control més o menys complexos en funció de l'aplicació.

Actualment els motors de corrent continu pràcticament estan desapareguts del mercat d'ascensors i de sistemes elevadors en general, encara que una part important del parc d'elevadors amb velocitat d'operació major als 2 m/s segueix sent d'aquesta tipologia. Les prestacions pel que es refereix al confort són molt competitives, el qual és la pedra angular dels elevadors propulsats per motors de corrent continu. Això és degut al fet que l'acceleració/desacceleració de la cabina pot ser fàcilment controlada degut a que proporciona un parell elevat a baixes velocitats. El diagrama velocitat-recorregut serà per tant equivalent a l'obtingut mitjançant els sistemes AC controlats per convertidors estàtics VVVF (veure Figura A-7).

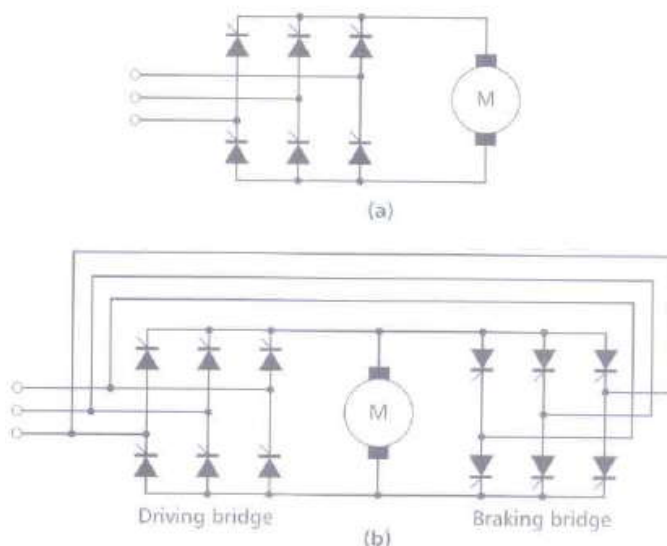
Per contra, els motors de corrent continu tenen una grandària considerable i en general són bastant més cars. A més, la presència de les escombretes comporta un manteniment i una problemàtica que sumades a l'elevat nivell de soroll que produeixen, constitueixen un greu inconvenient.

Una tipologia de motors de corrent continu són els de tipus DC M-G, més coneguts com *Ward Leonard*. En aquests sistemes el subministrament de corrent continu s'obté mitjançant el següent procés: l'energia elèctrica es converteix en energia mecànica, per a convertir-se de nou en energia elèctrica DC, que al seu torn alimentarà a un motor que la convertirà de nou en energia mecànica (veure Figura A-11). S'observa que des del punt de vista energètic aquests motors són els menys eficients, i la seva utilització avui dia és



molt reduïda (l'alimentació dels motors de contínua ha estat substituïda per convertidors), encara que gran nombre dels edificis molt alts (més de 15 plantes) a Catalunya, construïts fa més de 10 anys encara hi incorporen.

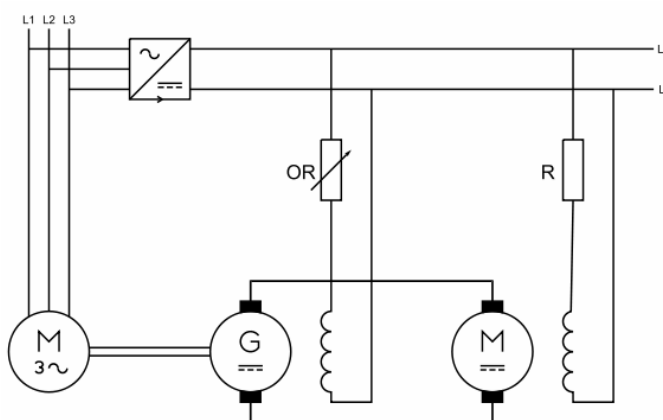
Figura A-10: Esquema de connexió dels motors de corrent continu, a) Sense regeneració b) Amb regeneració.



Font: CIBSE GUIDE D, 2005.

Un dels punts més negatius des del punt de vista energètic d'aquests sistemes és que quan es troben aturats, el motor que mou el generador de corrent continu segueix girant. Això implica un consum indirecte molt elevat.

Figura A-11: Esquema de connexió de motors de tipus Ward Leonard.



Font: Wikimedia Commons, 2007.



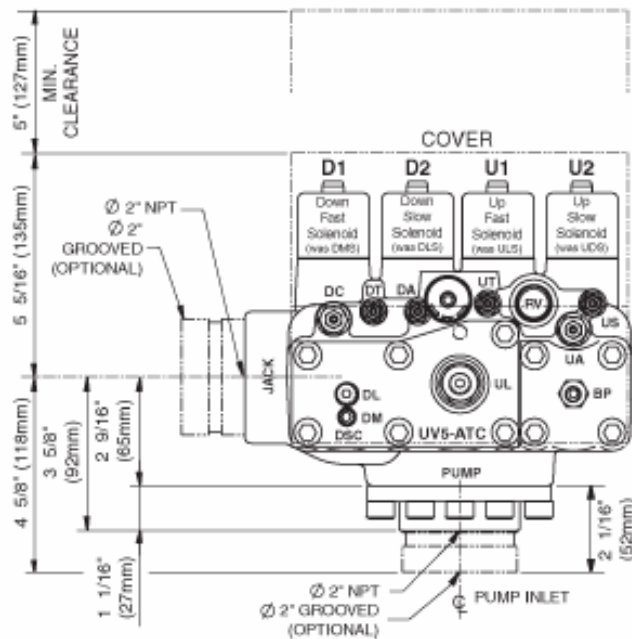
A.2.2 Accionament dels sistemes elevadors hidràulics

L'esquema general de funcionament dels ascensors hidràulics és el representat a la Figura A-2. Pel que es refereix al sistema de propulsió, a la indústria se li dona el nom de central hidràulica, i es considera que està compostat pel conjunt motor-bomba i el bloc de vàlvules.

Els motors més utilitzats en aquest tipus de sistemes elevadors són els d'inducció d'una velocitat descrita a l'apartat anterior. En cas que la potència sigui elevada (major a 15 CV) s'instal·len sistemes d'arrencada estrella-triangle que permeten la reducció del pic d'intensitat.

Una configuració molt habitual d'aquest tipus de sistemes consisteix en l'acoblament d'un volant d'inèrcia a l'eix del motor, la funció del qual és suavitzar l'aturada i proporcionar un ajustament acceptable. Altra estratègia que se segueix amb la mateixa finalitat és la instal·lació de vàlvules d'ajustament, les quals deixen circular un cabal molt menor al de la vàlvula de maniobra i entra en funcionament just abans de la detenció. Aquesta última opció és la majoritària a dia d'avui.

Figura A-12: Bloc de vàlvules.



Font: EECO, 2008.

Habitualment el bloc de vàlvules està dotat de 3 conductes: l'entrada d'alta pressió que prové de la bomba; la sortida d'alta pressió al cilindre; la sortida de baixa pressió al dipòsit.

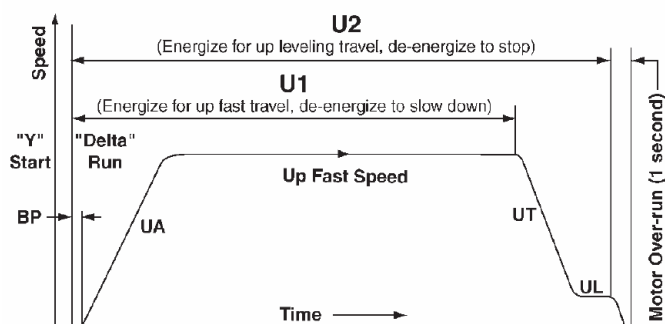
Interiorment, el bloc de vàlvules conté 4 vàlvules: vàlvula d'ascens ràpid U1; vàlvula d'ascens lent U2; vàlvula de descens ràpid D1; vàlvula de descens lent D2. Aquestes vàlvules habitualment són d'accionament mitjançant un solenoide, i es governen des del quadre de maniobra.

Durant la maniobra d'ascens es poden distingir dues fases: la fase d'ascens ràpid, durant el qual tant la vàlvula U1 com la U2 es troben obertes; la fase d'ascens lent, l'objecte de



la qual és l'anivellació correcta de la cabina i la major comoditat de maniobra per als ocupants, en el qual únicament es troba oberta l'U2.

Figura A-13: Maniobra d'ascens.



Font: EECO, 2008.

A causa del temps de reacció de les vàlvules inductives durant el trànsit de velocitat ràpida a velocitat lenta, la vàlvula U1 s'ha de tancar amb una antelació de 8-10 cm abans d'arribar al nivell del pis, i el motor ha de seguir bombejant fins passats 0,5s - 1s després del tancament de U2. Igualment per a les maniobres d'ajustament, necessàries de forma periòdica per les pèrdues de fluid hidràulic i els canvis de temperatura, s'obre únicament la vàlvula U2.

Durant la maniobra de descens es poden distingir igualment dues fases: la fase de descens ràpid, en el qual tant la vàlvula D1 com la D2 es troben obertes; la fase de descens lenta, l'objecte de la qual és l'anivellació correcta de la cabina i la major comoditat de maniobra pels ocupants, en la qual únicament es troba oberta la D2

A.3 Trànsit vertical

A l'hora de realitzar un estudi d'eficiència energètica, és evident que s'han de tenir en compte els aspectes constructius de la maquinària de l'ascensor, que en definitiva són els dispositius físics responsables del seu funcionament.

No obstant això, si es té en compte el sistema d'elevació en conjunt, és lògic pensar que la gestió del trànsit vertical juga un paper gens menyspreable en la consecució d'un major rendiment energètic i conseqüent estalvi d'energia. Una prova d'això es troba en el fet de que tots els models exposats a l'apartat A.4.5 tenen en compte, com element principal, el nombre de cicles (viatges) que realitza el sistema elevador, i no cal dir que el sistema de gestió del trànsit hi juga un paper molt important.

En aquest apartat es pretén donar una visió global dels paràmetres a tenir en compte en el disseny d'un sistema de gestió, els diferents sistemes que s'apliquen en l'actualitat i la demanda de funcionament de l'elevador per part dels passatgers en diferents tipus d'edificis segons les seves característiques pròpies de funcionament.

A.3.1 Diagrames de trànsit per sectors

El primer que s'ha d'analitzar a l'hora de dissenyar la gestió del trànsit vertical és el tipus d'edifici on s'instal·larà l'elevador i les seves necessitats d'ús. Així doncs, es pot realitzar



una classificació general dels diferents tipus d'edificis a tenir en compte de la següent manera:

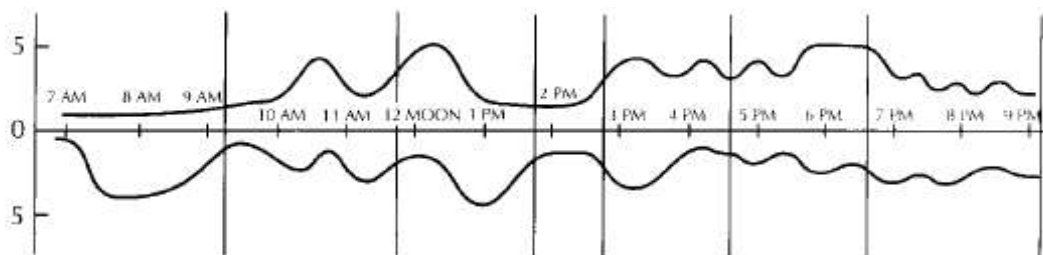
- Edificis residencials.
- Centres comercials.
- Centres hospitalaris
- Edificis d'oficines.

Segons la utilitat de cada edifici, es pot obtenir un diagrama del trànsit vertical, és a dir, una representació dels fluxos d'usuaris en una jornada.

Aquests diagrames són de gran utilitat a l'hora de realitzar un estudi del trànsit i la seva posterior gestió ja que es pot detectar visualment les hores de més/menys utilització de l'elevator així com les hores "pic" i "vall".

A mode d'exemple, la Figura A-14 representa un gràfic característic del trànsit en edificis residencials, on les ordenades representen el percentatge de la població estimada de l'edifici que arriba cada cinc minuts:

Figura A-14: Demanda característica en un edifici residencial.



Font: Miravete [et al.] [2].

A.3.2 Sistemes de gestió del trànsit estandarditzats

Així doncs, és fonamental una bona elecció del tipus de maniobra més adequada a cada tipus d'edifici i les seves necessitats. És per això que les grans companyies d'ascensors han estandarditzat una sèrie de sistemes de gestió del trànsit vertical.

Tot i que a l'hora de dissenyar un sistema de gestió òptim es podrien tenir en compte un gran nombre de paràmetres tals com: nombre de plantes de l'edifici, quantitat de persones que l'habituen, tipus d'edifici, sensors de presència, sensors de càrrega, etc. els sistemes més utilitzats actualment són els següents:

- Universal per polsadors.
- Universal dúplex.
- Col·lectiva - selectiva en descens amb memòria.
- Col·lectiva - selectiva en ambdues direccions amb memòria.

No obstant això, en grans edificis on el trànsit és previsible, i on es requereix aprofitar al màxim els desplaçaments dels ascensors en determinades hores del dia on les puntes de trànsit són elevades, s'han desenvolupat tot tipus de maniobres especialitzades i programades algorímicament per tal de satisfer la demanda originada. En aquest aspecte s'aprofundeix a l'apartat **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



En definitiva, a continuació s'expliquen cadascun dels sistemes enunciats anteriorment que, tot i que són els més habituals, no vol dir que siguin els més eficients ni a nivell energètic ni de qualitat de servei.

A.3.2.1 Maniobra universal per polsadors

Aquesta maniobra és la més senzilla de totes, consisteix en posar en marxa l'ascensor quan se li dona una ordre des de l'interior o l'exterior del mateix. Un cop en marxa, l'ascensor només obehirà la primera ordre donada, obviant i no registrant cap altra ordre que se li pugui donar des de l'interior o l'exterior. És a dir, l'ascensor es dirigeix directament allà on se l'ha sol·licitat sense realitzar cap parada intermèdia.

Aquest sistema és molt poc eficient tant a nivell energètic com en qualitat de servei ja que sempre realitzarà un viatge en buit amb el conseqüent malbaratament d'energia i temps que això comporta. A més a més, l'ascensor, en obviar les senyals externes durant el funcionament, provoca que quasi sempre viatgi una única persona, ja que no recollirà els passatgers que estiguin esperant a l'exterior.

A.3.2.2 Maniobra Universal Dúplex

Aquest sistema de gestió permet combinar dos ascensors però és extrapolable a la quantitat d'ascensors que es cregui convenient. La maniobra consisteix, bàsicament, en prioritzar el funcionament de l'ascensor que més a prop estigui del pis on s'ha realitzat la sol·licitud. Les condicions restrictives d'aquest sistema són les següents:

- La sol·licitud és atesa per l'ascensor que està lliure.
- Si estan lliures els dos ascensors, es prioritzarà el funcionament de l'ascensor que estigui més a prop de la planta sol·licitada.
- Si els dos ascensors estan en una mateixa planta, únicament es mobilitza un d'ells.

Aquesta maniobra se sol utilitzar en edificis amb un trànsit reduït, però que es pretén racionalitzar l'ús dels ascensors.

A.3.2.3 Maniobra col·lectiva selectiva en descens

En aquest tipus de maniobra, l'ascensor que vagi en pujada, només obeeix les ordres de l'interior de l'ascensor, registrant les ordres externes. Un cop l'ascensor arriba a l'estança més alta sol·licitada, canvia el sentit de la marxa, atenent les demandes internes i externes de l'ascensor ordenant-les de més alta a més baixa. A més a més, un control de càrrega impedeix que l'ascensor s'aturi si aquest ja està al límit de la seva capacitat.

El principal inconvenient d'aquest sistema es manifesta quan un usuari desitja dirigir-se a un pis superior. En aquest cas, l'usuari haurà d'esperar a que l'elevador estigui totalment lliure per poder accedir a un pis superior. Per aquest motiu, l'aplicació principal d'aquests sistemes es dona als edificis residencials, on el trànsit entre pisos és pràcticament menyspreable.

Aquest sistema s'implementa en edificis de vivendes o de servei mixt: amb oficines i vivendes i hospitals i hotels amb plantes de servei col·lectiva en els pisos baixos.



A.3.2.4 Maniobra col·lectiva - selectiva en els dos sentits amb memòria

Els edificis que incorporen aquest sistema d'elevació incorporen a cada planta un pulsador de pujada i un de baixada per tal de seleccionar la direcció desitjada. L'elevador registra totes les sol·licituds interiors i exteriors i va atenant totes les ordres en un mateix sentit de la marxa. És a dir, no canvia el sentit de la marxa fins que no ha atès l'ordre més extrema de pujada o de baixada. Un cop ha arribat a l'ordre més extrem i ha d'invertir el sentit de la marxa, atén la trucada més propera en l'altre sentit de la marxa.

El sistema també incorpora un sensor de càrrega que fa que l'ascensor no carregui cap altre passatger si aquest està funcionant a plena càrrega. D'aquesta manera s'evita fer parades innecessàries que suposen una pèrdua innecessària de temps i energia. Aquestes sol·licituds són registrades i ateses posteriorment.

A.4 Anàlisi energètica

La intenció d'aquest apartat és aprofundir pel que fa al consum energètic dels sistemes elevadors. Fins a aquest punt s'ha dut a terme una descripció de les diferents tecnologies disponibles, i al final d'aquest apartat s'exposen diferents metodologies que permeten estimar l'energia consumida segons la tecnologia utilitzada. Això permetrà valorar al proper capítol les mesures que es poden prendre per a incrementar l'eficiència dels sistemes. Al seu torn, es proporciona una comparativa entre les diferents tecnologies, el qual proporciona una visió general de la situació actual.

Els consums d'energia en els sistemes elevadors es poden dividir en dos grups fonamentals: els consums directes i els consums indirectes.

Els consums directes d'energia són relativament fàcils de determinar. Aquests són els consums d'energia elèctrica que poden determinar-se directament amb instruments de mesura en la connexió de l'elevador a la xarxa de subministrament elèctric, restant-li els consums indirectes determinats prèviament. La demanda d'energia en aquest punt conté la suma de la requerida per a desplaçar les càrregues així com totes les pèrdues generades en el sistema elevador. En un sistema ideal la suma de l'energia consumida per a pujar i baixar les càrregues en si, així com la de frenat i la d'acceleració de les mateixes és igual a 0, tal com es veurà als següents apartats.

Les pèrdues d'energia durant el funcionament d'un sistema elevador solen estar associades a processos que causen calor o desgast, i repercuteixen sobre la factura d'electricitat. La major proporció de calor es genera a la màquina, i especialment al motor.

Pel que es refereix als consums indirectes, aquests es poden dividir en dos tipus de naturalesa diferent: els derivats del funcionament del sistema que no depenen del seu nivell d'utilització (il·luminació, consums en stand-by dels components, etc.), i els que deriven de la construcció de tots els elements que componen el sistema elevador. En aquest estudi únicament es tindran en compte els primers, a causa de la complexitat que suposa la determinació dels segons, el que implica que aprofundir en aquest aspecte s'escapi de l'abast del mateix. Per altre banda, en el moment de realitzar un estudi amb major profunditat, aquests costos deguts al consum energètic durant la fase de construcció han de ser tinguts en compte. Una estimació dels mateixos podria consistir en buscar una relació amb el cost econòmic dels components. En moltes ocasions, les mesures que es prenen per a reduir el consum energètic tenen com a conseqüència una



reducció dels costos dels components. Per exemple, una demanda menor de potència implica un motor més petit, que serà més barat, així com una aparamenta de menor potència, unes línies de connexió de menor capacitat, etc.

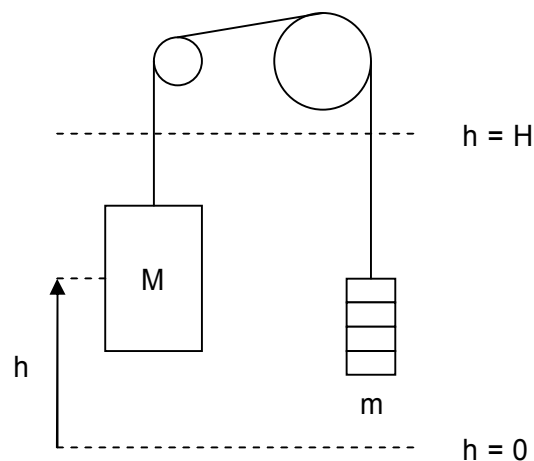
A.4.1 Anàlisi general

En aquest apartat es presenta un estudi energètic generalitzat dels sistemes elevadors, sense entrar en detall de cap tipologia en concret. Això permetrà aprofundir en la naturalesa dels consums que es donen en aquests sistemes, y facilitarà la identificació i quantificació de les mesures a prendre per tal de reduir-los.

A.4.1.1 Sistema ideal

De forma general, un sistema elevador es pot considerar un sistema mecànic amb un sol grau de llibertat.

Figura A-15: Representació simplificada d'un sistema elevador



Font: CITCEA, 2008.

Si es modelitza el sistema elevador com un sistema ideal sense pèrdues per fregaments i considerant nul·la la inèrcia dels seus components rotatius (Figura A-14), s'obté la següent expressió de l'energia potencial (prenent com variable del sistema la posició de la cabina h):

$$E_p(h) = g \cdot (h \cdot M + (H - h) \cdot m) \quad \text{(Equació A-1)}$$

On:

g 9,81 [m/s²]

h posició de la cabina [m]



M massa total de la cabina (cabina i ocupants) [Kg]

m massa del contrapès [Kg]

Pel que fa a l'energia cinètica, prenent com variable la velocitat de l'eix motor ω_{mot} , s'observa que serà la corresponent a la inèrcia reduïda del sistema:

$$Ec(\omega) = \frac{1}{2} \cdot I_{red} \cdot \omega_{mot} \quad \text{(Equació A-2)}$$

On:

I_{red} Inèrcia reduïda [kgm²]

ω_{mot} Velocitat angular de l'eix motor [rad/s]

La inèrcia reduïda del sistema permet englobar en un sol valor constant els efectes de les masses en moviment lineal (cabina i contrapès) així com les quals tenen un moviment rotacional. Considerant el sistema ideal representat en la Figura A-14, s'observa que al considerar nul·la la inèrcia dels components rotatius, la fórmula de l'energia cinètica queda de la següent forma:

$$Ec(v) = \frac{1}{2} \cdot (M + m) \cdot v \quad \text{(Equació A-3)}$$

On:

v velocitat lineal del sistema (dh/dt)

Fent ús del principi de conservació de l'energia (Equació A-4), i considerant el sistema ideal representat a la Figura A-14, el qual es considera que no té pèrdues ($E_{dissipada}=0$), s'obté que l'energia requerida per a realitzar una maniobra determinada (variació de **h**, amb velocitat inicial i final del conjunt nul·les) depèn, com és obvi, de la massa total de la cabina **M** i del contrapès **m** (Equació A-8).

$$Energia_{requerida} = Energia_{acumulada} + Energia_{dissipada} \quad \text{(Equació A-4)}$$

$$Energia_{acumulada} = \Delta Energia_{mecànica} \quad \text{(Equació A-5)}$$

$$\Delta Energia_{mecànica} = \Delta Energia_{cinètica} + \Delta Energia_{potencial} \quad \text{(Equació A-6)}$$

$$v_0 = v_f = 0 \rightarrow \Delta Energia_{cinètica} = 0 \quad \text{(Equació A-7)}$$

$$\Delta Energia_{mecànica} = \Delta Energia_{potencial} = g \cdot (h \cdot M + (H - h) \cdot m) \quad \text{(Equació A-8)}$$

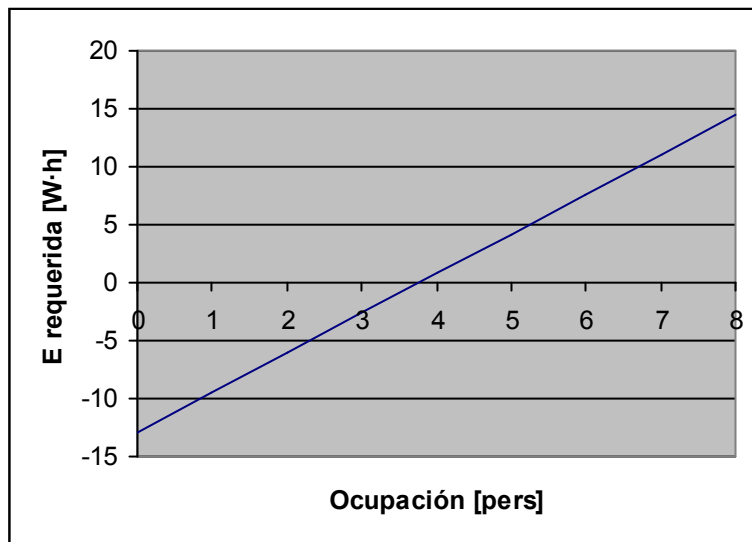
Per tant, tal com s'observa a la Figura A-16, considerant un contrapès donat de massa **m** una mateixa maniobra pot consumir o cedir energia en funció del nivell de càrrega total de la cabina **M**, que depèn de l'ocupació.

Un altre concepte que es pot deduir de les fórmules exposades anteriorment és que l'energia requerida en una maniobra (definida positiva quan en consumeix i negativa quan



en cedeix) depèn únicament de la posició inicial i de la posició final. Per tant, en un conjunt de maniobres que tinguin l'origen i el final en el mateix punt $h_0=h_f$ (per exemple a la planta 0), el $\Delta\text{Energia}_{\text{requerida}}=\Delta\text{Energia}_{\text{mecànica}}$, que per estar en repòs implica $\Delta\text{Energia}_{\text{requerida}}=\Delta\text{Energia}_{\text{potencial}}$, el que suposa que si $h_0=h_f$ $\Delta\text{Energia}_{\text{requerida}}=0$.

Figura A-16: Consum energètic (ideal) en una maniobra d'ascens de 5 pisos per a un ascensor de 736 kg de tara, 1020 kg de contrapès i 8 pers. de capacitat.



Font: CITCEA, 2008.

De l'exposat al paràgraf anterior es dedueix (a la situació ideal sobre la qual s'està treballant) el següent (sent N el nombre de maniobres):

- Perquè la h_0 sigui igual a la h_f , s'ha de complir que $N \geq 2$.
- Si $h_0=h_f$ llavors $\Delta\text{Energia}_{\text{requerida}}=0$. Per tant si es defineix N_{co} el nombre de maniobres consumidores d'energia i N_{ce} el nombre de maniobres que cedeixen energia, es dedueix que la sumatòria de l'energia consumida a les N_{co} maniobres més la requerida a les N_{ce} maniobres és igual a 0, pel que es pot afirmar que l'energia consumida ha de ser igual a l'energia cedida.

Per tant, de l'exposició anterior es formulen les següents conclusions:

En un conjunt de maniobres en el qual $h_0=h_f$, l'energia requerida és zero independentment de la massa total de la cabina M i la massa del contrapès m .

A partir d'aquesta afirmació s'observa que en cas de disposar d'un sistema capaç de recuperar la totalitat de l'energia de les maniobres que cedeixen energia ($E_{\text{requerida}} < 0$), el consum del sistema elevador seria nul.

En un conjunt de maniobres en el qual $h_0=h_f$, l'energia requerida a les maniobres que cedeixen energia és igual a l'energia requerida a les maniobres que consumeixen energia, independentment de la massa total de la cabina M i de la massa del contrapès m .

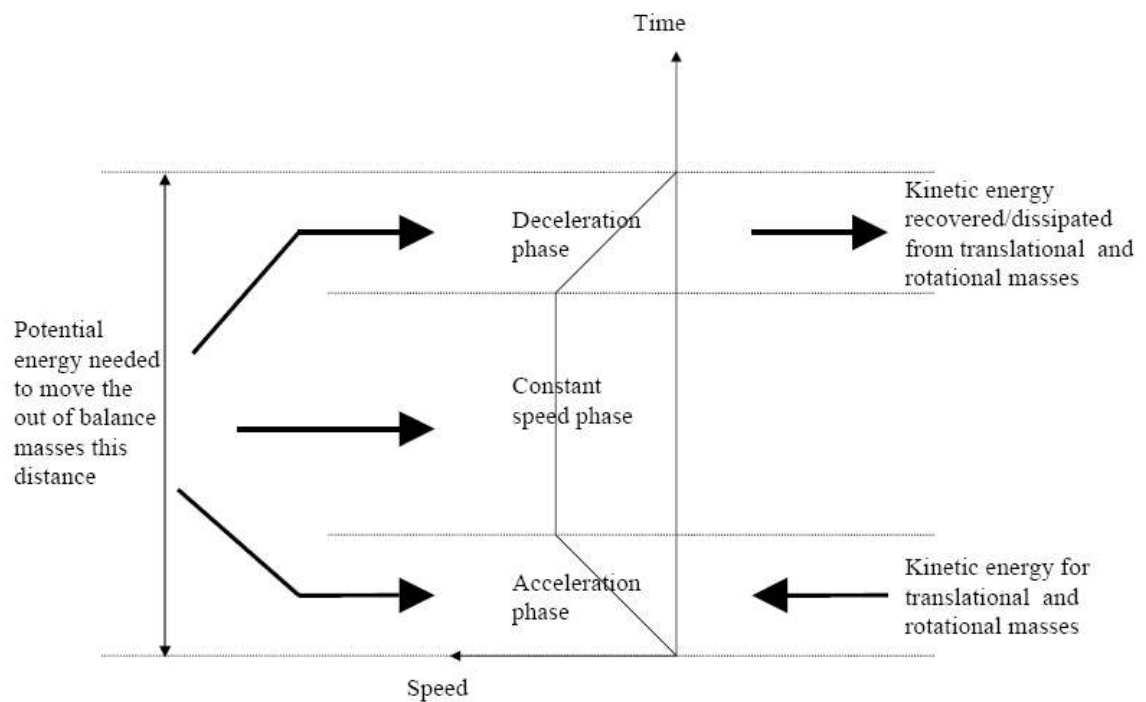
D'aquesta afirmació s'extreu que l'energia consumida per un ascensor contrapesat i per un altre sense contrapesar és la mateixa. Per tant, en el cas de considerar un



sistema ideal, un ascensor hidràulic (típicament sense contrapesar) requeriria la mateixa energia que un ascensor elèctric (típicament contrapesat).

És necessari ressaltar que el model simplificat de la Figura A-14 correspondria a una idealització d'un sistema elevador elèctric (o de tracció), mentre que per a un hidràulic (sense contrapesar) seria necessari considerar la massa del contrapès m nul·la. En aquest últim cas, una maniobra d'ascensió sempre seria deficitària d'energia $\Delta h > 0$ mentre que una de descens seria excedentària $\Delta h < 0$.

Figura A-17: Diagrama de flux energètic durant una maniobra d'ascens.



Font: Al-Sharif VTC [26], 2004.

A.4.1.2 Sistema real

A l'apartat anterior s'ha vist que en un sistema ideal, l'energia regenerada ha de ser la mateixa que la consumida. No obstant això, aquesta afirmació no és certa en la realitat a causa de les següents irreversibilitats:

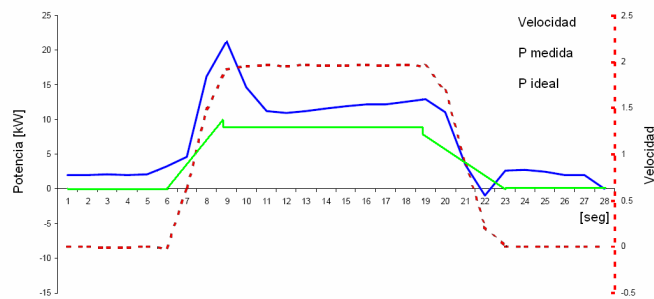
- El sistema necessita vèncer la fricció tant en les maniobres deficitàries d'energia com en les excedentàries: fricció contra les guies, resistència de l'aire, lliscament funcional a les corrioles, etc.
- El motor, tant si actua com a generador com si actua com motor, ha de vèncer les seves pèrdues internes: pèrdues al coure, pèrdues al ferro, pèrdues per la ventilació forçada, etc.
- Si es tracta d'un reductor del tipus sens fi corona, aquest en la majoria de casos serà irreversible, i en els casos als quals no sigui així el seu rendiment invers serà molt menor al directe (veure apartat A.4.2).



A la

Figura A-18 es representa la demanda de potència ideal i real (fent ús del model representat a la Figura A-14). S'observa que existeix una desviació entre ambdós, per les causes a les quals anteriorment s'ha fet referència. D'altra banda, la modulació de la corba real també es veu afectada pel fet que tant el circuit de tracció com el circuit d'elevació tenen un cert moment d'inèrcia (no contemplat en el model ideal), la qual cosa implica una major dificultat a l'accelerar el sistema i una aportació extra al desaccelerar.

Figura A-18: Comparació de la potència consumida en un sistema ideal i un sistema real.

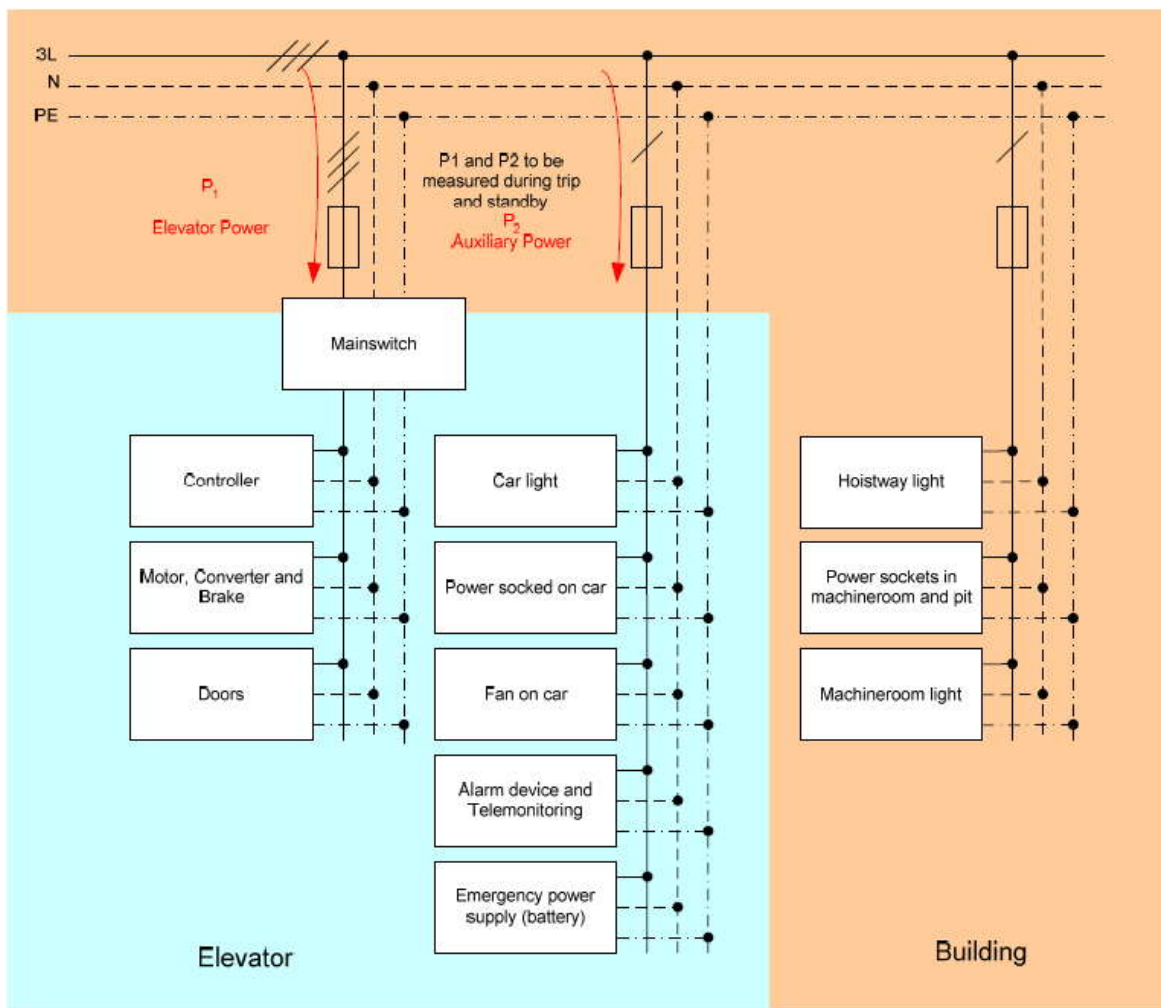


Font: CITCEA, 2008.

A continuació es descriuen els consums energètics dels sistemes elevadors, classificant-los en directes i indirectes. La figura següent representa l'esquema unifilar de connexió d'un sistema elevador, on es pot diferenciar l'alimentació dels consums directes i dels consums indirectes.



Figura A-19: Esquema unifilar standard d'un sistema elevador.



Font: SAFE [8], 2005.

A.4.1.2.1 Consums directes

Tal com s'ha introduït a l'inici d'aquest apartat, s'entén que els consums directes són aquells que tenen una relació directa amb la utilització del sistema. Són per tant consums variables.

Fent ús de les definicions de l'apartat A.1.1, es procedirà a distingir els consums directes lligats al sistema mecànic, format pel circuit de tracció i pel circuit d'elevació, i els consums directes lligats al sistema elèctric. Igualment, al final d'aquest punt s'inclouen els consums directes relacionats amb sistemes auxiliars.

a) Consums directes lligats al sistema mecànic

- Consums de caràcter conservatiu

Els consums de caràcter conservatiu són aquells que estan lligats amb els conjunts de masses del sistema. Aquests, en el cas ideal de sistemes que fossin capaços de



regenerar l'energia consumida, serien nuls. A continuació s'enumeren els diferents consums de caràcter conservatiu en funció del seu origen.

- Relacionats amb la massa dels components amb moviment lineal

Aquests són els que s'han estudiat al punt anterior (sistema ideal). S'observa que és necessari un consum energètic per a proporcionar moviment al sistema de masses (composat per la cabina i el contrapès en el cas dels sistemes elevadors elèctrics, i únicament per la cabina a la majoria dels sistemes hidràulics). El consum d'energia serà per una banda per proporcionar l'**energia potencial** al sistema, y per altra per proporcionar l'**energia cinètica**.

- Relacionat amb la inèrcia dels components amb moviment rotacional

Les masses que componen el sistema que tenen un moviment rotatiu tenen una determinada inèrcia. Aquestes masses són majoritàriament les quals componen el circuit de tracció. Contra major sigui la seva inèrcia (que depèn tant de la massa com de la geometria), major serà la potència requerida per a proporcionar-los l'**energia cinètica** necessària.

- Consums de caràcter no conservatiu

Els consums de caràcter no conservatiu són aquells que estan lligats a les forces no conservatives, és a dir, que el seu consum no depèn únicament de l'estat final i inicial del sistema, sinó que depèn també de la longitud del recorregut. Aquests, en el cas ideal de sistemes que fossin capaços de regenerar l'energia consumida, serien irrecuperables, degut al fet que es dissipen en forma de calor i soroll, per tant es poden considerar íntegrament com a pèrdues.

En el cas dels sistemes mecànics, la força no conservativa causant d'aquestes pèrdues és coneguda com el fregament. A continuació s'enumeren els punts del sistema en els quals es dona aquest fenomen.

- Fregament a les guies (buit del sistema elevador)

Tant la cabina com el contrapès (en el cas de sistemes elevadors elèctrics), requereixen de la utilització de guies, les quals per seguretat impedeixen el lliure desplaçament d'aquests elements pel buit. En ocasions tenen a més una funció addicional que consisteix en proporcionar un suport per a l'actuació de determinats sistemes d'emergència.

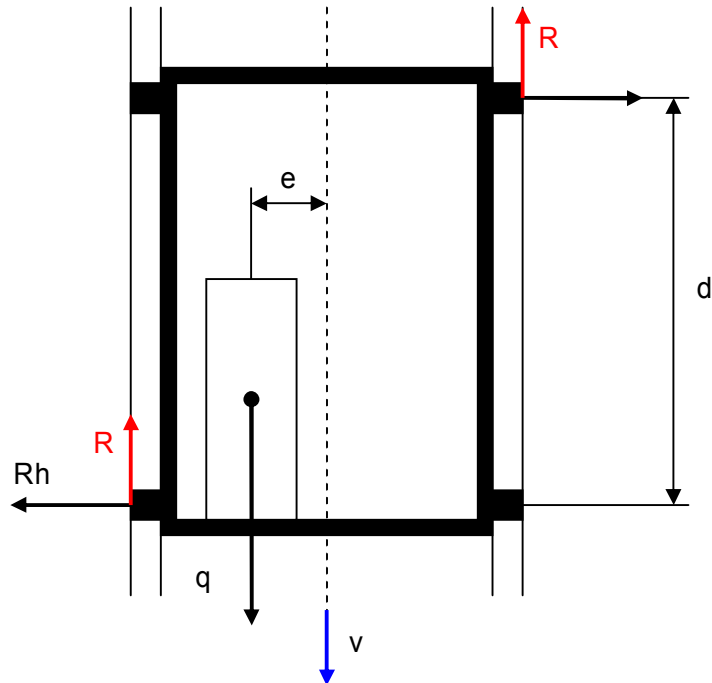
Idealment, si el centre de gravetat de la cabina estigués completament centrat així com la subjecció del cable (o del pistó en el cas dels hidràulics), el fregament de la cabina amb les guies seria nul. En canvi, als sistemes reals les càrregues es col·loquen de forma excèntrica, i fins i tot hi ha sistemes on la subjecció de la cabina no és centrada, provocant desequilibris que han de ser compensats per les guies.

Tal com s'observa a la Figura A-20, l'excentricitat de la càrrega implica l'aparició de reaccions horitzontals als suports que contraresten el gir provocat.



Al seu torn, l'aparició d'aquestes forces horitzontals farà aparèixer unes forces de fregament que s'oposaran al moviment, les quals dependran del coeficient de fregament entre la guia i el suport.

Figura A-21: Representació de les forces sobre les guies.



Font: CITCEA, 2008.

El tipus de suport utilitzat (lliscant o mitjançant corrons), així com l'estratègia d'unió de la cabina i el contrapès als cables o al pistó en defecte d'això, és un punt clau en el consum energètic a causa del fregament de les guies.

- Fregament a la transmissió (circuit de tracció)

Tal com s'exposarà als apartats següents, el rendiment del reductor (o transmissió) depèn de les característiques geomètriques i del material dels engranatges que el componen. Així mateix, el tipus de reductor (sens fi corona o epicicloïdal) també és un factor molt important.

La força no conservativa que produeix pèrdues en aquests sistemes és el fregament. Existeix una gran quantitat d'estudis sobre la geometria de les dents d'engranatge l'objectiu del qual és la reducció del fregament i el funcionament òptim. Tot i això, és inevitable que existeixi sempre un cert nivell de pèrdues.

- Fregament a les poltges (circuit de tracció)

Aquests elements, encara que en menor escala, també presenten certes pèrdues energètiques derivades de la seva naturalesa de funcionament. Generalment sempre hi haurà una branca de la corriola que té una tensió major que l'altra. Per aquest motiu, un punt del cable que passi a través de la corriola tindrà una determinada tensió a l'entrada, i altra diferent a la sortida,



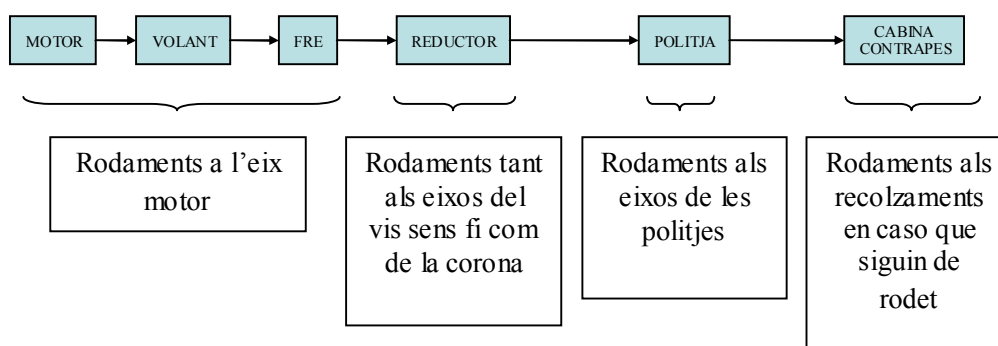
pel que apareixerà un increment de deformació unitària que durà amb si un cert lliscament funcional, l'existència del qual provoca l'aparició de pèrdues per fricció.

Aquest problema no afecta només als sistemes elevadors elèctrics degut a que nombroses instal·lacions de sistemes elevadors hidràulics utilitzen sistemes de subjecció per cable.

- Fregament als eixos als suports (circuit de tracció)

Els sistemes elevadors contenen nombrosos components amb moviment rotacional al voltant d'un eix, el qual requereix l'aplicació de rodaments i coixinets.

Si s'analitza la cadena energètica dels sistemes elevadors elèctrics, s'observa que l'aplicació d'aquests elements està present en la seva totalitat.



En el cas dels sistemes hidràulics, l'aplicació és menor, sent principalment a l'eix del grup motor-bomba.

- Fregament amb l'aire (circuit d'elevació)

Un altre dels consums dels sistemes elevadors és a causa de la seva resistència aerodinàmica. El desplaçament de la cabina pel buit, suposa un desplaçament de les molècules d'aire que porta amb si la formació de sobreprensions i depressions, així com el fregament entre les molècules d'aire.

De forma general, la força de resistència a l'avanç es pot calcular de la següent forma:

$$F_d = \frac{\rho_{aire} \cdot C_d \cdot A_{cabina} \cdot C^2}{2} \quad \text{(Equació A-9)}$$

On C_d és el coeficient de resistència a l'avanç de la cabina, el qual depèn de les característiques geomètriques de la mateixa.

Així mateix s'observa que a mesura que la velocitat del sistema és major, les pèrdues per aquest concepte creixeràn, de la mateixa forma que amb l'increment de l'àrea.



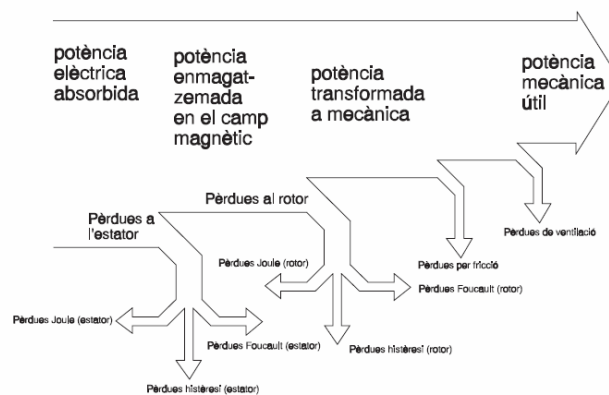
b) Consums directes lligats al sistema elèctric

Tal com s'ha vist a l'apartat anterior, existeixen nombrosos consums als sistemes elevadors que depenen directament del nivell d'utilització. Al seu torn, la potència necessària per a superar tant als consums conservatius com als no conservatius prové del motor, que com és ben sabut és l'encarregat de transformar l'energia elèctrica en energia mecànica.

D'altra banda, el consum elèctric del motor no és només el necessari per a superar les càrregues mecàniques i el fregament, sinó que també es produeix un consum a causa de les pèrdues elèctriques al seu interior.

De forma general, el diagrama de Sankey d'un motor elèctric és el qual es representa a la següent figura.

Figura A-22: Diagrama de Sankey d'un motor elèctric.



Font: Boi [et al.] [7], 1998.

S'observa que la potència mecànica útil és la requerida per a superar els consums nomenats al subapartat anterior. Per tant, la resta de pèrdues representades a la figura són les que es comptabilitzen com a consums directes lligats al sistema elèctric.

D'altra banda, no s'ha de perdre de vista que avui dia la majoria dels motors són controlats mitjançant convertidors estàtics de freqüència, el consum dels quals també depèn del nivell d'utilització del sistema. Per tant, als sistemes de control també s'incorren consums directes.

c) Consums directes lligats a sistemes auxiliars

Dins els sistemes auxiliars s'identifiquen consums energètics que depenen del nivell d'utilització, entre els quals cal destacar:

- Sistema d'obertura/tancament de les portes: la normativa avui dia obliga a que la majoria dels sistemes elevadors disposin de porta de seguretat. Aquesta, a la majoria de casos és accionada per un sistema automatitzat, que consisteix en un mecanisme accionat per un motor elèctric, el qual té un consum gens menyspreable d'energia, que dependrà com és lògic del nombre de maniobres que realitzi el sistema, és a dir, del seu nivell d'utilització.
- Sistema de climatització: avui dia és habitual la instal·lació de sistemes de climatització per a proporcionar confort als seus ocupants. Com tot sistema de



climatització, la calor despresada pels ocupants representa una de les principals càrregues tèrmiques.

A.4.1.2.2 Consums indirectes

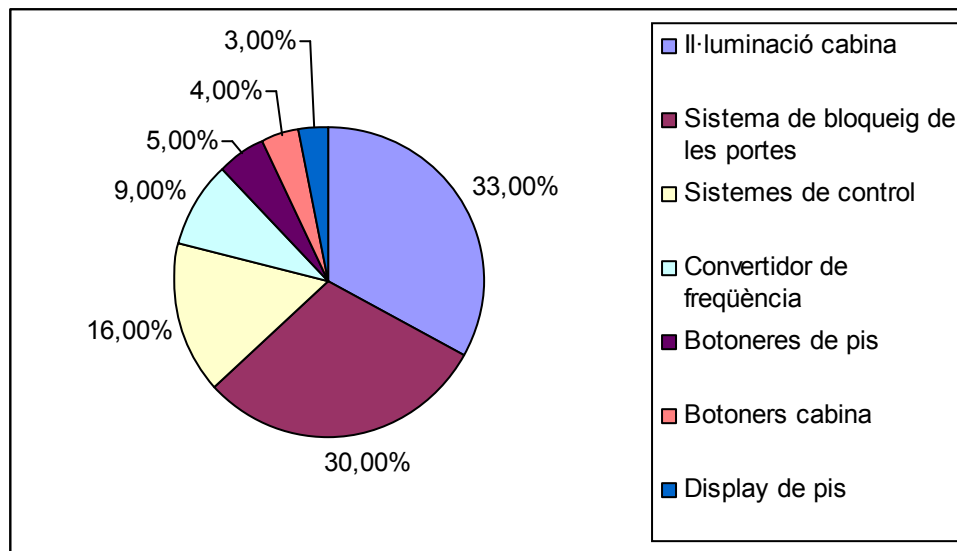
Anàlogament a la definició dels consums directes, s'entén que els consums indirectes són aquells que no tenen una relació directa amb la utilització del sistema. Es poden entendre per tant com a consums fixos.

De forma general, en un sistema elevador es poden diferenciar els següents consums fixos (ordenats de major a menor importància).

- Il·luminació de la cabina.
- Sistema de bloqueig de les portes.
- Sistema de control.
- Convertidor de freqüència.
- Botoneres de pis.
- Botoneres de cabina.
- Display de pis.
- Ventilació.
- Sistema generador (als sistemes Ward Leonard).

La importància relativa de cadascun d'aquests consums, segons dades preses d'un estudi dut a terme per l'Agència Suïssa per a l'Ús Eficient de l'Energia (S.A.F.E), a l'any 2005 [8], es representa a la .

Figura A-23: Consum indirecte relatiu dels diferents components.



Font: O. Lindegger, 2005.

Segons aquest mateix estudi [8], i fent ús dels sistemes contemplats al mateix, el valor dels consums indirectes en funció del tipus d'edifici es representa a la Taula A-3.



Taula A-3: Pes del consum indirecte als sistemes elevadors en funció del tipus d'edifici.

Tipus d'edifici	Consum anual total [kWh]	Consum en espera total [kWh]	Consum indirecte total [kWh]	% Consum indirecte
Edifici de vivendes petit	950	789	797	84,00%
Edifici de vivendes mitjà / Edifici d'oficines	4.350	1.740	1871	43,00%
Hospital / Edifici d'oficines gran	17.700	4.425	5089	29,00%

Font: SAFE, 2005.

El qual, suposa una potència indirecta consumida, considerant que el sistema estigui connectat 8760 h/any, de:

- Edifici d'habitatges petit: 91 W
- Edifici d'habitatges mitjà / Edifici d'oficines: 214 W
- Hospital / Edifici d'oficines gran: 581 W

Aquests valors a primera vista poden semblar reduïts. No obstant això, no cal perdre de vista que es tracta de càrregues que estan connectades tot el temps.

De les dades mostrades en aquest apartat, es poden extreure dues conclusions molt importants:

- El consum indirecte dels sistemes elevadors té una importància relativa molt elevada. Per tant, gran part de les mesures enfocades a l'increment de l'eficiència energètica han de ser enfocades cap a aquest tipus de consums.
- El consum indirecte té un pes relatiu major a mesura que la utilització dels sistemes elevadors disminueix. Així doncs, a un sistema instal·lat en un edifici d'habitatges reduït amb una utilització aproximada de 40.000 cicles/any, el consum indirecte representa aproximadament el 84%, mentre que en el que es trobi instal·lat en un hospital, amb 700.000 cicles/any, representa un 29%.

A.4.2 Particularitats dels sistemes elevadors elèctrics

Tal i com s'ha vist a l'apartat A.1.1, un esquema general de la cadena energètica d'un sistema elevador elèctric és el següent:



A la següent taula es proporciona un càlcul que aproxima el rendiment d'un sistema elevador en base a les seves característiques tècniques.



Taula A-4: Estimació del rendiment d'un sistema elèctric.

Massa màxima a desplaçar	Velocitat nominal	Potència Nominal	Potència màx. Desenvolupada (mesurada)	Potència Mecànica màxima	Rendiment
160	0,63	4,9	3,90	0,99	0,25
225	1	4	3,18	2,21	0,69
300	1	6	4,78	2,94	0,62
Total					0,52

Font: CITCEA, 2008.

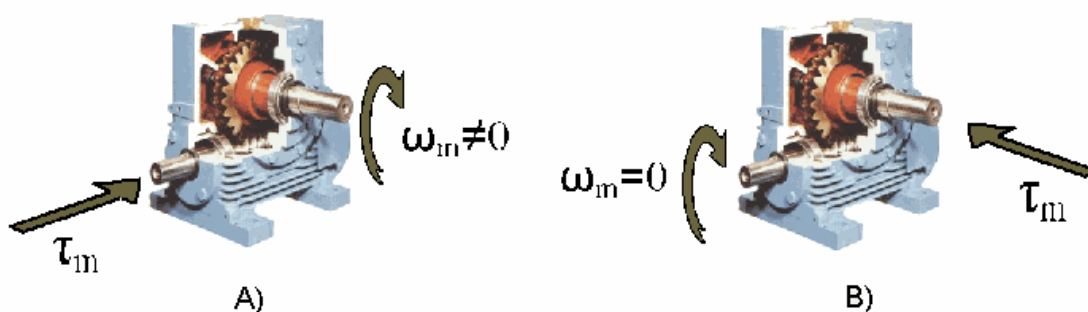
A l'apartat anterior, s'ha vist que idealment (sense tenir en compte les pèrdues) en funció de la massa total de la cabina M (el nombre de passatgers, la quantitat de mercaderia, etc.) la maniobra serà excedentària o deficitària d'energia.

Per als sistemes reals, és molt determinant la tecnologia utilitzada. Al capítol 4 es presenten les diferents actuacions per a l'increment de l'eficiència energètica que es poden dur a terme als sistemes elevadors. Concretament, pels sistemes elèctrics (o de tracció), es posarà l'accent principalment als sistemes *gearless* i a la frenada regenerativa.

Enfocant aquest apartat cap al que es recull al capítol quart, s'han de distingir de forma genèrica dos grups de sistemes elevadors elèctrics: els que duen reductor sens fi corona i els que no.

D'una banda, els que utilitzen el sistema sens fi corona, solen utilitzar majoritàriament reductors irreversibles per motius de seguretat. Això consisteix en dissenyar geomètricament el reductor de manera que l'entrada de parell a través de la corona no impliqui moviment al sens fi. Per tant l'única forma de moure el sistema és aplicant el parell per l'eix del sens fi, el qual, com el seu nom indica, implica que el sistema sigui irreversible.

Figura A-24: Irreversibilitat dels reductors sens fi corona. A) La introducció de parell per l'eix del sens fi implica moviment a l'eix de la corona. B) La introducció de parell per la corona provoca el bloqueig del reductor.



Font: CITCEA, 2008.

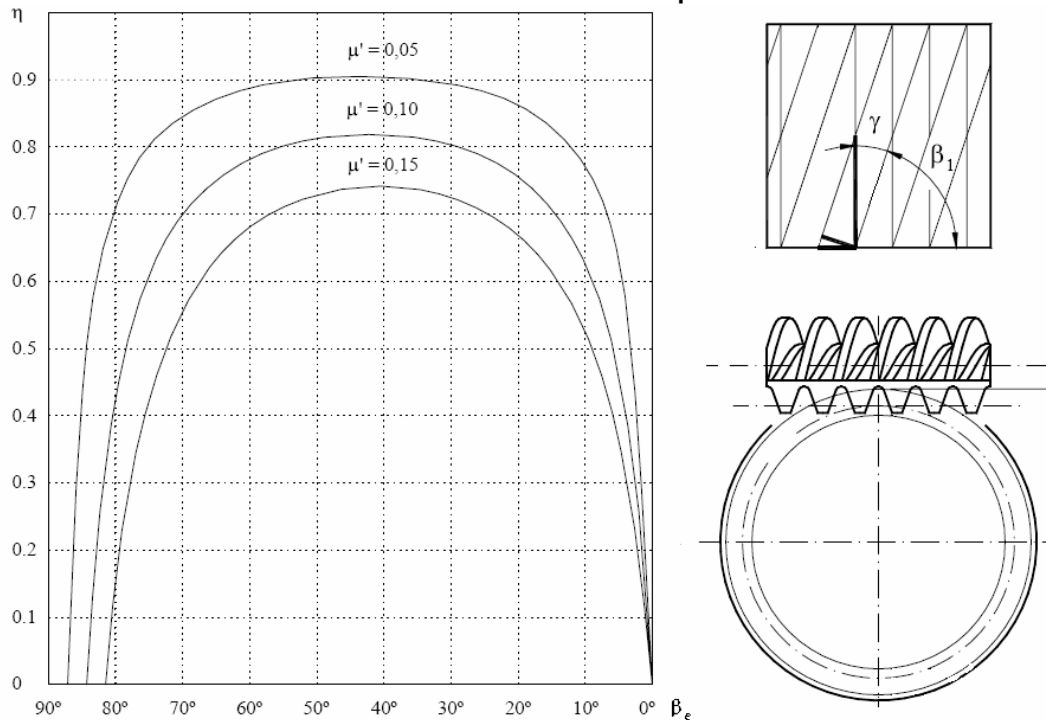
Els reductors sens fi corona es caracteritzen per la seva elevada relació de transmissió, així com per la seva compacitat i la seva suavitat en el funcionament. Per contra, tal com s'ha fet referència en apartats anteriors, el rendiment d'aquests equips sol estar comprès entre el 0,4 i el 0,6, el pitjor entre tots els tipus de reductors.



Així, es defineix el rendiment directe dels engranatges sens fi corona quan la transmissió és del sens fi a la corona, i el rendiment invers quan la transmissió és de la corona al sens fi (en cas de no ser irreversible, el qual no es sol donar als reductors per a sistemes d'elevació).

Tal com es mostra a la Figura A-25, els rendiments directe i invers depenen de la geometria de disseny del reductor, així com de les característiques dels materials que el componen. Al seu torn l'eficiència dels reductors sens fi corona depèn dels seus paràmetres de funcionament. Per exemple, una relació de transmissió menor suposa menors pèrdues. El mateix es dona amb una grandària major o una velocitat d'entrada superior. No obstant, això no significa que un increment en la grandària del reductor suposi un increment de l'eficiència, degut al fet que el funcionament del reductor per sota de la seva velocitat nominal implica un minvament en el seu rendiment. Un valor habitual de β_i (veure Figura A-25) en un reductor d'aplicació en elevació, sol estar comprès entre 75° i 85° .

Figura A-25: Rendiment directe d'un reductor sens fi corona en funció de l'angle d'inclinació de la roda d'entrada β_i .



Font: C. Riba [9], 2000.

Per tant, considerant la cadena energètica mostrada a l'inici d'aquest apartat, s'analitzen els següents casos (veure):

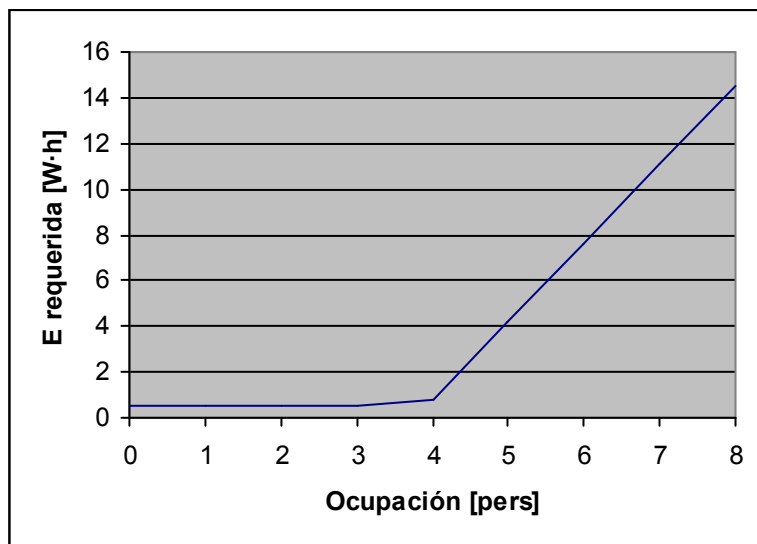
- Quan l'increment d'energia potencial sigui positiu, el consum energètic de la maniobra serà tal que proporcioni l'energia necessària per a superar aquesta diferència, més les pèrdues en el sistema (reductor, corrioles, rodaments, etc.).
- En canvi, quan l'increment sigui negatiu seguirà havent-hi un consum energètic tal que permeti superar la irreversibilitat del reductor, pel que el motor seguirà aportant energia. L'energia excedentària d'aquesta maniobra es transformarà en calor a l'interior del reductor, el qual ha d'estar dissenyat per a ser capaç de dissipar-lo a través de la seva carcassa.



D'altra banda, els sistemes elevadors elèctrics que utilitzen tecnologies de propulsió als quals es prescindeix del reductor sense fi corona, permeten la transferència bidireccional d'energia, i per tant es requerirà potència mecànica del motor quan l'increment d'energia potencial sigui positiu, i es retornarà potència mecànica quan l'increment d'energia potencial sigui negatiu.

Per tant, en cas de prescindir del reductor sense fi corona s'observa que es redueix considerablement el consum en les maniobres de deficitàries d'energia, a causa de l'increment del rendiment provocat per l'absència del reductor. A més, una altra conclusió que es pot extreure de l'anterior és que si el motor (i el sistema elèctric en el seu conjunt) és capaç de comportar-se com un generador i aconseguir un aprofitament d'aquesta energia (emmagatzemant-la o injectant-la en la xarxa) s'obté un sistema de frenada regenerativa.

Figura A-26: Consum energètic d'un sistema elevador elèctric real amb reductor sense fi corona (sense considerar rendiments) en una maniobra d'ascens de 5 pisos per a un ascensor de 736 kg de tara, 1020 kg de contrapès i 8 pers. de capacitat.



Font: CITCEA, 2008.

A.4.3 Particularitats dels sistemes elevadors hidràulics

A la següent taula es proporciona un càlcul que aproxima el rendiment d'un sistema elevador en base a les seves característiques tècniques.

Taula A-5: Estimació del rendiment d'un sistema hidràulic.

Massa màxima a desplaçar	Velocitat nominal	Potència Nominal	Potència màx. Desenvolupada (mesurada)	Potència Mecànica màxima	Rendiment
320	0,63	9	9,50	1,98	0,21
500	0,63	11	12,60	3,09	0,25
450	0,63	15	17,18	2,78	0,16
Total					0,21

Font: CITCEA, 2008.



El funcionament dels sistemes elevadors hidràulics, generalment consisteix en la unió directa de la cabina al capdavant d'un pistó hidràulic Figura A-26. Aquesta unió pot ser al lateral de la cabina, a la part inferior, o mitjançant la unió d'un cable per la part superior. D'altra banda, també és possible fer una instal·lació contrapesada, tal com s'exposa al capítol 4, encara que aquesta opció és minoritària en el parc d'ascensors de Catalunya.

Figura A-27: Diferents opcions de configuració d'un sistema elevador hidràulic.



Font: CITCEA, 2008.

Des del punt de vista energètic, s'observa que a les instal·lacions hidràuliques més habituals (sense contrapesar) únicament es consumeix energia durant l'ascens, mentre que durant el descens únicament s'accionen les vàlvules D1 i D2 regulant la tornada del fluid de treball al dipòsit.

Fent ús de les equacions presentades a l'apartat A.4.1 es demostra que en cas de considerar un sistema ideal (sense fregaments), el consum energètic dels sistemes elèctrics i dels sistemes hidràulics és el mateix. Aquest fet, quan es considera un sistema real, no es compleix. Això és degut a la naturalesa de la transferència energètica dels sistemes hidràulics, menys eficient que la dels sistemes elèctrics. A continuació s'enumeren les diferents parts del procés a les que es produeixen pèrdues:

- Pèrdues durant la conversió al motor d'energia elèctrica en energia cinètica.
- Pèrdues a la bomba inherents al seu funcionament.
- Pèrdues al bloc de vàlvules degut a la pèrdua de càrrega singular que suposen. Aquestes pèrdues són més importants durant les fases d'acceleració i desacceleració, degut a que el sistema de bombeig segueix treballant a plena càrrega.
- Pèrdues de càrrega lineals als conductes.
- Pèrdues degudes a la transferència de calor del fluid de treball degut a que es troba a una temperatura superior a la de l'entorn, així com a la refrigeració que en molts casos s'ha d'instal·lar al tanc.
- Increment de les pèrdues del sistema degut al requeriment d'una potència nominal superior a la dels sistemes elèctrics, a conseqüència de que a la majoria dels casos no disposen de contrapès per equilibrar el sistema.



A.4.4 Comparativa dels diferents sistemes de tracció

Tal i com s'ha fet referència als apartats anteriors, el consum directe lligat al motor depèn de la tecnologia utilitzada. En aquest apartat es comparen les pèrdues d'energia dels sistemes hidràulics, dels sistemes elèctrics de dues velocitats, dels sistemes de tensió variable (VV) i dels sistemes de freqüència variable (VVVF), en funció de la velocitat nominal del sistema.

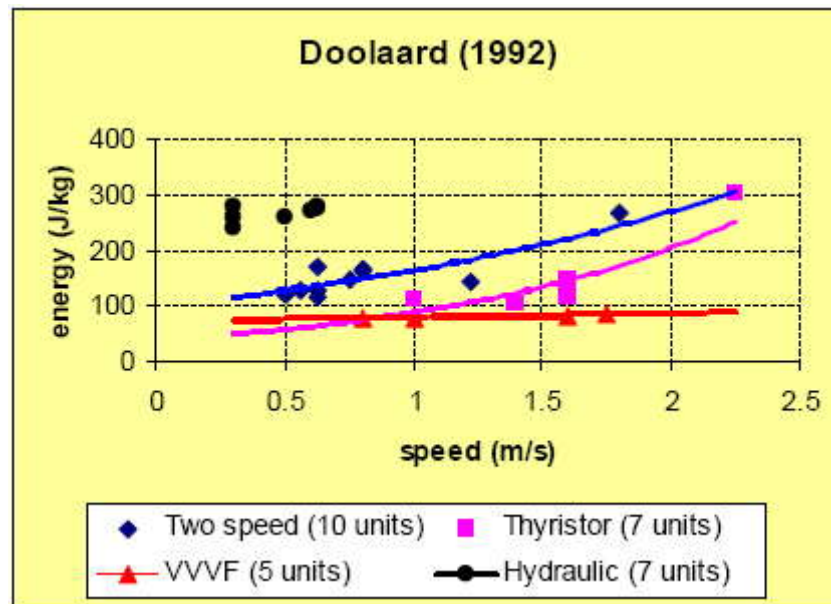
Aquest apartat s'ha realitzat sobre la base de la investigació duta a terme per Doolaard [10], el qual va estudiar el consum d'energia de diversos tipus de sistemes, prenent mesures a 29 edificis (10 sistemes AC 2v, 7 sistemes hidràulics, 7 sistemes AC VV i 5 sistemes AC VVVF). Les conclusions de l'estudi són les següents:

- Ascensors hidràulics: Com aquests sistemes generalment no estan contrapesats, requereixen una potència nominal més gran, fent que siguin els menys eficients dels quatre sistemes estudiats, consumint aproximadament el doble que els altres sistemes. L'energia s'emmagatzema com a energia potencial a l'elevador la cabina, i es dissipa en forma de calor quan aquesta baixa.
- Sistemes de dues velocitats: Aquests sistemes, tal i com s'ha mostrat a l'apartat A.1.1, empen un dispositiu commutador de pols en el motor que permet connectar un bobinatge de baixa que proporciona el 25% de la velocitat nominal. En moltes ocasions els sistemes de dues velocitats requereixen la instal·lació d'un gran volant d'inèrcia per a suavitzar el canvi sobtat en el parell, el qual redueix la percepció de l'estrebada durant el canvi de velocitat als passatgers. Aquest volant emmagatzema energia que es dissipa més tard, el que contribueix a una menor eficiència d'aquests sistemes, així com a un major requeriment de potència.
- Sistemes VV (Control de tensió): Aquests sistemes van ser molt populars abans de la introducció dels VVVF. Un dels principals inconvenients d'aquests sistemes és que sofreixen d'un alt nivell d'harmònics durant les fases de baixa velocitat (sobretot durant l'anivellació), el que causa un greu escalfament del motor. En conseqüència, no es pot mantenir el motor a baixa velocitat durant llargs períodes. Per altra banda, no poden proporcionar un parell constant a baixes velocitats, pel que el control durant l'engegada és difícil d'obtenir, i precisa d'un sistema complex de control. En conseqüència, el sistema veu reduïda dràsticament la seva precisió a baixa velocitat, i fins i tot tendeix a oscil·lar. Els dos principals problemes d'aquest tipus de sistemes són els següents:
 - A mesura que la velocitat es redueix, el parell motor també disminueix, el qual és la causa de que el sistema tendeixi a ser inestable. Això provoca que no es puguin dur a terme de manera satisfactòria a les maniobres d'engegada i detenció.
 - A mesura que l'angle de dispar s'incrementa (amb la finalitat de reduir la tensió i, per tant, la velocitat), el contingut harmònic de l'ona de tensió introduïda en els bobinatges del motor augmenta de forma espectacular, provocant d'aquesta forma un escalfament considerable del motor.
- Sistemes VVVF: Tots els problemes descrits dels sistemes VV es van veure solucionats amb els sistemes VVVF. Aquests sistemes ofereixen al motor una ona gairebé sinusoidal a qualsevol velocitat, pel que el parell és pràcticament constant en tot el rang de velocitats.

Tal i com mostra la Figura A-28, el sistema hidràulic és el sistema menys eficient. La utilització d'un volant d'inèrcia en els sistemes de dues velocitats fa que siguin menys atractius en comparació als sistemes controlats per convertidor (VV i VVVF). L'altre punt interessant que es pot observar en la figura és que el consum d'energia augmenta dràsticament amb l'augment de la velocitat nominal.



Figura A-28: Consum energètic unitari en funció de la velocitat del sistema.



Font: Doolard, 1992 [10].

A més dels sistemes analitzats per Doolard, en aquest apartat també es vol fer esment als sistemes *gearless*, més recents tecnològicament. Des del punt de vista energètic, ja s'avança en apartats anteriors que aquests sistemes presenten grans avantatges, a més de les referents al confort i a l'economia d'espai. Entre els principals avantatges dels motors *gearless brushless* (síncrons d'imants permanents), cal destacar les següents:

- Reducció de les pèrdues per efecte joule a l'estator degut al fet que desapareix el corrent magnetitzant.
- Desaparició de les pèrdues per efecte joule en el rotor, així com les degudes a la histèresi.
- Reducció de les pèrdues per ventilació degudes a que la dissipació és menor.

Per tant, en cas d'incloure a l'estudi realitzat per Doolard els sistemes *brushless*, s'obtidria que el seu consum relatiu seria el menor de tots, situant-se en la zona més baixa de la Figura A-28.

A.4.5 Estimació del consum energètic d'un sistema elevador

En aquest apartat s'analitzen tres mètodes utilitzats a la indústria per a estimar el consum energètic d'un sistema elevador. Els tres es basen en dades estadístiques obtingudes experimentalment, i en tot cas proporcionen resultats que permeten obtenir un cert ordre de magnitud.

En general, una de les característiques principals dels sistemes elevadors és que cada instal·lació és diferent. És a dir, les empreses instal·ladores de sistemes elevadors adapten el seu producte a les necessitats de cada edifici, donant com resultat l'existència d'una gran diversitat de configuracions, i per tant sent molt difícil fer estimacions a nivell general del consum d'un sistema elevador.



A.4.5.1 Mètode de Schroeder

Schroeder [11], a l'any 1990 va desenvolupar una metodologia que a tot i estar parcialment obsoleta (es diu parcialment degut al fet de que un percentatge molt representatiu del parc de sistemes elevadors en funcionament a Catalunya és anterior al 1990) representa la base d'altres metodologies més recents. El desenvolupament d'aquesta metodologia es va realitzar duent a terme nombroses mesures en sistemes elevadors, considerant una distància mitja de recorregut de 1,1 pisos. Sobre la base de les dades obtingudes, Schroeder va aplicar una fórmula que permet estimar el consum energètic diari d'un sistema elevador en funció de la potència nominal de la màquina, la seva tecnologia, i la seva utilització (Equació A-10).

$$E_d = \frac{R \cdot ST \cdot TP}{3600} \quad \text{(Equació A-10)}$$

On:

- E_d Energia consumida diàriament
- R Potència nominal de la màquina
- ST Nombre mig d'arrencades diàries
- TP Durada de trajecte

La determinació de TP (s) es va fer de forma experimental i es recull a la Taula A-6. S'observa que es proporciona un rang de dades, la cota inferior del qual ha de ser aplicat als sistemes de potències altes i relació de transmissió 1:1, i la cota superior a sistemes de baixa potència i relació de transmissió 2:1.

La precisió d'aquesta dada es discuteix a [12], on s'afirma que el fet de que Schroeder considerés una longitud de trajecte de 1,1 pisos pot donar estimacions per sota del nivell real, degut al fet de que aquesta dada és vàlida per al període de punta, però no per a la mitja diària.

Pel que fa als sistemes VVVF, s'observa que la dada és una estimació feta a posteriori de l'estudi de Schroeder, degut al fet que no aquest no va tenir l'oportunitat de fer-la.

Pel que es refereix al paràmetre ST , s'observa que es tracta de la dada més complexa d'obtenir, la qual ha de ser mesurada o estimada, variant de forma representativa el resultat final.

La Taula A-7 proporciona un patró d'utilització desenvolupat per un *working group* de l'International Organization for Standardization ISO, el qual pot ser utilitzat per a determinar el nombre d'hores de funcionament del sistema entre setmana, així com els paràmetres que permeten corregir els valors per als dies del cap de setmana.



Taula A-6: Durada del trajecte (TP).

<i>Màquina</i>	<i>Nº Pisos (mitja)</i>	<i>Duració de trajecte (TP) [s]</i>	
		Rang	Mitja
Hidràulica (sense contrapesar)	6	5-7	6
<i>Elèctrica amb reductor</i>			
AC 2v	6	9-12	10.5
ACVV (grans)	12	7-10	8.5
ACVV (reduïts)	12	5-8	6.5
<i>Elèctrica sense reductor (gearless)</i>			
Ward-Leonard	18	4-6	5
Thyristor	18	3-5	4
VVVF*	18	2-4	3

Font: CIBSE [12]. (*) Valor estimat.

Taula A-7: Utilització en funció de l'aplicació.

<i>Tipus d'edifici</i>	<i>Hores d'operació [h/dia]</i>	<i>Índex d'intensitat</i>		
		Dilluns - Divendres	Dissabte	Diumenge
Residencial	16	1.0	1.0	1.1
Centres comercials	12	1.0	0.5	0.1
Empresa de serveis	10	1.0	0.9	1.3
Petit comerç	10	1.0	1.4	1.5
Hostaleria	10	1.0	1.1	1.3
Hospitals	12	1.0	1.0	1.0
Escoles	10	1.0	0.5	0.1

Font: CIBSE [12].



A.4.5.2 Mètode del SIA Standard 380/4.

Aquest mètode desenvolupat per la Swiss Society of Engineers and Architects (SIA) a l'any 2006 [8], representa una alternativa més recent al desenvolupat per Schroeder al 1990, encara que cal ressaltar que la formulació és molt similar (s'inclouen algunes millores).

$$E_{F,a} = \frac{Z_F \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot h_{\max} \cdot P_m}{v \cdot 3600} \quad \text{(Equació A-11)}$$

On:

Ed Energia consumida anualment (només consums directes) [kWh/a]

P_m Potència nominal de la màquina [kW]

Z_F Nombre mig d'arrencades a l'any

v Velocitat mitja [m/s]

k_1 Factor de càrrega mitja (índex tecnològic)

k_2 Factor de recorregut

h_{\max} Recorregut màxim entre el pis més baix i el més alt [m]

S'observa que el paràmetre Z_F és anàleg al ST corresponent a la metodologia de Schroeder, però amb dades anuals. En aquest cas, la Swiss Society of Engineers and Architects estableix els següents valors a tenir en compte en funció del tipus d'edifici: residencial, 60.000; oficines, 200.000; hospitals, 700.000.

El mateix ocorre amb la potència nominal P_m , que és equivalent a la R del mètode anterior. En aquest cas aquesta potència es corregeix mitjançant la utilització del paràmetre k_1 (índex tecnològic), el qual està establert a l'Standard de la següent forma: sistemes elevadors elèctrics (de tracció), 0,35; sistemes elevadors elèctrics (de tracció) amb regeneració, 0,21; sistemes hidràulics sense contrapesar, 0,3. S'observa que aquest paràmetre té en compte la naturalesa de la tecnologia així com el nivell d'ocupació mig.

Pel que fa a la durada del trajecte, s'observa que d'igual forma es troba implícit el seu càlcul en la formulació proposada per la SIA. En aquest cas, la durada del trajecte es calcula en funció de la velocitat nominal del sistema v (en certa manera és un càlcul anàleg al proposat per Schroeder), corregida per un factor que té un valor de 0,5 sempre que el recorregut sigui de més de 2 plantes (el més habitual).

A.4.5.3 Mètode de l' International Organizaion for Standarization (ISO).

Aquest mètode desenvolupat pel *working group* TC/178/WG10, és una barreja entre els dos que s'han exposat anteriorment. La formulació és la següent:



$$E = \frac{T_p \cdot D \cdot W \cdot t_f \cdot (0,5 \cdot N) \cdot R}{3600} + S_t \quad \text{(Equació A-12)}$$

On:

E	Energia consumida anualment [kWh/a]
D	Nombre de dies hàbils setmanals [dies/setmana]
W	Nombre de setmanes hàbils a l'any [setmanes/any]
R	Potència nominal de la màquina [kW]
T _p	Nombre mig d'arrencades al dia
t _f	Temps per recórrer un pis [s]
N	Nombre total de pisos
S _t	Consum indirecte [kWh]

La formulació és anàloga a la del mètode proposat pel SIA, però deixa de tenir en compte l'índex tecnològic, i afegeix un terme de gran importància com és el consum indirecte. Aquest fet és conseqüència directe de que l'organització SIA sigui la *Project Lead* del *working group* que ha desenvolupat aquesta metodologia.

Per altra banda, fa servir de nou el concepte de temps de recorregut proposat per Schroeder.

Taula A-8: Valor estimatiu dels paràmetres del model ISO.

Nivell d'utilització	T _p Nombre mig d'arrencades al dia	D dies hàbils setmanals
Baix	<100	Servei (7) Magatzem (5)
Mig	300	Centres comercials (7) Pàrquings oficines (5) Pàrquings generals (7) Residencial (7)
Alt	750	Hotels (7) Oficines (5) Aeroports (7) Hospitals (7)
Intensiu	1000	Edificis oficines alts (5)

Font: Barney [14].

A.4.5.4 Valoració i proposta d'una metodologia d'estudi.

Als anteriors apartats s'han exposat 3 metodologies, les quals tenen entre sí importants similituds. Tot i així, entre elles la que s'ha considerat que la que s'ajusta més a la realitat és la proposada per la SIA, degut a que permet diferenciar les tecnologies mitjançant el



paràmetre k1. L'existència d'aquest paràmetre també permet valorar les actuacions que es poden dur a terme per tal de millorar l'eficiència energètica.

Per altra banda, tal i com s'introdueix a l'apartat A.4.1.2.2, els consums indirectes representen una gran proporció del consum energètic dels sistemes elevadors. Per tant, per tal d'obtenir un bon resultat, aquesta metodologia ha de ser combinada amb el càlcul dels consums indirectes tal i com es fa a [8].

A continuació es mostra el càlcul del paràmetre k1 tal i com indica el mètode SIA Standard 380/4. Aquest consisteix en fer una estimació de la probabilitat de que un sistema elevador tingui una ocupació determinada, i calcular després el paràmetre de funcionament mitjançant una ponderació.

Sistemes hidràulics

Taula A-9: Valor estimatiu dels paràmetres per la determinació de k1 dels hidràulics.

Ocupació de la cabina	Moviment	Potència desenvolupada	Probabilitat
100,00%	Pujada	100,00%	0,00%
	Baixada	0	0,00%
75,00%	Pujada	87,50%	5,00%
	Baixada	0	5,00%
50,00%	Pujada	75,00%	5,00%
	Baixada	0	5,00%
25,00%	Pujada	62,50%	15,00%
	Baixada	0	15,00%
0,00%	Pujada	50,00%	25,00%
	Baixada	0	25,00%

Font: SAFE, 2006.

Per tant, el valor de k1 serà:

$$k1 = \frac{\sum_i (Pot.des_i \cdot Prob_i)}{100\%} = 30\%$$

Sistemes elèctrics no regeneratius

Taula A-10: Valor estimatiu dels paràmetres per la determinació de k1 dels elèctrics.

Ocupació de la cabina	Moviment	Potència desenvolupada	Probabilitat
100,00%	Pujada	100,00%	0,00%
	Baixada	0,00%	0,00%
75,00%	Pujada	50,00%	5,00%
	Baixada	0,00%	5,00%
50,00%	Pujada	0,00%	5,00%
	Baixada	0,00%	5,00%
25,00%	Pujada	0,00%	15,00%
	Baixada	50,00%	15,00%
0,00%	Pujada	0,00%	25,00%
	Baixada	100,00%	25,00%

Font: SAFE, 2006.



Per tant, el valor de k1 serà:

$$k1 = \frac{\sum_i (Pot.des_i \cdot Prob_i)}{100\%} = 35\%$$

Sistemes elèctrics regeneratius

Taula A-11: Valor estimatiu dels paràmetres per la determinació de k1 dels elèctrics no regeneratius.

Ocupació de la cabina	Moviment	Potència desenvolupada	Probabilitat
100,00%	Pujada	100,00%	0,00%
	Baixada	-40,00%	0,00%
75,00%	Pujada	50,00%	5,00%
	Baixada	-20,00%	5,00%
50,00%	Pujada	0,00%	5,00%
	Baixada	0,00%	5,00%
25,00%	Pujada	-20,00%	15,00%
	Baixada	50,00%	15,00%
0,00%	Pujada	-40,00%	25,00%
	Baixada	100,00%	25,00%

Font: SAFE, 2006.

Nota: Considerant un rendiment regeneratiu del 40%.

Per tant, el valor de k1 serà:

$$k1 = \frac{\sum_i (Pot.des_i \cdot Prob_i)}{100\%} = 21\%$$

A.4.6 Factors que afecten a l'energia consumida

Tal i com s'ha vist durant el desenvolupament d'aquest capítol, existeixen nombroses tipologies de sistemes elevadors, que a més es diversifiquen encara més a causa del fet de que cada instal·lació s'adapta a necessitats molt variades, el qual porta com a conseqüència el fet que pràcticament no hi hagi dues instal·lacions iguals.

Tal com recull Lutfi R. Al-Sharif en el seu article publicat en Elevator World al 1996 [13], es poden ressaltar com a factors de major importància els que es mostren a continuació:

- Tipus de màquina: hidràulica, elèctrica AC 2v, AC VVVF, etc.
- Disseny del circuit de tracció: presència/absència de reductor, nombre de corrioles, etc.
- Rendiment energètic dels components, especialment pel que es refereix al reductor en cas que n'hi hagi.
- Tecnologia del reductor (quan apliqui).
- Inèrcia total del sistema.
- Capacitat de regeneració.
- Utilització (tipus d'edifici, densitat de tràfic, etc.).
- Consums indirectes.



