

UNIVERSITAT DE LLEIDA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRÀRIA

**PROJECTE FINAL DE CARRERA**

---

**OPTIMITZACIÓ D'ESTRUCTURES D'ACER  
PORTICADES PER A NAUS INDUSTRIALS MITJANÇANT  
LA UTILITZACIÓ DE PROGRAMES COMERCIALS DE  
DISSENY ESTRUCTURAL**

---

ENGINYERIA AGRÒNOMA

Orientació d'Enginyeria rural

Javier Moreno Riera  
Lleida, Febrer de 2011

# **1.- INTRODUCCIÓ**

## 1.- INTRODUCCIÓ

### 1.1. - Les estructures metàl·liques d'acer per a naus industrials

Les estructures metàl·liques d'acer formen la part resistent i de sustentació d'una construcció. Són utilitzades en la major part dels països europeus per la seva combinació d'eficàcia estructural i aplicació funcional. Es realitzen amb barres, elaborades industrialment, els perfils de les quals responen a diferents tipus, com per exemple: perfil T, perfil I, de secció rodona, o quadrada, etc.

Amb la combinació de tots els elements i en disposicions determinades d'acord al cas específic, existeix una variada gamma de possibilitats de disseny per a estructures metàl·liques. S'utilitzen en la realització de pòrtics ortogonals d'edificació, pòrtics de naus industrials, per estructures de ponts i torres i per altres construccions singulars (camps d'esports, auditoris, etc...). Aquest estudi es centrarà en estructures porticades d'acer per a naus industrials.

Les tipologies simples dels sistemes estructurals també poden ser dissenyades amb elements corbs, bigues alveolars, bigues perforades, de secció variable, etc. Veure figures 1.1-1.4.



Fig.1.1.- Pòrtic a dues aigües.



Fig.1.2.- Pòrtic a dues aigües de secció variable.



Fig.1.3.- Pòrtics adossats a dues agües.



Fig.1.4.- Pòrtic d'elements corbs i perforats.

L'estudi es centra única i exclusivament en el dimensionat de naus porticades d'acer a dues agües amb la incorporació de cartel·les per a la optimització. Veure figura 1.5.

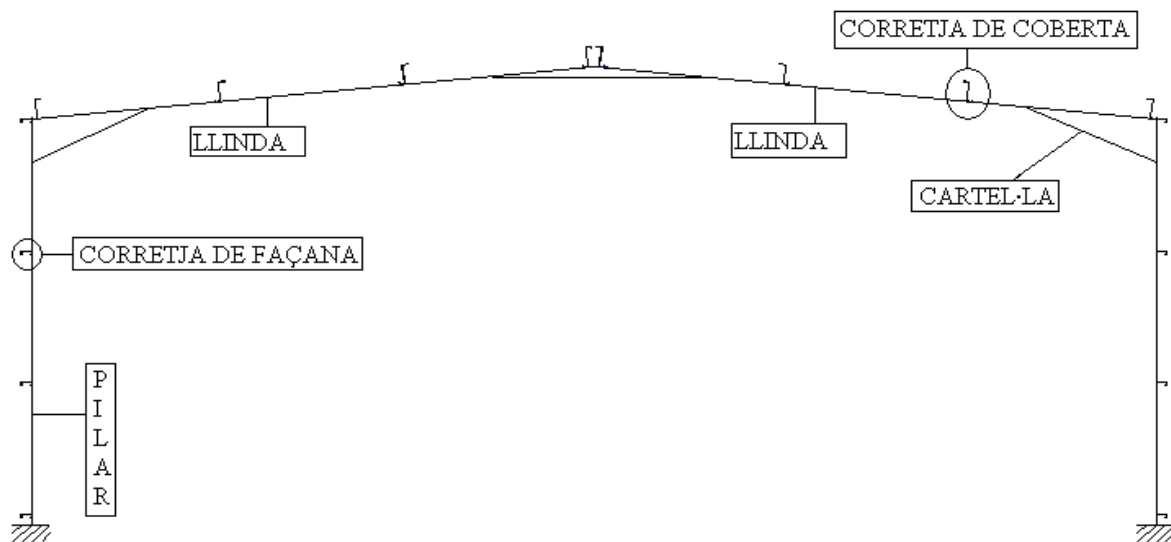


Figura 1.5.- Nau porticada a dues agües tipus de l'estudi.

## Avantatges de l'acer

L'acer com a material té diverses propietats favorables en les diferents fases del projecte, fabricació i muntatge. La principal propietat és la seva resistència. En naus amb perfils conformats en fred s'utilitza l'acer S235, i si es tracta de perfils laminats en calent s'utilitza S275. La relació de la seva resistència amb el volum que ocupa o el pes que suposa son superiors al formigó. L'alta relació resistència/pes, fa que les naus d'acer

siguin adequades per a grans llums, gran envergadura, càrregues importants, terrenys amb dèbil capacitat portant, etc.

Una altra propietat important és la ductilitat, és a dir, que el material pot suportar una força considerable provocant deformacions però, això si, abans de trencar-se.

Pel que fa al comportament estructural l'acer és lineal i simètric, amb un diagrama tensió-deformació exemplar exceptuant les seccions de classe 4. No hi ha pèrdues per fisuració i la corrosió pot ser controlada.

## □□□□□□ **Optimització de naus porticades**

L'optimització s'hauria de formular en relació als costos del cicle de vida incloent els costos de materials, fabricació, desplaçament, construcció, manteniment i desmuntatge de l'estructura al final del seu cicle. Atesos, però, a la complexitat que comporta l'adquisició de tota aquesta informació, l'estudi es focalitza en l'optimització en pes per unitat de superfície de l'estructura.

L'optimització en pes per unitat de superfície comporta una reducció de l'acer a l'estructura i com a conseqüència un estalvi econòmic.

Una manera d'optimitzar el pes d'una nau porticada és estudiar els factors més influents en el dimensionat de la nau. Definir amb coherència i exactitud els paràmetres i variables que operen dins el disseny fa que s'ajusti el pes d'una estructura a les necessitats reals de l'explotació.

El pes de l'estructura ve definit per múltiples factors. Aquests poden ser paràmetres o variables depenen de com es defineixin. Els paràmetres són valors fixes al llarg dels càlculs d'un pòrtic. Els factors climàtics són un clar exemple de paràmetre ja que venen definits pel lloc i la seva climatologia. No són modificables. Les variables, en canvi, són valors que poden ser modificats segons el criteri del projectista i/o promotor.

L'element corretja té com a variables la separació de corretges, la tipologia i la sèrie del perfil. En pòrtics, en canvi, només es tenen la tipologia i la sèrie del perfil tant per la llinda com pel pilar. Es juga amb aquestes variables en l'optimització.

Els paràmetres de disseny estructural llum, i l'alçada del pòrtic, normalment, venen definides pel tipus d'activitat a realitzar, exigències de la parcel·la, normativa urbanística del municipi, etc. Es comporten com a paràmetre per a l'optimització de corretges i pòrtics però a nivell global, comparativa entre pòrtics, es poden considerar com a variables.

La cartel·la és un altre factor a estudiar. Aquest element redueix pes a l'estructura ja que és un element utilitzat en punts on els esforços de flexió són màxims, per evitar el sobredimensionat de les llindes o dels pilars.

## **1.2. - Software informàtic**

El maneig d'un programa informàtic adaptat al disseny estructural esdevé una eina molt útil per alleugerir el procés de càlcul. La universitat ha obtingut la llicència del programa *CYPE INGENIEROS. Nou Metal 3D® i Generador de Pòrtics® versió 10.d*, (2000). L'aprenentatge d'aquests és una motivació extra.

El Generador de Pòrtics® és el programa encarregat de dibuixar la geometria de l'estructura, utilitzar les accions permanents i les accions variables d'un pòrtic introduïdes per a realitzar un primer predimensionat de les corretges de coberta i laterals de façana.

Per la seva part, el Nou Metal 3D® és l'encarregat del predimensionat de les llindes i pilars del pòrtic i de realitzar les comprovacions del *Ministerio de Vivienda. Código Técnico de la Edificación. Documento básico de la seguridad estructural del acer (CTE DB-SE A).6 Estado límite últimos*, (2006).

## **Nou marc normatiu**

### **□□□□□□ Codi Tècnic de l'Edificació**

2006 va ser l'any que va entrar en vigor el CTE, realitzat per Ministeri d'Habitatge, substituint l'obsoleta Norma Bàsica de l'edificació (NBE). L'aprovació del CTE va

suposar la modernització de l'antiga norma i un apropament al marc normatiu europeu, l'Eurocodi.

El CTE està compost per sis Documents Bàsics (DB) dels quals, únicament el DB de Seguretat Estructural (DB-SE) es té en compte a llarg d'aquest estudi. L'objectiu d'aquest és assegurar que l'edifici tingui un comportament estructural adequat contra les accions i influències previsible a les que es pot estar sotmès durant la seva construcció i ús previst.

El DB-SE constitueix la base per als Documents Bàsics següents i s'utilitzaran conjuntament amb ells:

- Document Bàsic Seguretat Estructural en Accions de l'edificació (DB-SE AE): El camp d'aplicació d'aquest document és la determinació de les accions sobre els edificis, per a verificar el compliment dels requisits de seguretat estructural i aptitud de servei establerts en el [DB-SE](#).
- Document Bàsic de la seguretat Estructural en Acer (DB-SE A): S'utilitza per a verificar la seguretat estructural dels elements metàl·lics fabricats amb acer en l'edificació. Queden exclosos els elements no genèrics que requereixen consideracions especials.

Existeix una altra normativa a nivell europeu que coactua amb el CTE. El contingut de les normes de *l'Associació Espanyola de Normalització i Certificació. Eurocodi 3. Projecte d'estructures d'acer. Part 1-1: Regles generals i regles per edificis. UNE-EN 1993-1-1. MADRID, (2008)* és una norma més restrictiva en alguns aspectes específics com és el cas de limitacions en la deformació.

## □□□□□□ **Eurocodi**

Els Eurocodis estructurals comprenen un grup de normes per a projectes estructurals i geotècnics d'edificis i obres d'enginyeria civil. El projecte dels Eurocodis va començar l'any 1975, amb l'objectiu d'eliminar les barreres tècniques al comerç i l'harmonització de les especificacions tècniques.

Actualment, en alguns països, part d'aquest Eurocodis tenen encara caràcter experimental, si bé el Comitè Europeu de Normalització ja les ha aprovat com a normes europees.

Existeixen 10 Eurocodis Estructurals, dividits a la vegada en diverses parts i subparts. L'Eurocodi 3 té un notori interès en aquest estudi ja que recull les regles i principis per als càlculs d'estructures d'acer. Es pretén que cada Eurocodi vagi acompanyat del respectiu Annex Nacional corresponent al país d'on s'ubica la obra. A nivell Espanyol, s'utilitza aquesta normativa conjuntament amb CTE.



## **2.- OBJECTIUS**

## **2.- OBJETIUS DEL PROJECTE**

Pràcticament l'optimització és un terme complicat d'assolir en aquest estudi degut a la complexitat dels càlculs i la infinitat de variables que intervenen en el dimensionat. De totes maneres es marca com a objectiu principal de l'estudi trobar la solució òptima o pròxima a aquesta en pes per unitat de superfície de 48 estructures d'acer porticades per a naus industrials amb diferents valors de la llum, l'alçada i la modulació. A més a més que s'adaptin a la nova normativa.

Es busca obtenir uns criteris i/o pautes d'optimització en el procés de disseny estructural per les 48 estructures porticades per tal d'agilitar els càlculs, la presa de decisions i tanmateix la reducció de temps de disseny.

Es pretén estudiar la tendència del pes de l'estructura en funció de les variables més importants d'un pòrtic. També es pretén analitzar el comportament de les cartel·les al llarg dels 48 pòrtics per esbrinar les variables més influents en la seva funció optimitzadora.

Es pretén l'estudi de les tres variables llum, l'alçada i la modulació entre pòrtics en el context global dels 48 pòrtics per tal d'esbrinar quina incidència té cadascuna en corretges i en pòrtics i si tenen interacció entre elles.

### **3.- METODOLOGIA**

### **3.- METODOLOGIA**

El treball es basa en l'estudi de l'element corretges, l'element pòrtics i el conjunt dels dos elements en estructures d'acer a dues aigües amb unions encastades en la seva base, tenint en compte tres variables,

- 1) La llum del pòrtic.
- 2) L'alçada del cap dels pilars.
- 3) La modulació o distància entre pòrtics.

a fi i efecte d'estudiar el comportament i trobar uns criteris d'optimització dels dos elements d'estudi. El pòrtic és considerat la estructura primària i/o principal del treball, composta pel pilar, la llinda i la cartel·la. L'altra estructura no menys important és l'anomenada estructura secundària composta per les corretges a la coberta i a les façanes.

Donada la infinitat de possibles solucions de pòrtics resultants de les combinacions de les tres variables anomenades anteriorment, s'acoten i es fixen les accions actants i la tipologia de l'estructura. Es segueix com a referència el llibre del *Instituto Técnico de la Estructura de Acero (ITEA)*. “*Guia para el diseño estructural en acero de naves industriales ligeras DEANIL*”, (ITEA, 2000).

#### **3.1. - Tipologia estructural**

Les naus industrials habitualment es caracteritzen per utilitzar grans llums, ser estructures esveltes i poc pesants, en cas de l'acer, i diàfanes en el seu interior.

La tipologia estructural d'aquest estudi, tenint en compte el paràgraf anterior, es caracteritza per tenir els nusos rígids entre els elements, una coberta a dues aigües i els pilars encastat en la seva base per a tots els casos.

Tant en l'estructura primària com en la secundària s'utilitza l'acer del tipus S275JR per a perfils laminats en calent i S235JR per a perfils conformats en fred. Les característiques comunes de l'acer utilitzat són les següents:

- Mòdul d'Elasticitat:  $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$ .
- Mòdul de rigidesa:  $G = 81.000 \text{ N/mm}^2$ .
- Coeficient de Poisson:  $\nu = 0,3$
- Coeficient de dilatació tèrmica :  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$ .
- Densitat:  $\rho = 7.850 \text{ kg/m}^3$ .

## □□□□□□□ **Estructura primària**

Es consideren com a estructura primària els pòrtics d'una nau. Dins el pòrtic apareixen tres elements que el componen: la llinda, el pilar i la cartel·la.

### **3.1.1.1.— Pòrtic principal**

El pòrtic és l'estructura més important d'una nau. En el seu conjunt s'estableixen tres característiques que el tipifiquen:

- Tipus de base: encastats.
- Nusos entre llinda i pilar: rígids.
- Elements de pòrtic (perfils d'ànima plena)

La seva geometria es determina en funció de les dimensions globals de la nau, amplada, longitud i l'alçada total i a més a més el pendent de la coberta. Pels pòrtics s'utilitzen els perfils laminats en calent.

Les famílies de perfils considerades pels diferents elements del pòrtic són:

a) Pels pilars: Els pilars s'optimitzen utilitzant perfils de la sèrie HEA (euronorma 53-62) o en cas de no complir de la sèrie HEB, per tenir una inèrcia superior en l'eix dèbil.

b) Per les llindes: En aquest element es consideren tres sèries de perfils diferents per aquest ordre: IPE, HEA o HEB. En cas de no complir la primera tipologia es passa a la segona i si aquesta tampoc compleix finalment es dimensiona amb la HEB.

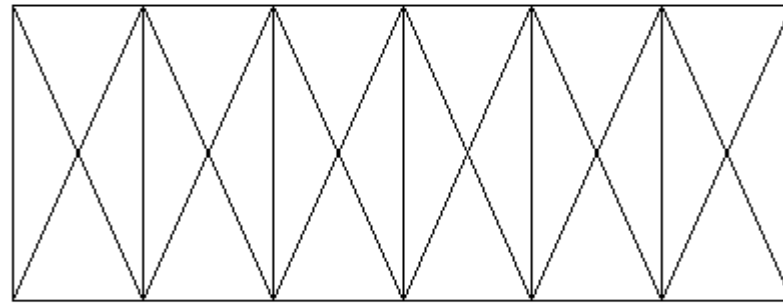
Les cartel·les són peces d'acer de forma triangular que poden anar soldades en qualsevol cantonada interior i/o exterior del pòrtic. S'utilitzen o bé per reforçar l'element augmentant el cantell del mateix perfil, reduir la fletxa de la clau/carener o simplement per reforçar la unió entre elements.

En aquest estudi prenen protagonisme degut essencialment als esforços produïts al llarg del pòrtic que generalment, es concentren als extrems de l'element estructural. Això fa que aquest element sigui de gran utilitat per reduir pes.

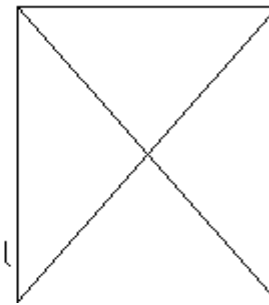
### **3.1.1.2.— Sistema de travat**

Els sistema de travat ha de dotar als plans de coberta d'estabilitat i ha de garantir rigidesa lateral a l'estructura. També ha de rebre les forces del vent de façana lateral i frontal.

Totes les corretges traven la llinda i el pilar fora del pla del pòrtic. Per això es considera que hi ha biga contravent i entramat lateral entre el primer i el segon pòrtic (i entre l'últim i el penúltim també) (Veure figura 3.1). Les creus de Sant Andreu es col·loquen entre corretges de coberta i laterals de façana. També s'utilitza una biga de lligat per a tot el perímetre.



Biga contravent



Entramat lateral

Figura 3.1.- Biga contravent i entramat lateral.

### 3.1.1.3.- Altres elements no considerats

Unions: S'assumeixen unions que simplement garanteixin una unió rígida entre elements mitjançant rigiditzadors, platines i altres elements. També han de garantir l'encastament del pilar a les sabates.

Fonaments: Les sabates hauran de garantir l'estabilitat en bolcada i lliscament, i evitar l'enfonsament en el terreny.

### □□□□□□ Estructura secundària

Les corretges són l'objecte d'estudi en l'estructura secundària d'una nau però hi ha també altres elements indispensables per a la realització de la nau que es parametrizen.

### 3.1.2.1.- Coberta i façana

La coberta i la façana d'una nau ve determinada pels nivells d'aïllament tèrmic i acústic necessaris, el requisit d'estanqueïtat, així com per l'aspecte estètic que es desitgi.

Dintre de l'amplia gamma de productes existents, s'elegeix una coberta i una façana lleugera, garantint les següents especificacions mecàniques:

- Separació entre recolzaments màxima de 2'5 metres.
- Un pes aproximat d'uns 0'15 kN/m<sup>2</sup>.

### **3.1.2.2.- Les corretges en coberta**

La funció principal de les corretges de coberta és la de suportar a la coberta i les càrregues que actuen sobre ella. En aquest cas, també estan incloses dins del sistema de travat.

L'optimització d'aquestes ha de ser acurada ja que són l'element més nombrós de l'estructura. Una part d'aquest estudi es dedica a optimitzar aquest element per tal de reduir pes a l'estructura.

S'utilitzen perfils conformats en fred ZF, al ser més lleugers, sempre i quan compleixin amb les comprovacions pertinents, en cas contrari s'usaran perfils laminats en calent IPE. Es considera que les corretges són contínues al llarg de la nau.

### **3.1.2.3.- Corretges laterals**

La funció principal de les corretges laterals és la de transmetre l'acció del vent sobre les façanes als pilars. A més, quan formen part del sistema de travat, permeten reduir les longituds de vinclament dels pilars.

S'utilitzen perfils conformats en fred CF, al ser més lleugers, sempre i quan compleixin amb les comprovacions pertinents, en cas contrari s'usaran perfils laminats en calent IPE. Es considera que les corretges són contínues al llarg de la nau.

## **3.2. - Criteris geomètrics**

La geometria es considera simètrica i igual per a tots els pòrtics.



- Es defineixen els pòrtics simètrics segons l'eix longitudinal i iguals al llarg de tota la nau.
  - Es considera perfils comercials en el mercat de l'acer utilitzats per la gran majoria de projectistes.

La llum, la alçada, la modulació i el pendent de coberta determinen el disseny geomètric dels pòrtics a estudi. D'aquesta manera es tenen quatre valors de la llum, tres de l'alçada, quatre de la modulació i un del pendent de coberta. Això fa un total de 48 pòrtics a estudiar.

### □□□□□□□ **Llum del pòrtic**

La llum del pòrtic és la distància de càlcul entre els dos pilars extrems del mateix pòrtic, i mesurada paral·lelament al pla del pòrtic. Veure figura 3.2.

Es considera paràmetre per al càlcul d'optimització de cada pòrtic però, en canvi, es considera variable en l'estudi global del conjunt dels 48 pòrtics tot i que, normalment ve determinada per les dimensions de la parcel·la i/o pel tipus d'activitat de la nau o fins i tot per la normativa urbanística. S'estableixen quatre valors per la llum del pòrtic: 15, 20, 25 i 30 metres.

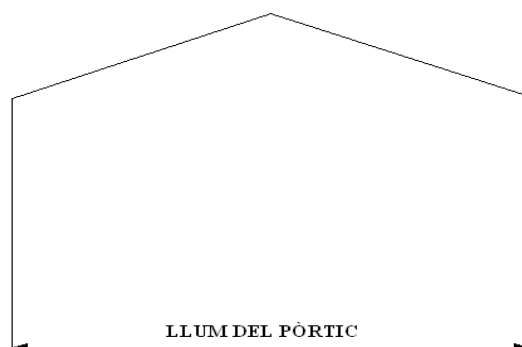


Figura 3.2.- Llum del pòrtic.

## □□□□□□□□ Alçada del cap dels pilars

L'alçada del cap del pilar es defineix com la longitud des de la base del suport o pilar fins al cap del mateix. En el nostre cas, la geometria del pòrtic ha estat simètrica, es a dir que els dos suports o pilars són iguals. Veure figura 3.3.

L'alçada del cap del pilar es determina pel tipus d'activitat que es pretén realitzar i/o per les limitacions de la normativa urbanística. Actua de la mateixa manera que la llum; per una banda és un paràmetre en el càlcul individual del pòrtic però, per l'altra banda actua com a variable en l'estudi del conjunt. Els valors que es prenen per l'alçada són: 5'75, 8'25 i 10,75 metres.

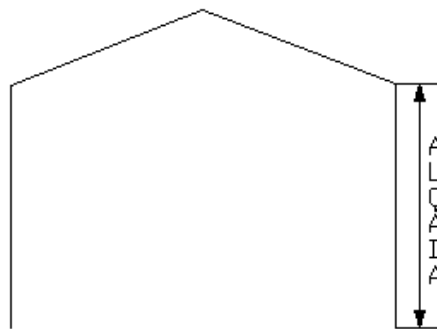


Figura 3.3.- Alçada del pòrtic.

## □□□□□□□□ Modulació

La modulació és la distància entre pòrtics contigus de la mateixa nau. (Veure Figura 3.4). La modulació es considera constant al llarg de tota la nau.

De les tres variables a estudi, aquesta és l'única que normalment es decidida pel projectista. És a dir, actua com a variable per obtenir un òptim de pes. Però en aquest cas, es fixa com a paràmetre pel al càlcul d'optimització. De totes maneres, per al disseny dels pòrtics agafa quatre valors: 5, 6, 9 i 12 m., sabent que la modulació de 9 m. està fixada, en molts casos, per les necessitats logístiques de recepció de mercaderies i que, la modulació de 12 m. és inusual a menys que el promotor ho especifiqui. En l'estudi global és una variable.

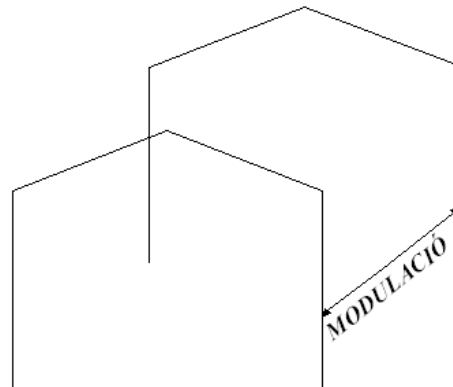


Figura 3.4.- Modulació entre pòrtics.

### □□□□□□ **Pendent de coberta**

El pendent de la coberta és la inclinació que es dona a la coberta per a que les aigües pugui baixar amb facilitat.

En el seu llibre (Arnedo, 2009) aconsella un pendent d'entre el 8 i el 10% per evitar possibles embassaments que produeixin acumulació d'aigua en pendents inferiors i augment de superfície de coberta innecessària en pendents superiors.

### □□□□□□ **Cartel·les**

Les cartel·les a la llinda assoleixen un màxim del 15% de la seva llargada en cadascun dels extrems. En canvi, les cartel·les al pilar, poc comunes però que es vol estudiar el seu rendiment, s'utilitzen en un màxim del 20% de la l'alçada del pilar.

### □□□□□□ **Separació de corretges**

La separació de corretges ( $S_c$ ) és la distància que hi ha entre una corretja i la contigua. Totes les corretges tenen la mateixa separació. Conseqüentment la mateixa superfície tributària exceptuant les de l'extrem.

La  $S_c$  és una de les variables resposta en l'optimització de corretges i per tant no es fixa a un valor determinat. Cada pòrtic obté la seva  $S_c$  òptima.

De totes maneres es fixa el rang que el valor pot assolir. Assumint que valors de menys d'un metre no són òptims i tenint en compte les característiques de la coberta, el valor ha d'estar comprès entre 1 i 2,5 metres.

### **3.3. - Accions**

#### **□□□□□□□□ Càrregues permanents**

Són càrregues verticals aplicades sobre una estructura que inclou el pes propi de la mateixa més la dels elements que estaran situats permanentment sobre ella. En aquest cas es consideren dues càrregues actuants sobre les corretges en coberta,

- Instal·lacions en coberta: 0,10 kN/m<sup>2</sup>.
- Pes propi de la coberta: 0,15 kN/m<sup>2</sup>.

i una sobre les corretges en façana:

- Pes propi de la façana: 0,15 kN/m<sup>2</sup>.

El pes propi dels elements estructurals és funció del propi dimensionat.

#### **□□□□□□□□ Sobrecàrrega d'ús**

La sobrecàrrega d'ús en un element resistent és el pes de tots els objectes que poden gravitar sobre ell per raons d'ús.

Generalment a les cobertes de les naus industrials se'ls aplica una categoria d'ús G, segons el *CTE DB-SE-AE*. *Taula 3.1 Valors característics de les sobrecàrregues d'ús*, on la coberta és accessible únicament per conservació. En el nostre cas, el pendent és inferior al 20 %, per tant està dins de la subcategoria G1.

A més a més, s'ha escollit una coberta lleugera sobre corretges. En definitiva, el valor indicat per aquest tipus d'acció ha estat 0,4 kN/m<sup>2</sup>. Veure Taula 3.1

Taula 3.1.- Valors característics de les sobrecàrregues d'ús segons el CTE-DB-AE.

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m <sup>2</sup> ]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 <sup>(1)</sup>
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente <sup>(2)</sup>			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación <sup>(3)</sup>	G1 <sup>(7)</sup>	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 <sup>(4)</sup> , <sup>(5)</sup>	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) <sup>(6)</sup>	0,4 <sup>(4)</sup>	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

## Acció del vent

La acció del vent es considera com una força que actua perpendicularment a la superfície de cada punt exposat de cada element.

Aquesta estudi pretén orientar els càlculs a nivell de Catalunya. *El CTE DB-AE.* *Figura D.1 Valor básico de la velocidad del viento,  $v_b$ ,* mostra un mapa de l'estat espanyol amb les diferents zones del valor bàsic de la velocitat del vent. La comunitat d'estudi està situada dins la zona C, indicant una pressió dinàmica de 0'52 kN/m<sup>2</sup>. Veure la Figura 3.5.

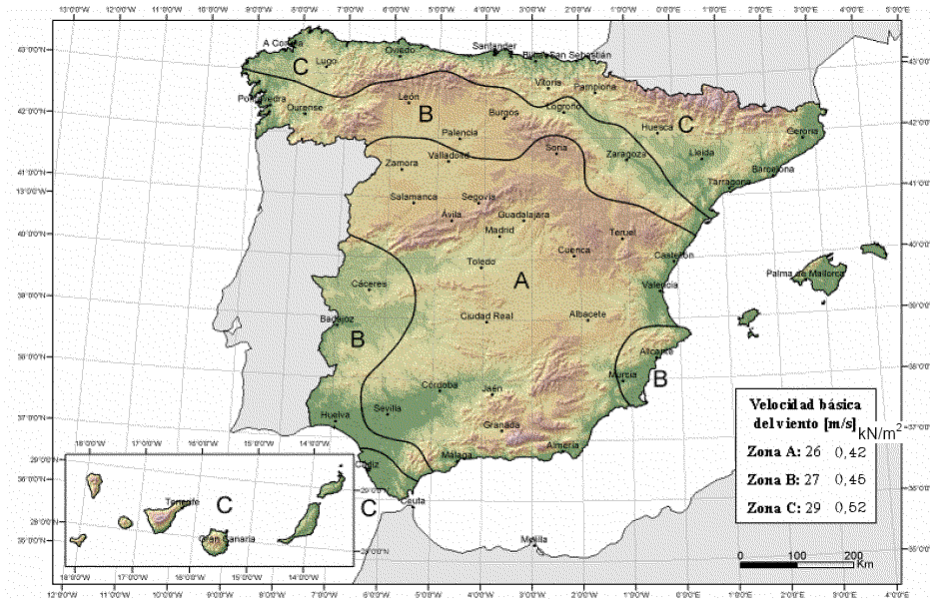


Figura.3.5.- Valor bàsic de la velocitat del vent,  $v_b$  segons el CTE-DB-AE.

El grau d'aspror de l'entorn que exigeix el *CTE DB-SE-AE Taula 3.4 Valors del coeficient d'exposició  $C_e$* , es considera de grau III, zona rural accidentada o plana amb alguns obstacles aïllats, amb arbres o construccions petites. Tractant-se de naus industrials, també es pot escollir un grau IV però es té en compte el pitjor dels dos casos per estar sempre del costat de la seguretat. Veure Taula 3.2.

Taula 3.2.- Valors del coeficient d'exposició  $c_e$ .

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

## Acció de la neu

La distribució i la intensitat de la càrrega de neu sobre una coberta, depèn entre altres factors de la forma i inclinació de la coberta i dels efectes del vent. La neu es calcula com a càrrega vertical però sobre un pla horitzontal.

Com es diu anteriorment, l'estudi vol ser de caràcter general arreu de Catalunya. Segons el CTE DB-SE-AE Taula 3.8 sobrecàrrega de neu en capitals de província i ciutats autònomes, cap de les capitals de província supera els 0,6 kN/m<sup>2</sup> essent aquest valor, l'escollit com a valor genèric. Veure la Taula 3.3.

Taula 3.3.- Sobrecàrrega de neu en capitals de província i ciutats autònomes.

Capital	Altitud m	s <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	s <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	s <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup>
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Salamanca	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	SanSebas- tían/Donostia	780	0,5
Almeria	0	0,2	Huesca	470	0,7		0	0,3
Àvila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	1.000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	10	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	1.090	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	0	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	950	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	550	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Orense / Ourense	130	0,4	Valencia/València	0	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	690	0,4
Coruña / A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria / Gasteiz	520	0,7
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	650	0,4
Gerona / Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	210	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona/Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

### 3.4. - Criteris generals de càlcul i optimització

El present treball satisfà les especificacions del CTE en quant a les comprovacions de resistència dels elements estructurals i, en cas de deformacions verticals i horitzontals, les especificacions es regeixen, en gran part, pel esmentat CTE i en aspectes concrets satisfà les restriccions de l'Eurocodi 3 per considerar-les més adequades per un projecte d'estructures d'acer de naus industrials i que, a més a més, no disminueixen el nivell de seguretat establert en el CTE.

#### □□□□□□ Criteris generals de càlcul i optimització en corretges

##### 3.4.1.1.- Limitacions de deformacions

L'elecció de la coberta, d'ús exclusiu pel manteniment, condiona el límit de la fletxa vertical. Segons les recomanacions de l'EAE (2010) taula 37.2.1 Valors límit

*indicatius recomanables per a fletxes verticals* (Veure taula 3.4) la fletxa límit ha de ser  $M/200$  ( $M$  és la distància entre pòrtics), però aquest límit no està contemplat en el *Generador de Pòrtics*<sup>®</sup>. S'opta per escollir el valor més proper a aquest,  $M/250$ , essent més restrictiu, tanmateix estant pel costat de la seguretat.

Taula 3.4.- Valors límits recomanats per fletxes verticals.

Tipus d'element	Valors límit $W_{activa}$
<b>Coberta (accessible només per a manteniment)</b>	L/200
<b>Coberta accessible ( amb caràcter general)</b>	L/300
<b>Bigues i forjats ( en absència d'elements fràgils susceptibles de deterioració)</b>	L/300
<b>Bigues i forjats suportant envans ordinaris o soldats rígids amb juntes</b>	L/400
<b>Bigues i forjats suportant elements fràgils: envans, tancaments o soldats rígids</b>	L/500
<b>Bigues suportant pilars</b>	L/500
<b>Bigues suportant murs de fàbrica</b>	L/1000

#### 3.4.1.2.– Nombre de trams de corretja

El nombre de trams de corretja són els trams que salva una corretja. Tractant-se de corretges contínues al llarg de la nau, salva tants trams com el numero total de pòrtics menys un. S'estableix, per tant, continuïtat en la transmissió d'esforços.

L'opció escollida a introduït al programa és de 3 o més trams. A partir de 3 trams es considera que els moments màxims estan en el cap del pilar del segon y penúltim pòrtic. Els moments resultants de considerar 3 trams són menors que els obtinguts al considerar dos o un tram de corretja.

#### 3.4.1.3.– Tipus de fixació entre corretja i coberta

S'escull un tipus de fixació estructural rígida, la funció de la qual és evitar la bolcada lateral de la corretja evitant que es produeixi el moment torçor i el càlcul del vinclament lateral, a fi i efecte de suportar únicament l'esforç flector i tallant en el pla perpendicular a la coberta.



#### **3.4.1.4.— Tipus de fixació entre corretja i façana**

El tipus de fixació entre corretges i façana és la mateixa que per a corretges i coberta. En canvi, varien les consideracions en el comportament del conjunt entre corretja i façana.

Es considera la xapa de façana autoportant suportant el pes propi de la xapa i de les corretges. Actua, només, l'acció del vent en corretges provocant un esforç tallant en el pla perpendicular a la xapa i un flector en l'eix fort (eix y) de la corretja.

#### **3.4.1.5.— Optimització de corretges**

Un cop escollits els paràmetres de càlcul de les corretges només queda optimitzar les dues variables del procés de càlcul. La  $S_c$  i el tipus de perfil.

Al generador de pòrtics dels Cype hi ha tres opcions de càlcul d'aquestes variables:

- 1) Escollir el tipus de perfil i determinar la  $S_c$  òptima.
- 2) Fixar la  $S_c$  i en funció d'aquesta escollir el tipus de perfil més òptim en pes.
- 3) Trobar pels diferents perfils d'una mateixa sèrie la  $S_c$  òptima, dels tipus de perfils i les  $S_c$ .

L'opció escollida es la tercera ja que permet optimitzar el conjunt de les dues variables.

### **□□□□□□ Criteris generals de càlcul i optimització en pòrtics**

#### **3.4.2.1.— Limitació de les deformacions**

La limitació del desplaçament vertical en la clau o carener s'obté segons el valor límit de la taula 3.4, essent en aquest cas de  $L/200$  ( $L$  és la llum de pòrtic).

El límit en el desplaçament horitzontal o desplom màxim al cap del pilar s'obté segons l'EAE (2010) taula 37.2.2 Valors límit indicatius recomanats per a fletxes horitzontals. El valor límit resultant és de  $H/150$  ( $H$  és l'alçada del pòrtic). Veure taula 3.5.

Taula 3.5.- Valors recomanats per a fletxes horitzontals en l'extrem superior de les columnes.

Condiciones	Valors límit
<b>Pòrtics de coberta (en absència d'elements fràgils susceptibles de deterioració).</b>	$u \leq H/150$
<b>Edificis d'una planta (en absència d'elements fràgils susceptibles de deterioració).</b>	$u \leq H/300$
<b>Edificis de diverses plantes:</b>	
- <b>Total de l'estructura</b>	$u \leq H/500$
- <b>En cada planta.</b>	$u \leq H/250$
- <b>En cada planta amb envans, tancaments o soldats fràgils.</b>	$u \leq H/500$
<b>Edificis esvelts de gran alçada.</b>	$u \leq H/600$

### 3.4.2.2.- Anàlisi de l'estabilitat

#### 3.4.2.2.1 Estabilitat en front les càrregues horitzontals

L'estabilitat lateral s'aconsegueix, en el pla del pòrtic mitjançant la pròpia rigidesa del pòrtic de nusos rígids. Fora del pla del pòrtic amb el sistema de travat (biga contravent, entramat lateral i biga de lligat) i els tancaments (coberta i façana).

Per simplificar i estandarditzar el sistema de travat tant els perfils conformats en fred i laminats en calent formen part del sistema de travat, s'assumeix que sobretot els perfils conformats en fred resisteixen aquest esforç considerant que el repartiment de l'axial entre totes les corretges i muntants és de poca consideració.

Els pòrtics es consideren traslacionals en el seu pla i intraslacionals en direcció perpendicular al seu pla. El mètode de càlcul és de primer ordre.

#### 3.4.2.2.2 Anàlisi del vinclament

##### Vinclament en el pla del pòrtic:

##### a) Pilars

En el pla del pòrtic la longitud de vinclament dels pilars està determinat pel tipus de recolzament i la rigidesa relativa entre llinda i pilar. L'obtenció de la longitud de

vinclament es deixa en mans del programa que assumeix una inèrcia doble a la llinda que al pilar. Donat que les bases dels pilars estan encastats  $\beta$  oscil·la entre 1 i 2.

b) Llinda

Pel que fa a aquest element, es considera que  $\beta$  obté, sempre, el valor de 1 ja que (segons *Arnedo 2009*), assumeix que quan el pendent del faldó és del 10% o superior, la longitud de vinclament de la llinda es precisament la longitud de la mateixa.

Vinclament fora del pla del pòrtic:

Es consideren que els pilars immobilitzats per les corretges de façana. Això implica que la seva longitud de vinclament coincideix amb la separació entre corretges.

Les llindes es consideren immobilitzades per les corretges de coberta. Per tant, la seva longitud de vinclament coincideix amb la separació entre corretges.

En aquest cas, tant en pilars com en les llindes, donat que els dos elements estan travats en aquest pla per les corretges, es considera una longitud de vinclament igual a la separació de corretges.

### **3.4.2.2.3 Bolcada lateral**

En les ales exteriors, en cas dels pilars, i en les ales superiors, en cas de les llindes i degut a la resistència i rigidesa de les corretges en coberta i de façana de l'estructura final i a la disposició i característiques dels elements d'unió entre dits sistemes s'ha considerat que des del punt de vista de la bolcada lateral:

- Els desplaçaments transversals d'aquestes ales es troben constrets.
- En cada un dels llocs d'unió els desplaçaments transversals de dites ales es troben acoblades.

### **3.4.2.3.- Criteris de disseny durant el procés d'optimització de pòrtics**

Durant el procés d'optimització es segueixen uns criteris i/o condicions per tal d'estandaritzar d'alguna manera el procés de dimensionat en la optimització. S'obtenen 5 criteris generals i són els següents:

- Cada element del pòrtic ha de treballar amb la mateixa sèrie de perfils durant tot el procés d'optimització. Es a dir, la sèrie de perfils utilitzada per la llinda pot ser diferent que la taula utilitzada pel pilar però per cada un dels elements no es pot variar.
- Rebaixar el perfil de la llinda i del pilar per aconseguir longituds de cartel·la pròximes al límit establert.
- Es pot augmentar el perfil d'un element si es pretén disminuir el perfil en l'altre element sempre i quan el pes global del pòrtic disminueixi.
- Si la base del pilar no compleix la comprovació de tensió en menys o igual d'un 1% es considera acceptat el perfil del pilar. S'entén que es els resultats estan sobredimensionats.
- Si el cap del pilar no compleix la comprovació de tensió a una zona situada dins l'àrea de la cartel·la col·locada a la llinda es considera vàlid. Afegir cartel·la implica un augment de resistència al cap del pilar que el Nou Metal 3D no considera al interpretar que la cartel·la únicament treballa sobre la llinda.

### **3.5. - Procediments pel càlcul i optimització amb CYPE**

Els càlculs de les tensions i deformacions de les corretges es realitzen mitjançant els mètodes emprats en el programa Generador de Pòrtics® i es comproven dins el mateix programa seguint les pautes del DB-SE-A. Per a pòrtics s'usa el Nou Metal 3D®.

#### **□□□□□□□□ Procediments pel càlcul de corretges en el Generador de Pòrtics®**

Pel càlcul de corretges el programa usa el model de biga continua amb un nombre de trams definit per l'usuari.

### 3.5.1.1.– Dades generals de l'obra

S'introdueixen les dades d'obra ,definides amb anterioritat, en el panell de dades d'obra que genera el programa (veure Figura 3.6). Aquestes són les següents.:

- Nombre de trams de la nau. Es decideix introduir 5 trams per a obtenir una longitud mínima de 25 metres.
- Tancament en coberta: Inclou el Pes del tancament (pes propi de la coberta ( $0,15\text{kN/m}^2$ ) i el pes de les instal·lacions ( $0,10\text{kN/m}^2$ )) i la Sobrecàrrega del tancament (Sobrecàrrega d'ús).
- Tancament en lateral: És el pes propi del tancament ( $0,15\text{kN/m}^2$ ).
- Sobrecàrrega de vent: S'està a la zona C amb un grau III d'aspror i es consideren les naus tancades sense cap buit.
- Sobrecàrrega de neu: S'introdueix de manera genèrica un valor de  $0,6\text{ kN/m}^2$ .
- Les combinacions de càrrega d'acer laminat i conformat. Venen donades per defecte.

**Dades obra**

Nombre de trams: 5

Separació entre pòrtics: 5.00 m

Amb tancament en coberta  
Pes del tancament: 0.25 kN/m<sup>2</sup>  
 Sobrecàrrega del tancament: 0.40 kN/m<sup>2</sup>

Amb tancament en laterals  
Pes del tancament: 0.15 kN/m<sup>2</sup>

Amb sobrecàrrega de vent: CTE DB-SE AE (Espanya)

Amb sobrecàrrega de neu: Neu genèrica

Combinacions de càrregues pel càlcul de corretges

Desplaçaments      Accions característiques

Acer laminat      CTE...

Acer conformat      CTE...

Acceptar      Cancel·lar

Figura 3.6.- Panell de dades d'obra generades pel Generador de Pòrtics®

### 3.5.1.2.- Creació del pòrtic tipus

Es defineix la tipologia de pòrtics. Tots els pòrtics són a dues aigües i amb una coberta porticada de nusos rígids.

Una vegada definida la tipologia, apareix el dibuix del pòrtic i s'acoten les dades geomètriques tals com l'alçada del pilar i l'alçada total de la nau (amb les dues dades es genera el pendent), la llum del pòrtic (figura 3.7).

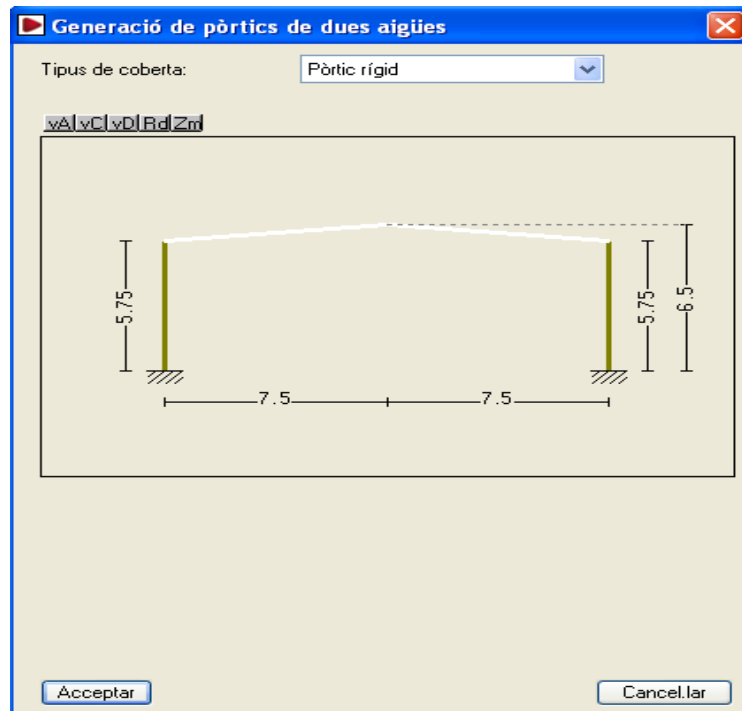


Figura 3.7.- Generació de la geometria del pòrtic.

### 3.5.1.3.- Edició de corretges de coberta i laterals

El programa genera la finestra de la figura 3.8 per a introduir els paràmetres de coberta definits en l'apartat 3.4.1. També genera la mateixa finestra per a l'edició de corretges en lateral.

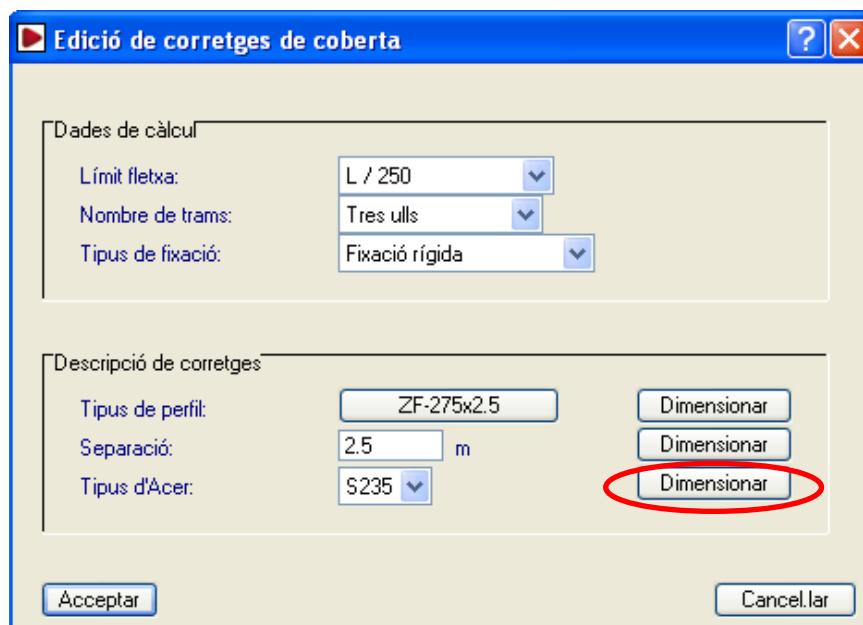


Figura 3.8.- Finestra d'edició de corretges en coberta.

En el dimensionat del perfil i la Sc s'usa la tercera opció definida en l'apartat 3.4.1.5 (Trobar pels diferents perfils d'una mateixa sèrie la Sc òptima, dels tipus de perfils i les Sc). En la figura 3.8 està senyalada amb una el·lipse vermella. En aquesta opció genera una altra finestra per a introduir el rang d'estudi de la Sc. Veure figura 3.9.

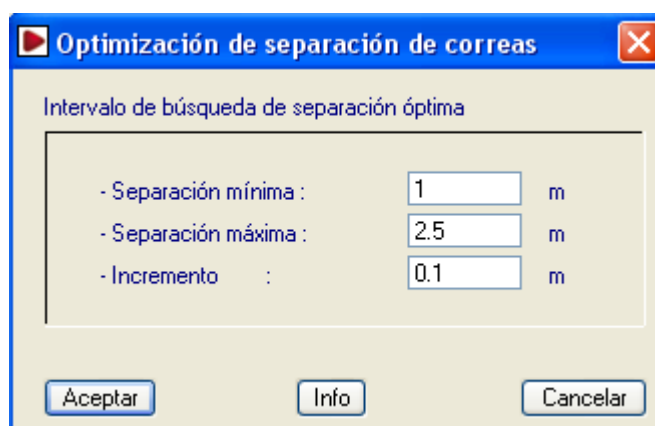


Fig.3.9.- Finestra optimització de separació de corretges

#### 3.5.1.4.- Dimensionat i procés de selecció de corretges de coberta

Un cop introduïts tots el paràmetres necessaris pel dimensionat, i tenint en compte que per a corretges de coberta s'introdueixen perfils ZF i IPE, s'obtenen el resultats en la finestra semblant a la figura 3.10.

Nom	Pes (kN/m²)	Text de comprovació
<input type="checkbox"/> ZF-100x2.5	0.00	No compleix per cap separació.
<input type="checkbox"/> ZF-100x3.0	0.00	No compleix per cap separació.
<input type="checkbox"/> ZF-120x2.0	0.00	No compleix per cap separació.
<input type="checkbox"/> ZF-120x2.5	0.00	No compleix per cap separació.
<input checked="" type="checkbox"/> ZF-120x3.0	0.05	cada 1.10 m.
<input type="checkbox"/> ZF-140x2.0	0.00	No compleix per cap separació.
<input checked="" type="checkbox"/> ZF-140x2.5	0.04	cada 1.30 m.
<input checked="" type="checkbox"/> ZF-140x3.0	0.03	cada 1.80 m.
<input checked="" type="checkbox"/> ZF-160x2.0	0.04	cada 1.30 m.
<input checked="" type="checkbox"/> ZF-160x2.5	0.03	cada 1.80 m.
<input checked="" type="checkbox"/> ZF-160x3.0	0.03	cada 2.40 m.
<input checked="" type="checkbox"/> ZF-180x2.0	0.03	cada 1.70 m.
<input checked="" type="checkbox"/> ZF-180x2.5	0.02	cada 2.50 m.
<input checked="" type="checkbox"/> ZF-180x3.0	0.03	cada 2.50 m.
<input checked="" type="checkbox"/> ZF-200x2.0	0.02	cada 2.50 m.

Significat dels símbols

- Element incompatible
- Element que compleix totes les comprovacions.

Acceptar Cancel·lar

Figura 3.10.- Exemple d'un cas concret del dimensionat de perfils de corretja ZF.

Es comença el procés de selecció dimensionant perfils ZF. Dels resultats obtinguts s'escullen com a mínim quatre dels perfils de la sèrie amb Sc diferents i procurant una distribució homogènia dins el rang establert (d'1 a 2,5 m.), a fi i efecte d'obtenir variabilitat d'aquesta manera s'aconsegueix afinar amb la solució òptima. En el cas que dos perfils coincidissin amb la Sc, es seleccionaria el de menor pes. Com a mínim es tria una mostra de 4 perfils i un màxim de 6 perfils.

Si compleixen 3 o menys perfils ZF de diferent Sc es seleccionen a la mostra de 6 perfils i, s'afegeixen per a completar-la perfils IPE.

Si cap de la sèrie de perfils ZF complissin s'escollirien fins a un màxim de quatre perfils de la sèrie IPE amb diferent Sc ja que el rang de Sc que cobreixen aquests perfils és més elevat que els ZF.

Un cop seleccionada la mostra, es copia en un full de càlcul on es realitza el procés d'optimització. Dins el full de càlcul (figura 3.11), es pot observar en la primera columna, el tipus de pòrtic on s'engloben tres files amb la informació següent: la Sc, el perfil i el pes



unitari (Pu) respectivament. Cada tipus de pòrtic és una combinació de les variables alçada, llum i modulació.

Tipus2 2	1,3	1,6	1,8	2	2,1	2,4
	ZF-225x2,5	ZF-250x2,5	ZF-275x2,5	ZF-300x2,5	ZF-300x3	ZF-300x4
	6,15	5,31	4,99	4,74	5,36	6,15
Tipus23	1,1	1,3	1,4	1,8	2,5	
	ZF-300x3	ZF-275x4	ZF-300x4	IPE 200	IPE 220	
	10,23	10,74	10,55	12,51	10,53	
Tipus24	1,2	1,6	2,4	2,5		
	IPE 220	IPE 240	IPE 270	IPE 300		
	21,94	19,28	15,12	16,96		

Figura.3.11.- Exemple de les tres opcions possibles de selecció de corretges.

Per al càlcul de pes unitari s'utilitza la següent fórmula:

$$Pu = \frac{Pp}{Sc} \times \cos \alpha$$

on, Pu: Pes del perfil per unitat de superfície de coberta ( kg/m<sup>2</sup>).

Pp: És el pes del perfil (kg).

Sc: És la separació de corretges (m).

$\alpha$ : És l'angle de la coberta ( ° ).

El color verd indica que la solució òptima coincideix amb l'opció real (s'explica en el següent apartat), el color groc indica que la solució real no coincideix amb l'òptima i el color rosa indica l'opció òptima de l'altra sèrie de perfils en els cas de modulació a 9 metres.

Tots els pòrtics amb modulació de 9 metres es calculen dues vegades. S'obté una solució òptima amb un perfil de la sèrie ZF i una altra solució òptima amb un perfil de la sèrie IPE a fi i efecte de comparar els pesos i les Sc entre perfils.

### 3.5.1.5.- Procés d'optimització de les corretges en coberta

El procés d'optimització es comença amb la selecció, en color verd, del perfil amb menor pes. Es pot observar el *Tipus 22* de l'exemple de la figura 3.11.

Les Sc òptimes que genera el programa gairebé s'ajusten a la Sc real però en molts casos la longitud de la llanda no és un múltiple d'aquest valor i per tant aplicables en un projecte real. És per això que s'aplica un protocol de càlcul per l'ajust del resultat òptim a les dimensions reals de la nau.

S'estableix un protocol de càlcul que s'explica en els següents quatre passos:

1<sup>er</sup>.- Es calcula el nombre òptim de trams de corretja mitjançant la fórmula:

$$T_{Op} = \frac{Lp}{2 \times Sc_{Op} \times \cos \alpha}$$

on, T<sub>Op</sub>: Nombre òptim de trams.

L<sub>p</sub>: Llum del pòrtic (m).

Sc<sub>Op</sub>: Separació de corretja òptima (m).

Si el resultat de l'equació és un nombre enter indica que la Sc<sub>Op</sub> és la Sc real i es manté el color verd en la figura 3.11 indicant que és l'opció òptima i coincideix amb la real. En cas contrari, es continua el protocol.

2<sup>on</sup>.- Si el T<sub>Op</sub> és un nombre decimal s'ajusta el valor de l'enter anterior o posterior obtenint **el nombre de trams real (T<sub>Re</sub>)**.

Cap criteri indica l'elecció del nombre enter anterior o posterior al resultat obtingut com a solució òptima. Es realitza la comprovació manual per ambdues solucions.

3<sup>er</sup>.- Amb els dos nombres de trams real (T<sub>Re</sub> anterior i posterior) s'aplica la següent fórmula per obtenir definitivament **la separació de corretges real òptima**:

$$Sc_{Re} = \frac{Lp}{2 \times T_{Re}}$$

on, Sc<sub>Re</sub>: És la Sc real aplicable a la nau.

Amb la obtenció de la nova Sc<sub>Re</sub> el pes es modifica lleugerament.

4<sup>rt</sup>.- Selecció definitiva del perfil i Sc òptim amb la Sc<sub>Re</sub>. Veure figura 3.12.

			Sc <sub>Op</sub>		T <sub>Op</sub>	T <sub>Re</sub>	Sc <sub>Re</sub>
1,3	1,5	1,6	1,8	2,1	2,3	8,3 7	1,67497927
ZF-275x2,5	ZF-300x2,5	ZF-275x3	ZF-300x3	ZF-275x4	ZF-300x4	9,0 0	ZF-300x3

6,91	6,32	6,72	6,25	6,65	6,42	1,6 7	65
------	------	------	------	------	------	----------	----

Figura3.12.- Exemple del càlcul de la separació real.

ScRe    Pes real

### 3.5.1.6.- Procés de selecció i d'optimització de corretges laterals

A diferència de les corretges de coberta el procés de selecció es comença dimensionant perfils CF. Les corretges laterals únicament resisteixen l'acció del vent.

Es comença seleccionant perfils CF en un mínim de cinc i un màxim de sis amb Sc repartides homogèniament entre el rang d'1 a 2'5 metres. En el cas que dos perfils coincidissin amb la Sc, es seleccionaria el de menor pes.

Si només han complert quatre o menys perfil CF amb diferents Sc es seleccionen i, s'afegeixen un o dos perfils IPE per completar la mostra.

Un cop es seleccionen les dades, es copien en el mateix full de càlcul que el de corretges de coberta, i es realitza el procés d'optimització. La figura 3.13 mostra una part del full de càlcul on es pot observar el tipus de pòrtic, la separació de corretges, el perfil i el pes unitari respectivament.

		ScOp					TOp	TRe	ScRe
Tipus36	1,2	1,5	1,9	2,2	2,5		5,50		1,375
	CF-300x2,5	CF-300x3	CF-300x4	IPE 220	IPE 240		6,00		CF-300x3
	8,06	7,67	7,95	11,91	12,28		1,38		8,36
Tipus37	1,2	1,4	1,7	2	2,4	2,5	4,13		1,65
	CF-140x2,5	CF-160x2	CF-180x2	CF-200x2	CF-200x2,5	CF-180x3	5,00		CF-180x2
	4,31	3,43	3,01	2,71	2,81	3,01	1,65		3,10

Figura 3.13.- Exemple de dues opcions possibles de selecció de corretges.

ScRe    Pes real

Per al càlcul de pes unitari s'ha introduït la següent fórmula:

$$p_u = \frac{p_p}{S_c}$$

on,    Pu: Pes del perfil per unitat de superfície de coberta (kg/m<sup>2</sup>).

Pp: És el pes del perfil (kg).

Sc: És la separació de corretges (m).

El procés d'optimització de les corretges laterals es realitza seguint els passos de l'apartat anterior. Únicament hi ha un petit canvi en l'equació on el  $\cos\alpha$  desapareix ja que en corretges laterals els eixos de referència coincideixen amb els eixos locals de les corretges.

### 3.5.1.7.– Aprofitament de les corretges

S'anoten en el mateix full de càlcul els aprofitaments de la tensió i deformació de la corretja òptima de cada tipus de pòrtic per tal de recopilar informació vàlida en l'estudi de corretges.

## □□□□□□□ Procediments pel càlcul de pòrtics en el Nou Metal 3D®

Abans de començar el procés de càlcul en el Nou Metal 3D®, s'exporten els 48 pòrtics creats anteriorment en el Generador de Pòrtics®. Apareix una finestra amb les opcions per a l'exportació. (figura 3.14).

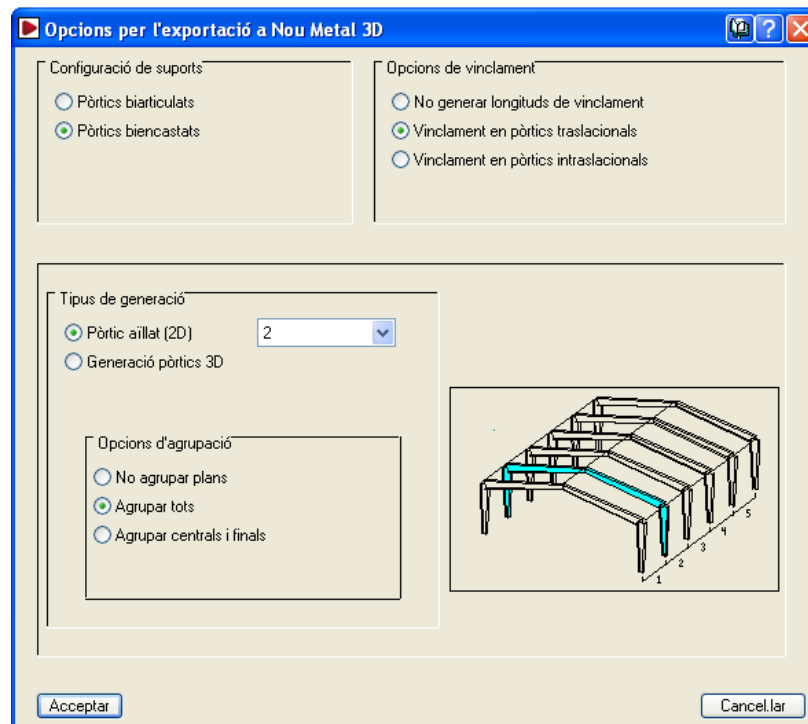


Figura 3.14.- Finestra d'opcions pe a l'exportació al Nou Metal 3D

Les opcions marcades en la figura són les considerades en aquest estudi segons els criteris convinguts anteriorment.

- ❖ Configuració de pòrtics biencastats en la base del pilar.
- ❖ Es considera el vinclament en pòrtics traslacional. Desplaçable en el pla del pòrtic. El vinclament es modifica segons l'apartat 3.4.2.2.2.
- ❖ Es generen pòrtics aïllats en 2 dimensions.

### 3.5.2.1.- Introducció de la tipologia de perfils

S'introdueix la tipologia del perfil primerament amb la combinació del perfil IPE en llindes i HEA en pilars. Si després del càlcul de comprovacions les llindes no compleixen, s'analitza amb el tipus de perfil HEA i si aquest tampoc les compleix, s'analitza finalment, amb la tipologia de perfils HEB. Pel que fa als pilars si no compleix la sèrie de perfils HEA es dimensiona amb la sèrie d'HEB.


### 3.5.2.2.- Vinclament i vinclament lateral

Els coeficients de vinclament i vinclament lateral venen definits en el moment de l'exportació al Nou Metal 3D<sup>®</sup> però es necessari repassar-los i en algun cas, canviar-los segons els criteris establerts en l'apartat 3.4.2.2.2.

#### 3.5.2.2.1 Vinclament

En els valors dels coeficients del vinclament influeixen aspectes com la secció de les barres, el nombre de barres concurrents en un nus o la existència de corretges o no. En l'estudi actuen únicament els elements llinda, pilar i corretja pel càlcul dels coeficients del vinclament.

Per a les llindes s'introdueix en l'eix xy (pla fora del pòrtic), com a longitud de vinclament, la separació de corretges amb l' icona activada. En canvi, en l'eix xz (pla del pòrtic) s'activa l'icona . Els coeficients de moments són 1. Veure figura 3.15.

Per als pilars, la longitud de vinclament en l'eix xy (pla fora del pòrtic) és també la separació de corretges. Pel contrari, en l'eix xz (pla del pòrtic) s'activa l' icona  obtenint com a valor de longitud en el vinclament el generat pel programa.

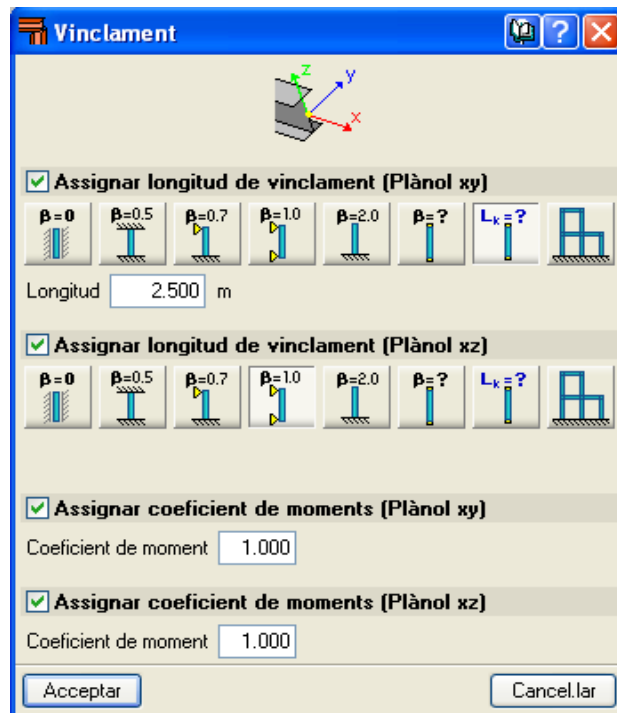


Figura 3.15.- Finestra del vinclament.

### 3.5.2.2.2 Vinclament lateral

El vinclament lateral és un problema d'estabilitat de les ales comprimides en els elements a flexió. S'indiquen les longituds de vinclament lateral possibles d'aquest efecte lateral segons el sistema de travat. Es considera l'efecte de les corretges per a immobilitzar transversalment.

L'ala inferior del pilar esquerra de l'esquema equival a l'ala interior del programa i, en canvi, l'ala superior del pilar dret equival també a l'ala interior. Aquestes no es consideren travades en cap punt. Es manté el valor generat pel programa. L'ala superior és l'ala exterior e interior dels pilars esquerra i dret respectivament i estan travades per les corretges laterals. El valor introduït és la separació de corretges.

En les llindes l'ala superior està travada per les corretges. El valor a introduir és la mateixa separació de corretges. En canvi el valor l'ala inferior, sense travat, es considera  $\beta=1$ . Veure figura 3.16.

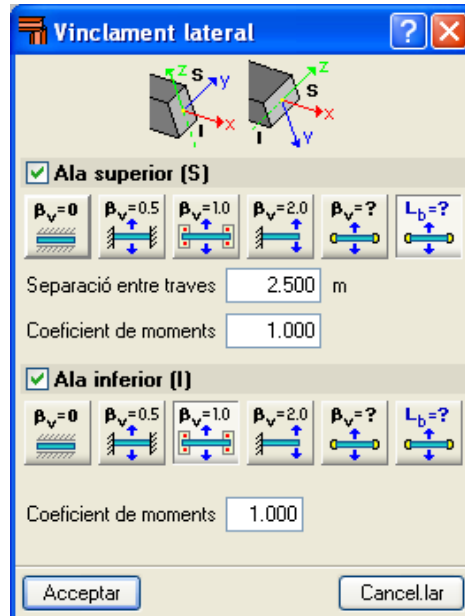


Figura 3.16.- Finestra del vinclament lateral.

### 3.5.2.3.- Comprovació de les deformacions

Les comprovacions del descens de la clau i el desplaçament horitzontal es realitzen de manera manual tenint en compte els resultats extrets del Nou Metal 3D<sup>®</sup>, que realitza les comprovacions de les deformacions per a cada element de manera individual.

El descens de la clau i el desplaçament horitzontal al cap del pilar es generen un cop dimensionat el pòrtic (figura 3.17). Es fa la comprovació amb els valors obtinguts en el Nou Metal 3D<sup>®</sup> per cenyir-nos al CTE.

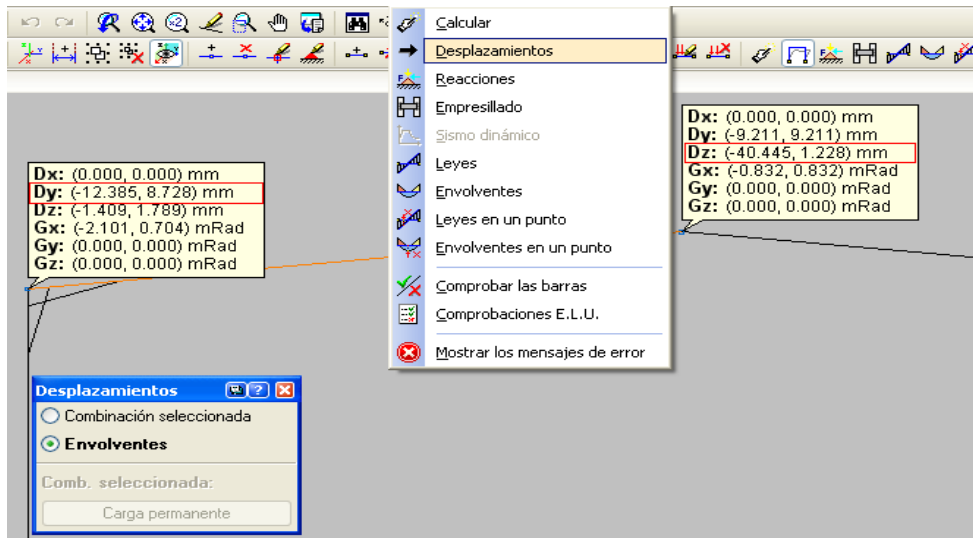


Fig. 3.17.-. Càlcul del desplaçament del Metal 3D®.

Els rectangles de color vermell de la figura indiquen els valors màxim i mínim dels desplaçaments. Concretament, el de l'esquerra (Dy) indica el desplom del cap del pilar. Mentre que el dret (Dz) informa del descens de la clau.

Seguint les pautes de l'apartat 3.4.2.1, es comprova el límit en el descens de la clau i el desplom i es comparen amb els resultats. Si els resultats sobrepassen els límits s'augmenta perfil en l'element que afecti.

#### 3.5.2.4.- Altres comprovacions

Les altres comprovacions en el càlcul del dimensionat dels pòrtics que el cype calcula automàticament són les següents:

- ✓ Resistència a tracció (CTE DB SE-A, Article 6.2.3).
- ✓ Resistència a compressió (CTE DB SE-A, Article 6.2.5).
- ✓ Resistència a vinclament: (CTE DB SE-A, Article 6.3.2).
- ✓ Resistència a flexió eix Y (CTE DB SE-A, Article 6.2.6).
- ✓ Resistència a vinclament lateral: (CTE DB SE-A, Article 6.3.3.2).
- ✓ Resistència a flexió eix Z (CTE DB SE-A, Article 6.2.6).
- ✓ Resistència a tall Z (CTE DB SE-A, Article 6.2.4).
- ✓ Abonyegament per tallant de l'ànima: (CTE DB SE-A, Article 6.3.3.4).



- ✓ Resistència a tall Y (CTE DB SE-A, Article 6.2.4).
- ✓ Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (CTE DB SE- A, Article 6.2.8).
- ✓ Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (CTE DB SE-A, Article 6.2.8).
- ✓ Resistència a flexió i axial combinats (CTE DB SE-A, Article 6.2.8).
- ✓ Resistència a flexió, axial i tallant combinats (CTE DB SE-A, Article 6.2.8).
- ✓ Resistència a torsió (CTE DB SE-A, Article 6.2.7).
- ✓ Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (CTE DB SE-A, Article 6.2.8).
- ✓ Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (CTE DB SE-A, Article 6.2.8).
- ✓ Limitació d'esveltesa (CTE DB SE-A, Article Articles 6.3.1 i 6.3.2.1 - Taula 6.3).

### 3.5.2.5.– Dimensionat

Es realitzen tres optimitzacions durant el dimensionat. Per una banda el càlcul òptim utilitzant tots els perfils de la sèrie. Per l'altra banda tindrem dos dimensionats òptims amb la introducció de cartel·la. Els dimensionats s'etiqueten com a:

- Dimensionat òptim CYPE
- Dimensionat òptim amb cartel·les a la llinda
- Dimensionat òptim amb cartel·les a la llinda i al pilar

Els pòrtics amb modulacions de 9 metres es dimensionen dues vegades. Una amb la tipologia de perfil de corretges ZF i la seva Sc i l'altra amb la tipologia IPE i la seva Sc.

#### 3.5.2.5.1 Dimensionat òptim CYPE

El primer dimensionat a realitzar és l'opció *Dimensionament òptim de perfils utilitzant tots els perfils de la sèrie* del programa (Figura 3.18).

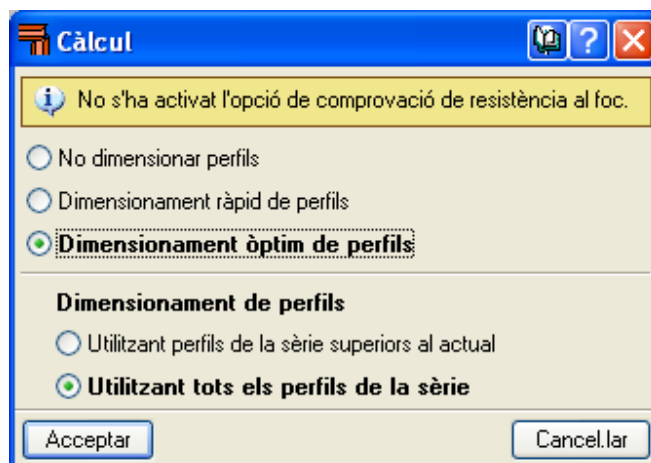


Fig. 3.18.- Quadre d'opcions de càlcul del Nou Metal 3D®.

Un cop realitzat el càlcul d'optimització i verificades les comprovacions dels resultats s'introdueixen en el full de càlcul pel tractament posterior.

#### 3.5.2.5.2 Dimensionat òptim amb cartel·les a la llinda

Aquesta optimització es basa en la col·locació de cartel·les als extrems inferiors (cap del pilar) i/o superiors (carener) de les llindes seguint els criteris de disseny de l'apartat 3.4.3. Normalment la cartel·la es col·loca en la part inferior de la llinda resultant la part més sol·licitada de la barra (Veure figura 3.19) però, en algun cas es col·loquen en la part superior per redistribuir les sol·licitacions al llarg de la barra com es comenta en l'apartat 3.1.1.1.

El primer pas a seguir és la reducció d'un perfil de la llinda i recalculer els dimensionat amb l'opció *No dimensionat* que mostra la figura 3.18. Alhora de col·locar les cartel·les es busca el punt a partir del qual la resistència de la barra arriba al seu màxim. En el cas de la figura 3.19, s'observa com en el punt 1,203 m., l'aprofitament és lleugerament superior al cent per cent. La cartel·la es col·locaria fins el punt on l'aprofitament no superés el cent per cent.

Es repeteix el mateix procediment fins a arribar al límit en la longitud de cartel·la establert en l'apartat 3.2.5. i on tots els elements compleixin amb la normativa i els criteris establerts.

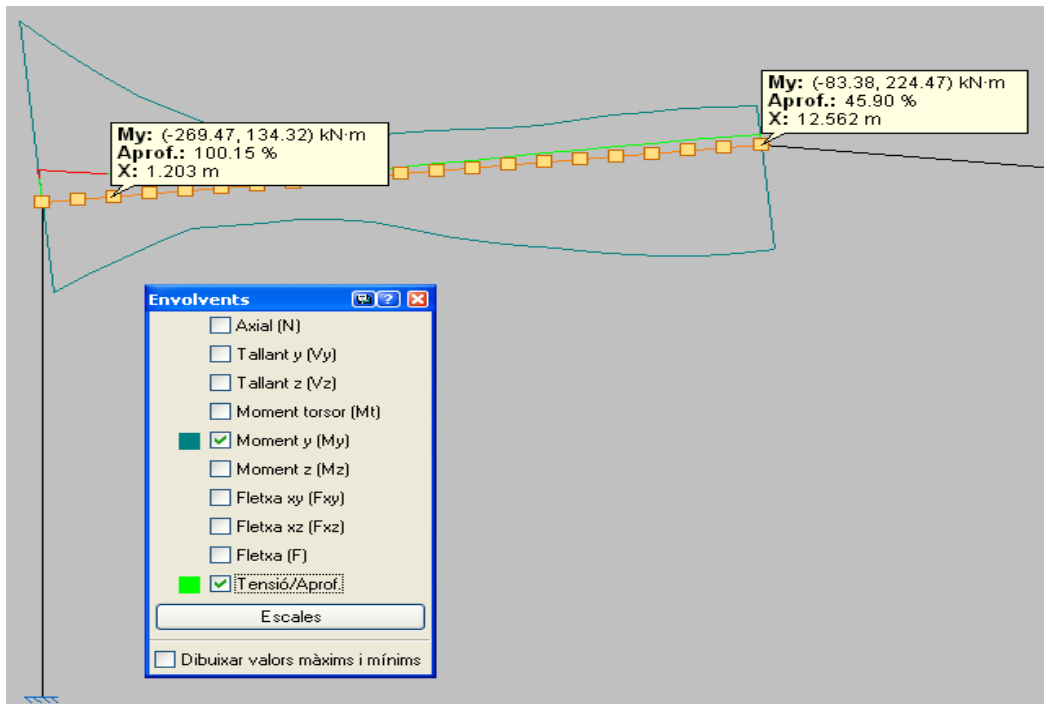


Figura 3.19.- Distribució del moment envolupant i aprofitament en un pòrtic.

### 3.5.2.5.3 Dimensionat òptim amb cartel·les a la llinda i al pilar

S'ha volgut estudiar la incidència de les cartel·les a la llinda i al pilar de manera conjunta, encara que rarament són utilitzades. En aquest estudi s'investiga l'efecte que es podria produir amb l'afegit de cartel·la al pilar.

El funcionament de càlcul es el mateix que l'apartat anterior però amb la particularitat que en aquest dimensionat també es redueix el perfil dels pilars.

## Anàlisi de resultats

Amb els resultats obtinguts es realitza un estudi de l'efecte de tres variables geomètriques (llum, alçada i modulació) en el pes de les corretges, dels pòrtics i del total.

Per fer-ho s'ajusten models lineals múltiples amb l'ajut del programa informàtic R  
( R Development Core Team, 2010)

## **4.- RESULTATS I DISCUSIÓ**

## **4.- RESULTAT I DISCUSIÓ**

L'anàlisi dels resultats es divideixen en tres grans grups: Primerament s'analitzen les corretges, subdividides alhora, bàsicament, en corretges de coberta, laterals de façana i el conjunt de les dues. Seguidament són els pòrtics els següents en ser analitzats. Un cop finalitzats l'anàlisi d'ambdós elements de manera individual es procedeix a l'anàlisi global de l'estructura porticada (corretges i pòrtics).

### **4.1. - Corretges**

En aquest apartat es tracta, en primer terme, de l'efecte de la tipologia de la corretja en el seu procés d'optimització. De manera comparativa, s'observen les diferències entre les tipologies IPE, ZF i CF.

Posteriorment s'entra en detall en les corretges optimitzades, realitzant un estudi del pes total de les corretges (coberta+laterals) per tal d'obtenir una visió global de com es veu afectat per la llum, l'alçada i la modulació. Finalment, s'estudia, de manera individual, la variable pes per a les corretges de coberta i laterals de façana.

## □□□□□□□□ Dimensionat òptim de les corretges

A mode de taula es realitza un resum dels resultats obtinguts a destacar (taula 4.1). La resta de dades obtingudes segons la metodologia explicada en l'apartat anterior es troben en el full de càlcul adjunt a l'estudi.

Taula 4.1.- Taula resum de dades de les corretges.

Variables Explicatives			Corretges coberta			Corretges laterals		
Mòdul (m)	Alçada (m)	Llum (m)	Perfil	Pes (kg/m <sup>2</sup> )	Sc (m)	Perfil	Pes (kg/m <sup>2</sup> )	Sc (m)
5	5,75	15	ZF-275x2,5	3,54	2,5	CF-160x2	2,50	1,916
5	5,75	20	ZF-275x2,5	3,54	2,5	CF-160x2	2,50	1,916
5	5,75	25	ZF-275x2,5	3,54	2,5	CF-160x2	2,50	1,916
5	5,75	30	ZF-300x2,5	3,73	2,5	CF-160x2	2,50	1,916
5	8,25	15	ZF-300x2,5	3,73	2,5	CF-160x2	2,33	2,062
5	8,25	20	ZF-275x3	4,24	2,5	CF-160x2	2,33	2,062

Continuació de la taula a la pàgina següent...

... continuació de la taula de la pàgina anterior.

Variables Explicatives			Corretges coberta			Corretges laterals		
Mòdul (m)	Alçada (m)	Llum (m)	Perfil	Pes (kg/m <sup>2</sup> )	Sc (m)	Perfil	Pes (kg/m <sup>2</sup> )	Sc (m)
5	8,25	20	ZF-275x3	4,24	2,5	CF-160x2	2,33	2,062
5	8,25	25	ZF-275x3	4,24	2,5	CF-160x2	2,33	2,062
5	8,25	30	ZF-275x2,5	4,13	2,142	CF-160x2	2,33	2,062
5	10,75	15	ZF-300x3	4,44	1,875	CF-180x2	2,38	2,15
5	10,75	20	ZF-275x2,5	4,43	2	CF-180x2	2,38	2,15
5	10,75	25	ZF-300x3	4,44	2,5	CF-180x2	2,38	2,15
5	10,75	30	ZF-300x2,5	4,36	2,142	CF-180x2	2,38	2,15
6	5,75	15	ZF-300x2,5	4,98	1,875	CF-180x2	2,67	1,916
6	5,75	20	ZF-300x2,5	4,67	2	CF-180x2	2,67	1,916
6	5,75	25	ZF-300x3	5,32	2,083	CF-180x2	2,67	1,916
6	5,75	30	ZF-300x2,5	4,98	1,875	CF-180x2	2,67	1,916
6	8,25	15	ZF-275x2,5	5,90	1,5	CF-180x2	3,10	1,65
6	8,25	20	ZF-300x3	5,54	2,142	CF-180x2	3,10	1,437
6	8,25	25	ZF-300x4	5,82	2,5	CF-180x2	3,10	1,375
6	8,25	30	ZF-300x2,5	5,60	2,5	CF-180x2	3,10	1,375

6	10,75	15	ZF-300x3	5,91	1,875	CF-200x2,5	3,13	2,15
6	10,75	20	ZF-300x2,5	6,54	2,5	CF-200x2	3,03	1,375
6	10,75	25	ZF-300x3	6,21	2,5	CF-200x2	3,03	1,075
6	10,75	30	ZF-300x3	6,65	2,5	CF-200x2	3,03	1,075
9	5,75	15	ZF-300x4	9,70	1,5	CF-250x2,5	4,54	1,916
9	5,75	15	IPE 220	10,53	2,5	CF-250x2,5	4,54	1,916
9	5,75	20	ZF-300x3	9,98	1,111	CF-250x2,5	4,54	1,916
9	5,75	20	IPE 220	10,53	2,5	CF-250x2,5	4,54	1,916
9	5,75	25	ZF-300x3	10,45	1,136	CF-250x2,5	4,54	1,916
9	5,75	25	IPE 220	10,53	2,5	CF-250x2,5	4,54	1,916
9	5,75	30	IPE 220	10,53	1,071	CF-250x2,5	4,54	1,916
9	8,25	15	ZF-300x4	11,64	1,25	CF-300x2,5	4,69	2,062
9	8,25	15	IPE 240	12,28	2,5	CF-300x2,5	4,69	2,062
9	8,25	20	ZF-300x4	11,64	2	CF-300x2,5	4,69	1,65
9	8,25	20	IPE 240	12,28	1,25	CF-300x2,5	4,69	2,062
9	8,25	25	IPE 240	12,16	2,5	CF-275x2,5	4,46	1,65
9	8,25	25	ZF-300x4	12,94	2,5	CF-275x2,5	4,46	2,062
9	8,25	30	IPE 220	12,11	1,667	CF-275x2,5	4,46	1,65
9	8,25	30	ZF-300x4	12,74	2,142	CF-275x2,5	4,46	2,062
9	10,75	15	IPE 240	12,16	2,5	CF-275x3	5,12	2,15
9	10,75	15	ZF-300x4	13,72	1,071	CF-275x3	5,12	2,15
9	10,75	20	IPE 240	12,16	1,428	CF-275x3	5,12	1,791
9	10,75	20	ZF-300x4	13,23	2,5	CF-275x3	5,12	2,15
9	10,75	25	IPE 240	12,16	1,785	CF-275x3	5,12	1,791

Continuació de la taula a la pàgina següent...

... continuació de la taula de la pàgina anterior.

Variables Explicatives			Corretges coberta			Corretges laterals		
Mòdul (m)	Alçada (m)	Llum (m)	Perfil	Pes (kg/m <sup>2</sup> )	Sc (m)	Perfil	Pes (kg/m <sup>2</sup> )	Sc (m)
9	10,75	25	ZF-300x4	14,11	2,5	CF-275x3	5,12	2,15
9	10,75	30	IPE 240	12,16	1,667	CF-275x3	5,12	1,791
9	10,75	30	ZF-300x4	13,72	2,5	CF-275x3	5,12	2,15
12	5,75	15	IPE 300	14,12	2,5	CF-300x3	8,00	1,437
12	5,75	20	IPE 300	16,71	2,5	CF-300x3	8,00	1,437
12	5,75	25	IPE 300	16,71	2,5	CF-300x3	8,00	1,437
12	5,75	30	IPE 270	16,68	2,5	CF-300x3	8,00	1,916
12	8,25	15	IPE 300	16,71	2,5	CF-300x2,5	8,21	1,178
12	8,25	20	IPE 300	16,71	2,5	CF-300x3	8,36	2,062
12	8,25	25	IPE 300	16,71	1,136	CF-300x3	8,36	2,062
12	8,25	30	IPE 300	16,71	1,153	CF-300x3	8,36	2,062
12	10,75	15	IPE 300	16,71	2,5	CF-300x2,5	9,00	1,075
12	10,75	20	IPE 300	16,71	1,111	CF-300x2,5	9,00	2,15
12	10,75	25	IPE 300	16,71	1,041	CF-300x2,5	9,00	2,15
12	10,75	30	IPE 300	16,71	1,071	CF-300x2,5	9,00	2,15

Els resultats dels tipus de nau amb modulació de 9 metres tenen dues solucions ja que s'ha volgut comparar la tendència d'ambdós perfils (IPE, ZF) pel que fa a la Sc i al pes d'ells.

Abans d'entrar en detall en l'estudi comparatiu de corretges, s'apunta un petit incís de caràcter informatiu. Majoritàriament, l'aprofitament de la tensió i de la fletxa en corretges es relaciona amb una millor optimització de pes. S'ha de dir que en alguna ocasió puntual, un millor aprofitament de la tensió i/o de la fletxa no s'ha relacionat amb una disminució de pes. És a dir que el dimensionat de corretges amb un perfil superior al resistent pot ser més òptim en pes encara que l'aprofitament sigui inferior.

El fet anterior és degut a la Sc. Una bona elecció és essencial en la seva optimització. S'afirma que no sempre un perfil inferior disminueix el pes sinó que, té la variable Sc lligada al seu rendiment.

## **□□□□□□□□ Perfils laminats en calent i perfils conformats en fred**

### **4.1.2.1.- Peculiaritats dels perfils laminats en calent i dels conformats en fred**

El procés d'obtenció d'ambdós tipologies de perfil és diferent. Mentre que els perfils laminats en calent consisteixen en escalfar prèviament els lingots d'acer fos a una temperatura que permet la laminació del lingot.

Entre les seves característiques destaca la seva uniformitat estructural i un baix nivell d'acumulació de tensions residuals localitzades. Per contra els perfils conformats en fred s'obtenen per la conformació de planxes planes en forma de xapa o fleix sense canviar la seva temperatura.

L'ús de dues tipologies de corretja diferents: laminats en calent i conformats en fred permet estudiar el comportament de cadascun i comparar-los entre ells.



Cal destacar que mentre a les sèries ZF i CF hi ha 30 perfils aproximadament, en l'IPE n'hi ha 18. Això fa que es pugui optimitzar més amb perfils conformats doncs, hi ha una graduació més suau de pesos i de distàncies.

S'analitzen els increments de pes entre perfils contigus per a cada sèrie de perfils (ZF, CF i IPE). Els resultats obtinguts són visibles en la taula 4.2. S'observa un increment mig menor de pes entre els perfils ZF i CF. Pel contrari, el perfil IPE ha tingut un increment mig major. Entren en l'anàlisi tots els perfils de cada sèrie.

Taula 4.2.- Promig de l' increment de pes d'un perfil al superior.

Perfil	Promig increment de pes (kg/m)
ZF	0,57
CF	0,59
IPE	6,82

Els perfils conformats en fred (ZF i CF) s'ajusten de manera més acurada a les Sc. És a dir, són òptims per intervals de 20-30 cm. en Sc per cada perfil i l'anterior/següent mentre que, els perfils IPE tenen intervals majors, de 70-80 cm. per cada perfils.

La taula de perfils IPE segueix un ordre de menor a major cantell d'ànima què alhora coincideix amb l'ordenació de pes. En canvi, la lectura de les taules de ZF i CF és més complexa. Aquestes segueixen un primer ordre de menor a major en longitud d'ànima i en segon ordre, també, de menor a major gruix d'ala.

A partir dels perfils ZF-180 i CF 180, s'ordenen les sèries ZF i CF en funció del pes quedant de la següent manera en les taules 4.3 i 4.4.

Taula 4.3.- Ordenació de menor a major pes de la taula ZF.

Taula de perfils	Pes (kg/m)	Taula de perfils	Pes (kg/m)
ZF-180x2	4,96	ZF-300x2,5	9,43
ZF-200x2	6,01	ZF-225x3	9,47
ZF-180x2,5	6,15	ZF-250x3	10,1
ZF-180x3	7,31	ZF-275x3	10,7
ZF-200x2,5	7,47	ZF-300x3	11,2
ZF-225x2,5	7,96	ZF-225x4	12,3
ZF-250x2,5	8,45	ZF-250x4	13,1
ZF-200x3	8,88	ZF-275x4	13,9
ZF-275x2,5	8,94	ZF-300x4	14,7

Taula 4.4.- Ordenació de menor a major pes de la taula CF.

Taula de perfils	Pes (kg/m)	Taula de perfils	Pes (kg/m)
CF-180x2	5,12	CF-300x2,5	9,68
CF-200x2	5,43	CF-225x3	9,78
CF-180x2,5	6,35	CF-250x3	10,4
CF-200x2,5	6,74	CF-275x3	11
CF-180x3	7,54	CF-300x3	11,5
CF-200x3	8,01	CF-225x4	12,7
CF-225x2,5	8,21	CF-250x4	13,5
CF-250x2,5	8,7	CF-275x4	14,3
CF-275x2,5	9,19	CF-300x4	15,1

Un cop ordenades les taules segons el criteri del pes s'observa una tendència que es segueix al llarg de la taula amb l'excepció de dos perfils de cada sèrie (180x3 i 200x3). Els perfils amb menor gruix, en primer terme, i amb menor longitud d'ànima, en segon terme, són els perfils de menor pes de la taula.

En l'apartat 3.5.1.4. parla de l'elecció d'una mostra representativa de corretges. En el moment que el generador de pòrtics<sup>®</sup> dona com a resultat dos perfils diferents amb la mateixa Sc i el mateix pes s'utilitza la taula anterior per escollir el perfil de menor pes. D'aquesta manera s'ajustaran els pesos al promptuari de perfils ja que els pesos que indica el generador de pòrtics<sup>®</sup> no són tan precisos (veure figura 3.10).

#### 4.1.2.2.- Grau d'aprofitament dels perfils

Els perfils utilitzats en l'estudi tenen característiques mecàniques diferents. Es de suposar, per això, que els perfils treballen de diversa manera sota l'efecte de les sol·licitacions. Una manera de comparar el comportament de les corretges és mitjançant l'estudi del grau d'aprofitament des del punt de vista de les tensions i les deformacions (fletxa) de cada tipologia de perfils.

A continuació s'analitzen els dos factors tensió i deformació per esbrinar quin dels dos determina el dimensionat en perfils conformats en fred i en perfils laminats en calent.



El factor determinant per ambdós perfils és la tensió a excepció en la modulació de 12 metres en el perfil CF que és la deformació el factor limitant. Mentre que la tensió guarda una proporció al quadrat de la longitud de l'element, la fletxa és a la quarta. Es a dir, que per a longituds de 12 m. la fletxa incrementa el seu grau d'aprofitament fins al punt de superar el grau d'aprofitament de la tensió.

Les diferències entre l'aprofitament de la tensió i la deformació són més notòries en les corretges en coberta que no pas en les laterals. Això indica que la secció del perfil CF, en concret la inèrcia, s'adapta amb major mesura al lateral que no la del perfil ZF en coberta.

#### 4.1.2.4.- Perfils laminats en calent

El fet de limitar en la Sc a 2,5 m. ha impedit profunditzar més en l'estudi del comportament en aquesta tipologia de perfil ja que es podrien haver optimitzat més amb Sc superiors a 2,5m.

Els perfils IPE s'usa únicament per a modulacions de 9 i 12 metres en coberta. A primera vista s'observa en la figura 4.3 que un comportament contrari al dels perfils conformats. El factor determinant en aquesta tipologia de perfil és la deformació.

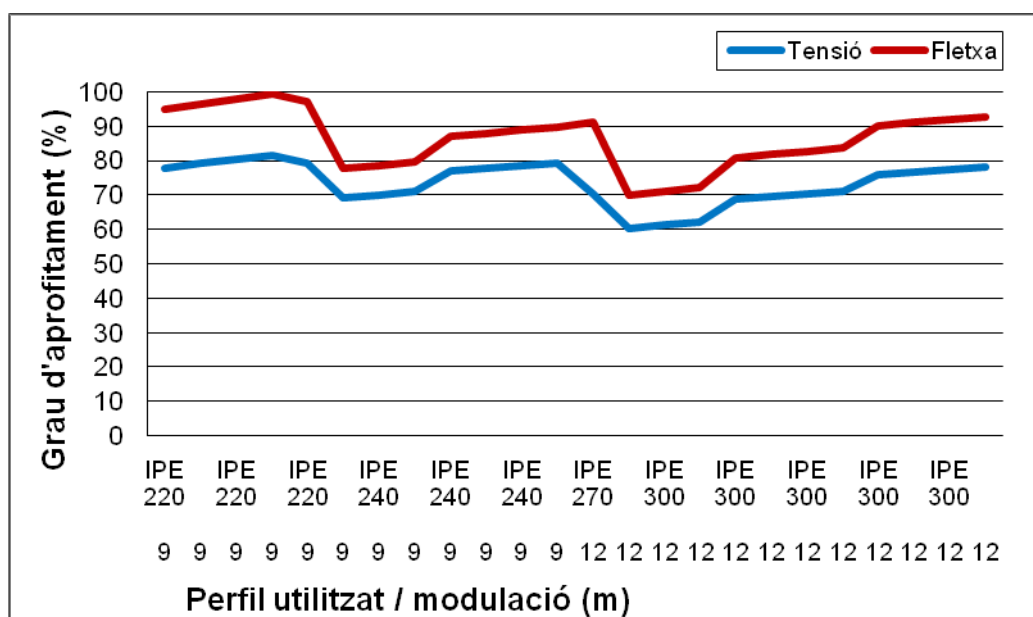


Figura 4.3.- Grau d'aprofitament (%) dels perfils IPE respecte a la tensió i a les deformacions (fletxa).

Mentre en els perfils conformats la tensió és el factor determinant del dimensionat en els perfils laminats ho és la deformació. La classificació de la secció transversal de cadascun dels perfils és una hipòtesi del perquè del factor limitant.

Els perfils conformats normalment treballen amb una secció transversal de classe 3 o 4. En canvi els perfils laminats treballen amb secció transversal de classe 1, 2 o 3. Les classes de seccions es mostren en la taula 4.5.

Taula 4.5.- Classificació de seccions transversals sol·licitades per moments flectors

Classe 1: Plàstica	Permeten la formació de la ròtula plàstica amb la capacitat de rotació suficient per a la redistribució de moments.
Classe 2: Compacta	Permeten el desenvolupament del moment plàstic amb una capacitat de rotació limitada.
Classe 3: Elàstica	En la fibra més comprimida es pot aconseguir el límit elàstic de l'acer però la abonyegadura impedeix el desenvolupament del moment plàstic.
Classe 4: Esvelta	Els elements total o parcialment comprimits de les seccions esveltes s'abonyeguen abans d'aconseguir el límit elàstic

La secció de classe 4 resisteix un moment inferior al moment elàstic i la secció de classe 3 pot resistir el moment elàstic. La secció de classe 2 resisteix el moment plàstic en una única secció i, en canvi, les seccions de classe 1 poden resistir el moment plàstic a més d'una secció. Com s'observa en la figura 4.4 la tensió elàstica és menor que el moment plàstic.

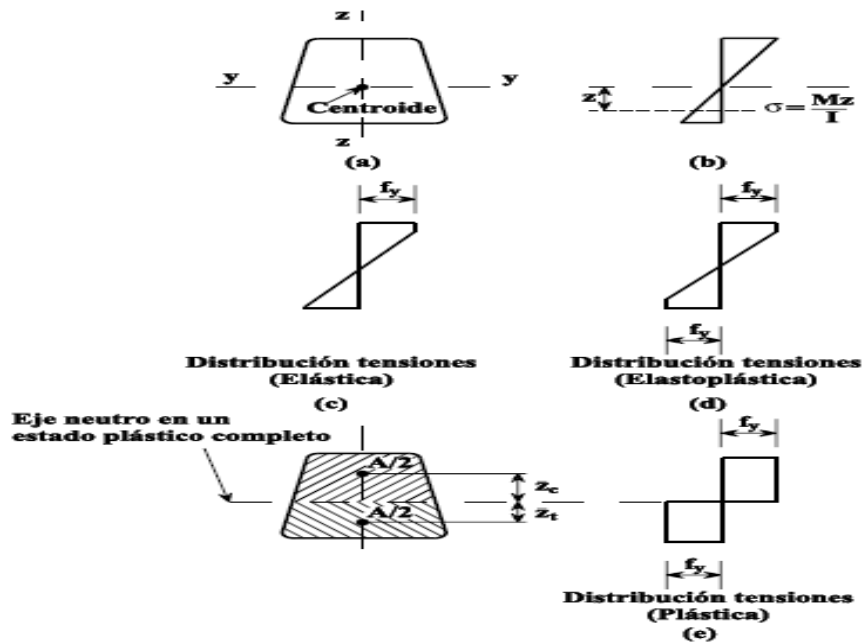


Figura 4.4.- Distribució de tensions d'una secció transversal.

El perfil IPE de manera general treballa a flexió amb secció de classe 1 i, en canvi els perfils ZF i CF treballen a flexió amb secció de classe 3. Indica doncs, una major resistència de l'element laminat en comparació amb l'element conformat. Al tenir més resistència en el perfil IPE és limitant la seva deformació.

#### □□□□□□ Pes total de corretges

En aquest apartat s'analitza el pes total de corretges en  $\text{kg/m}^2$  de superfície construïda en funció de la llum, l'alçada i la modulació pels 48 pòrtics optimitzats.

Abans d'entrar en l'obtenció del model lineal múltiple, es convenient realitzar una gràfica on es pugui visualitzar la correlació que hi ha entre variables. L'opció gràfica "panell" de l'R és l'escollida. El panell, en aquest cas, es compon per 16 gràfics diferents que permeten veure la relació entre les variables. Veure figura 4.5

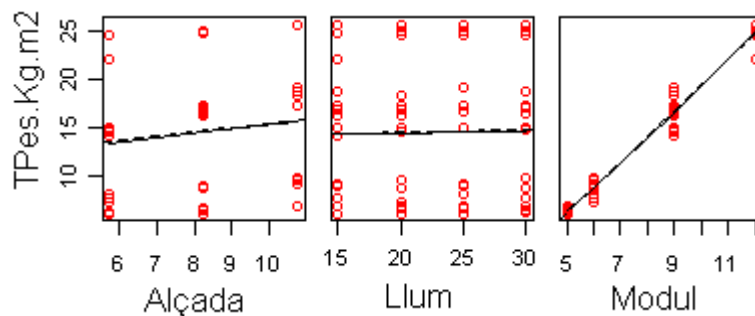


Figura 4.5.- Panell comparativa entre variables i pes total de corretges.

S'observa una relació positiva entre el pes i la modulació. Sembla ser que la modulació té una incidència clara respecte el pes.

Per altra banda, tant la llum com l'alçada no tenen gaire incidència en la variable resposta. És més, la gran variabilitat de punts d'ambdues variables no semblen tenir, a priori, una correlació significativa.

A continuació, es realitza una gràfica "arbre" per tal de comprovar la existència d'una relació complexa entre les variables explicatives (Veure figura 4.6).

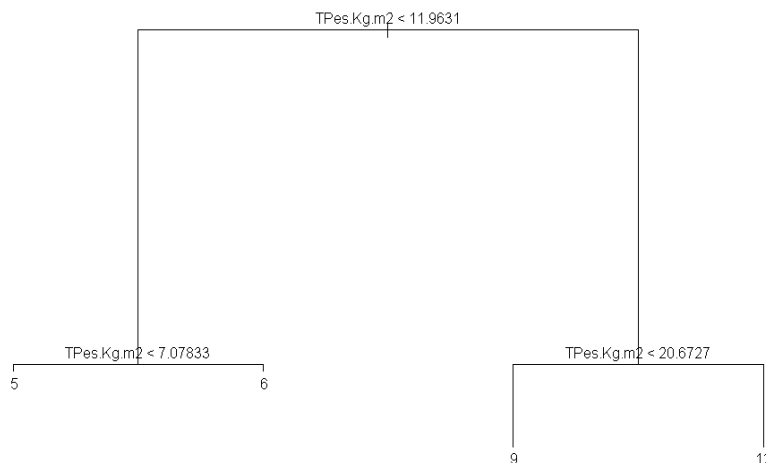


Figura 4.6.- Arbre entre variables explicatives i resposta

Per una banda, es reafirma el resultat de la gràfica 4.1, on només la variable modulació sembla tenir un paper destacat en el pes total de corretges. Per modulacions inferiors a 9 metres s'obté un pes màxim de 12 kg/m<sup>2</sup> de corretja.

Per l'altra banda, s'observa una manca d'interacció entre variables explicatives.

Finalment, s'ajusta un model lineal múltiple per aconseguir una equació del pes total en funció de les variables explicatives. Es tenen en compte, les interaccions entre variables. L'equació resultant del model és:

$$Y = a + bX + cZ + dXZ \rightarrow r^2 = 99,1\%$$

on, X: Modulació  
Y: Alçada

L'equació explica un 99,1 % de la variabilitat observada. Hi ha una relació lineal i significativa entre la modulació i el pes total de les corretges. També, en menor mesura, hi ha una interacció entre la modulació i l'alçada que afecta al pes.

El pes total de les corretges és independent de la llum del pòrtic. És a dir que una modificació en la llum del pòrtic no afectaria al pes total de les corretges.

### 00000000 Pes de les corretges de coberta

Es segueix el mateix procediment d'anàlisi que en l'apartat anterior en el model lineal múltiple.

S'analitza gràficament, mitjançant el panell, el pes de les corretges de coberta. Segons la figura 4.7, els resultats obtinguts són semblants als del pes total de corretges.

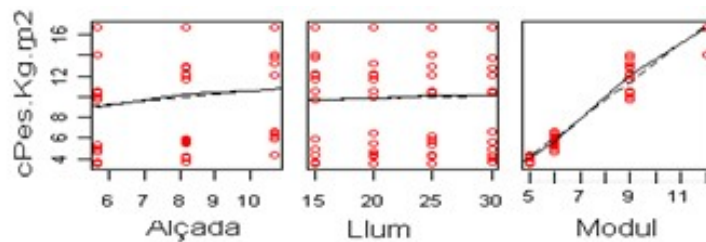


Figura 4.7.- Panell comparativa entre variables i pes corretja en coberta.

L'única variable que té relació amb el pes de les corretges de coberta és la modulació.



L'equació del model lineal múltiple que explica aquesta relació és la següent:

$$\boxed{\text{---}} \rightarrow r^2 = 97,61\%$$

on, X: Modulació  
Y: Alçada

Tal i com passa amb el pes total de corretges, la modulació és la variable més significativa.

En modulació de 5, 6 i en un 50% dels casos de 9 metres s'obtenen perfils ZF com a òptims. Més enllà de 9 metres aquest perfil no resisteixen les accions considerades i cal utilitzar la sèrie de perfils IPE.

En modulació de 9 metres els perfils IPE i ZF tenen com a resultat pesos similars. Com es veu anteriorment que l'alçada interacciona amb la modulació en quant al pes es realitza una gràfica per observar el comportament del pes en relació a l'alçada i la sèrie de perfil a la modulació de 9 m. En la figura 4.8 s'observen els resultats.

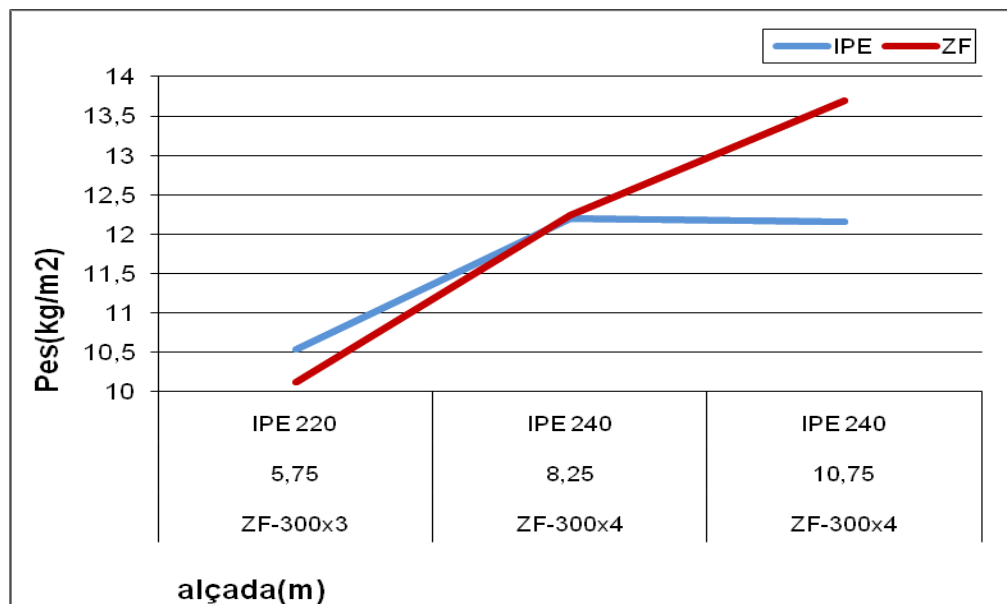


Figura 4.8.- Relació de pes-alçada amb els dos perfils per a modulació de 9.

El comportament del perfil ZF és positiu. A increments d'alçada increments de pes de manera proporcional. En canvi el perfil IPE genera un resultat inesperat. Segons la

figura 4.7 la gràfica hauria de ser lineal ascendent però no és així. Per les alçades de 8,25 i 10,75 m. el perfil resulta ser el mateix i per tant el pes també.

El fet d'obtenir el mateix pes per a les dues alçades (8,25 i 10,75) en els perfils IPE és degut a l'acotació de les corretges a un màxim de 2,5 metres. Es a dir que a l'alçada de 8,25 la separació de corretges podria haver estat major i hagués disminuït el pes en aquest punt. L'aprofitament també és menor, es clar. Si es corregeixen els pesos a 8,25 m. introduint els resultats calculats amb l'equació de la recta obtinguda anteriorment. La gràfica corregida es la figura 4.9.

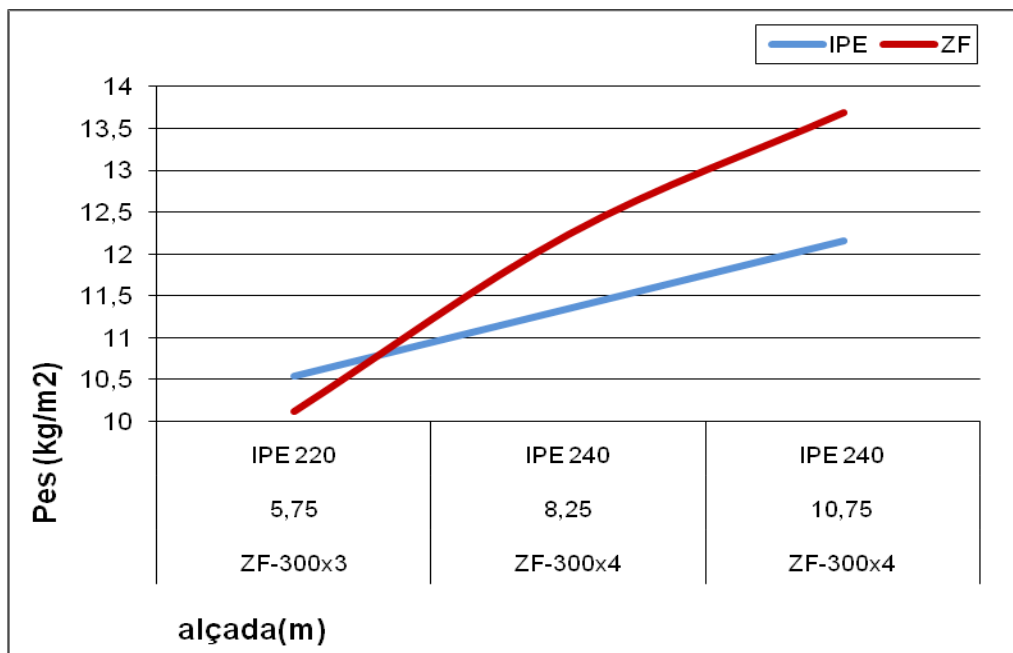


Figura 4.9.- Gràfica corregida de la figura 4.8.

La relació entre alçada i pes de les dues tipologies tenen tendència ascendent i a més a més interaccionen entre elles. De manera global es pot dir que per a alçades de 5,75 metres els perfils ZF són els òptims. Per contra, en l'alçada de 8,25 i 10,75 metres són els perfils IPE.

Els perfils ZF treballen a ple rendiment en la modulació de 9 metres amb l'alçada de 5,75 metres. A l'augmentar l'alçada i per tant la superfície de contacte de la nau amb el vent, les sol·licitacions incrementen.

Els promigs en la Sc entre els dos perfils a modulació de 9 metres es veuen en la taula 4.6

Taula 4.6.- Promig de la Sc dels perfils en corretges de coberta.

Perfil	Promig Sc (m)
ZF	1,16
IPE	2,47

Cal destacar que encara que tinguin el mateix pes, el factor Sc pot afectar en el dimensionat del pòrtic tant pel sistema de travat com pel vinclament i vinclament lateral de la llinda i pilar. En l'apartat 4.2.1 es parla d'aquest possible efecte.

## Resultats en corretges laterals

Les corretges laterals tenen el perfil CF com a únic perfil òptim per a totes els tipus de pòrtics d'aquest estudi. La sèrie de perfils CF resisteix les modulacions fins a 12 metres en lateral.

El model en aquets cas és el següent:

$$\boxed{\text{---}} \rightarrow r^2 = 94,07\%$$

on, X: Modulació  
Y: Alçada

L'equació té la mateixa estructura que les dues anteriors. Tanmateix, els coeficients són la meitat que en l'equació de corretges de coberta degut al nombre inferior d'accions actuants (Pes propi, pes tancament i vent) en les corretges laterals.

## 4.2. - Pòrtics

Els resultats dels pòrtics s'estructuren en base a quatre apartats clarament diferenciats. El primer mostra una taula resum dels resultats òptims dels pòrtics. El segon relaciona les cartel·les i el seu efecte dins el pòrtic. El tercer i quart apartat explica la

tendència de manera individual i conjunta de les tres variables que interaccionen en el pes del pòrtic.

## □□□□□□ **Dimensionat òptim dels pòrtics**

Abans d'analitzar les dades es mostra una taula resum dels perfils de la llinda i el pilar i el pes dels dos perfils per cada una de les optimitzacions que s'han realitzat (Taula 4.7).

Hi ha dues solucions pels pòrtics amb modulació de 9 metres estan repetits en les taules calculen dues vegades ja que obtenen dos valors diferents en el pes de corretges. Un per a perfils ZF i un altre pes per perfils IPE. Però el fet a destacar és tal i com indica la taula 4.6 en l'apartat 4.1.4 els promigs de la Sc completament diferents.



Variables Explicatives				Pòrtics sense cartel·la			Pòrtics amb cartel·la a la llanda			Pòrtics amb cartel·la a la llanda i pilar		
Mòdul (m)	Alçada (m)	Llum (m)	Sc (m)	Perfil llanda	Perfil pilar	Pes (kg/m <sup>2</sup> )	Perfil llanda	Perfil pilar	Pes (kg/m <sup>2</sup> )	Perfil llanda	Perfil pilar	Pes (kg/m <sup>2</sup> )
5	5,75	15	2,5	IPE 400	HE 240 A	22,58	IPE 330	HE 240 A	19,78	IPE 330	HE 220 A	18,88
5	5,75	20	2,5	IPE 550	HE 280 A	29,93	IPE 450	HE 280 A	25,27	IPE 450	HE 260 A	25,03
5	5,75	25	2,5	HE 450 A	HE 340 A	37,73	HE 340	HE 360 A	32,78	HE 340 A	HE 320 A	32,18
5	5,75	30	2,5	HE 700 A	HE 450 A	51,82	HE 500 A	HE 450 A	43,38	HE 500 A	HE 400 A	42,70
5	8,25	15	2,5	IPE 400	HE 280 A	30,14	IPE 360	HE 280 A	28,88	IPE 360	HE 280 A	28,88
5	8,25	20	2,5	IPE 550	HE 280 A	33,75	IPE 450	HE 300 A	31,28	IPE 450	HE 280 A	30,66
5	8,25	25	2,5	HE 450 A	HE 400 A	44,56	HE 360 A	HE 400 A	40,19	HE 360 A	HE 350 A	38,63
5	8,25	30	2,14	HE 700 A	HE 500 A	58,16	HE 500 A	HE 500 A	49,88	HE 500 A	HE 450 A	49,30
5	10,75	15	1,87	IPE 450	HE 360 A	47,72	IPE 400	HE 360 A	46,10	IPE 400	HE 360 A	46,10
5	10,75	20	2	IPE 600	HE 360 A	48,72	IPE 500	HE 360 A	44,70	IPE 500	HE 360 A	44,70
5	10,75	25	2,5	HE 450 A	HE 450 A	52,12	HE 360 A	HE 450 A	48,50	HE 360 A	HE 400 A	47,48
5	10,75	30	2,14	HE 700 A	HE 600 A	66,59	HE 550 A	HE 600 A	61,50	HE 550 A	HE 550 A	59,70
6	5,75	15	1,87	IPE 450	HE 240 A	20,69	IPE 400	HE 240 A	19,77	IPE 400	HE 240 A	19,77
6	5,75	20	2	IPE 600	HE 300 A	28,98	IPE 500	HE 300 A	24,45	IPE 500	HE 280 A	23,76
6	5,75	25	2,08	HE 500 A	HE 400 A	35,54	HE 400 A	HE 400 A	31,48	HE 400 A	HE 340 A	30,52
6	5,75	30	1,875	HE 800 A	HE 450 A	46,51	HE 600 A	HE 450 A	39,87	HE 600 A	HE 400 A	39,42
6	8,25	15	1,5	IPE 450	HE 300 A	29,18	IPE 400	HE 300 A	27,67	IPE 400	HE 300 A	27,67
6	8,25	20	2	IPE 550	HE 300 A	29,76	IPE 500	HE 300 A	28,64	IPE 500	HE 300 A	28,60
6	8,25	25	2,5	HE 500 A	HE 450 A	41,34	HE 400 A	HE 450 A	37,38	HE 400 A	HE 400 A	36,43
6	8,25	30	1,66	HE 800 A	HE 550 A	52,82	HE 600 A	HE 550 A	47,48	HE 600 A	HE 500 A	46,12
6	10,75	15	1,875	IPE 500	HE 400 A	45,07	IPE 450	HE 400 A	43,68	IPE 450	HE 400 A	43,68
6	10,75	20	1,42	IPE 600	HE 400 A	42,87	IPE 550	HE 400 A	40,75	IPE 550	HE 400 A	40,75
6	10,75	25	1,78	HE 500 A	HE 500 A	48,19	HE 450 A	HE 500 A	46,19	HE 400 A	HE 450 A	43,39
6	10,75	30	1,66	HE 900 A	HE 800 A	68,94	HE 600 A	HE 800 A	58,32	HE 600 A	HE 700 A	57,14

Continuació de la taula a la pàgina següent...

... continuació de la taula de la pàgina anterior.

Variables Explicatives				Pòrtics sense cartel·la			Pòrtics amb cartel·la a la llanda			Pòrtics amb cartel·la a la llanda i pilar		
Mòdul (m)	Alçada (m)	Llum (m)	Sc (m)	Perfil llanda	Perfil pilar	Pes (kg/m <sup>2</sup> )	Perfil llanda	Perfil pilar	Pes (kg/m <sup>2</sup> )	Perfil llanda	Perfil pilar	Pes (kg/m <sup>2</sup> )
9	5,75	15	1,5	IPE 500	HE 280 A	16,67	IPE 400	HE 280 A	14,66	IPE 400	HE 260 A	14,52
9	5,75	15	2,5	IPE 500	HE 280 A	16,67	IPE 400	HE 280 A	14,66	IPE 400	HE 260 A	14,52
9	5,75	20	1,11	HE 450 A	HE 360 A	22,76	HE 360 A	HE 360 A	20,52	HE 360 A	HE 340 A	20,07
9	5,75	20	2,5	HE 450 A	HE 360 A	22,76	HE 360 A	HE 360 A	20,52	HE 360 A	HE 340 A	20,07
9	5,75	25	1,13	HE 700 A	HE 500 A	30,76	HE 500 A	HE 500 A	26,16	HE 500 A	HE 450 A	25,72
9	5,75	25	2,5	HE 700 A	HE 500 A	30,76	HE 500 A	HE 500 A	26,16	HE 500 A	HE 450 A	25,72
9	5,75	30	1,07	HE 900 B	HE 600 A	40,12	HE 700 B	HE 600 A	35,61	HE 600 B	HE 550 A	32,73
9	5,75	30	2,5	HE 900 B	HE 600 A	40,12	HE 700 B	HE 600 A	35,61	HE 600 B	HE 550 A	32,73
9	8,25	15	1,25	IPE 550	HE 340 A	24,55	IPE 450	HE 340 A	21,97	IPE 450	HE 340 A	21,97
9	8,25	15	2,5	IPE 550	HE 320 A	23,68	IPE 450	HE 340 A	22,30	IPE 450	HE 320 A	22,30
9	8,25	20	1,25	HE 450 A	HE 450 A	28,41	HE 340 A	HE 450 A	25,29	HE 340 A	HE 400 A	24,47
9	8,25	20	2,5	HE 450 A	HE 450 A	28,41	HE 340 A	HE 450 A	25,29	HE 340 A	HE 400 A	24,47
9	8,25	25	2,5	HE 700 A	HE 550 A	35,03	HE 550 A	HE 550 A	32,29	HE 500 A	HE 500 A	30,51

Hi ha tres tipus de pòrtics que no compleixen les comprovacions exigides pel CTE amb cap dels perfils de les sèries emprades (Veure taula 4.8). En els dos primers casos, amb la col·locació de cartel·la a la llinda es dimensiona el pòrtic. En el segon cas, únicament es soluciona amb la col·locació de cartel·la a la llinda i al pilar.

Tipus de pòrtic	Modulació	Alçada	Llum
<b>Tipus30</b>	12	5,75	30
<b>Tipus39</b>	12	8,25	30
<b>Tipus48</b>	12	10,75	30

Taula 4.8.- Pòrtics que no han complert sense cartel·la.

Es podria parlar d'un màxim en aquesta tipologia de pòrtics en el que més enllà d'aquests paràmetres, difícilment complirien les prestacions sol·licitades.

## □□□□□□ **Cartel·la en pòrtics**

S'utilitza la cartel·la per a optimitzar la sèrie de perfils amb la consegüent reducció del pes del pòrtic. Per això, es troben dues maneres d'aconseguir aquest propòsit.

Per una banda, s'usa per augmentar la inèrcia de l'element en l'extrem més sol·licitat. En els pòrtics estudiats, la sol·licitació més crítica, des del punt de vista del moment, es troba situada en els nusos entre llinda i pilar. És en aquests nusos on la llinda i/o el pilar, no compleixen les tensions sol·licitades i, requereixen de la cartel·la, per tal d'augmentar la resistència. D'aquesta manera es disminueix la llinda i/o el pilar com a mínim un perfil.

Per altra banda, es comprova que l'augment de resistència modifica el repartiment de moments al llarg de l'element, incrementant l'esforç sol·licitant en el mateix punt. De tal manera que si es col·loqués una cartel·la en la clau del pòrtic augmentaria el moment a la clau fent disminuir el moment en els altres punt de l'element.

Un clar exemple del mètode és quan succeeix que a la base del pilar la sol·licitació sobrepassa el límit que resisteix el pilar. En aquest cas, la col·locació de cartel·la a la base del pilar no és una solució pràctica. Per a reduir el moment, s'utilitza la cartel·la a la clau del pòrtic per tal de redistribuir la llei de moments al llarg del pòrtic.

La següent taula 4.9 mostra més informació sobre el % de cartel·la i perfils rebaixats.

	% de cartel·la a la llinda		% de cartel·la a la llinda i pilar			perfils rebaixats		perfils rebaixats	
	inf	sup	inf	sup	pilar	llinda	pilar	llinda	pilar
<b>Mitjana</b>	11	2	11	1	10	2	0	2	1

Taula 4.9.- Percentatge de cartel·la utilitzat i perfils rebaixat

Per tal de rebaixar dos perfils de la llinda s'ha de col·locar un 11% de cartel·la a part inferior i un 2% a la superior d'aquest element. I per a rebaixar el pilar un perfil s'ha de col·locar, a més a més, un 10% de cartel·la a la part superior del pilar.

Més endavant s'analitza detingudament, la incidència en pes que tenen aquestes reduccions de perfils en el pes total del pòrtic.

#### □□□□□□ **Factors que influeixen en el pes òptim del pòrtics.**

Es realitza l'estudi de manera separada de les variables llum, alçada i modulació per a veure l'efecte individual de cada una d'elles en el pes del pòrtic. També s'estudia la incidència de cadascuna d'elles dins els tres tipus d'optimització dels pòrtics ( el pes sense cartel·la, amb cartel·la a la llinda i amb cartel·la a la llinda i al pilar).

##### **4.2.3.1.- Llum**

La gràfica següent mostra la relació entre el pes total de cada pòrtic i la llum d'aquests per cada tipus d'optimització (figura 4.10).



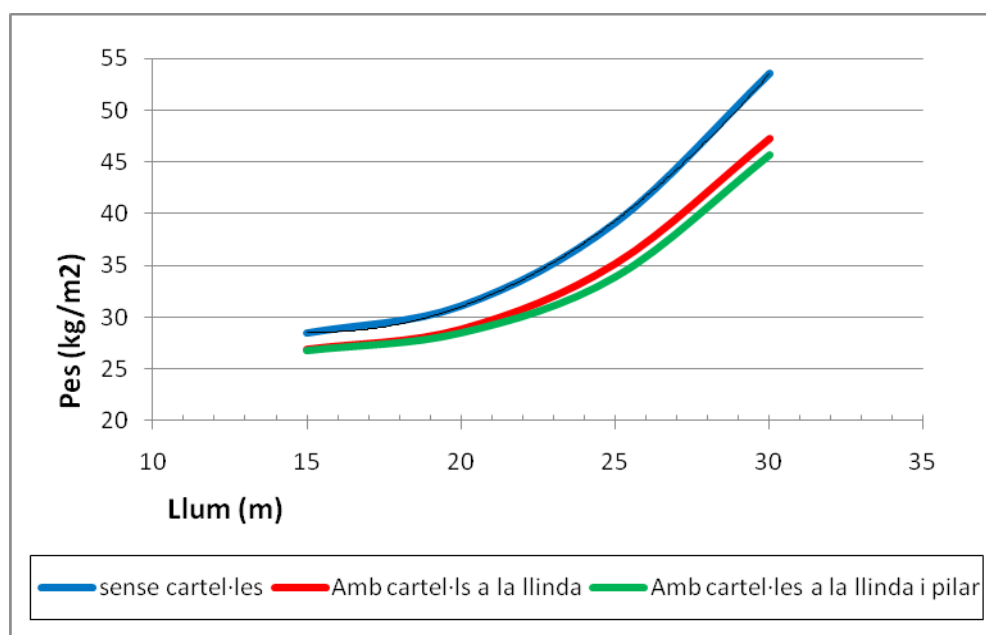


Figura 4.10.- Pes del pòrtic per a cada tipologia en funció de la llum

S'aprecia una tendència ascendent del pes a mesura que s'augmenta la llum. És una tendència polinòmica de segon ordre per les tres regressions resultants. El tipus de polinomi afecta a la regressió de l'apartat 4.2.4 ja que la relació entre el pes i la llum és quadràtica i s'ha de contemplar a l'equació.

Per una altra banda s'observa que la diferència de pes entre la utilització de les cartel·les únicament a la llinda i a la llinda i al pilar és mínima per a llums petites (15 m). A mesura que augmenta la llum augmenta la diferència de pes entre elles.

La taula 4.10 mostra les diferències de pes en valor absolut i relatiu entre els pòrtics sense cartel·la i els pòrtics amb cartel·la a la llinda i entre aquests últims i els pòrtics amb cartel·la a la llinda i al pilar.

Taula 4.10- Reducció de pes en valor absolut i relatiu deguda a la introducció de cartel·la en funció de la llum.

Llum	Reducció de pes (kg/m <sup>2</sup> )		Reducció de pes (%)	
	PSC-PCL	PCL-PCLP	PSC-PCL	PCL-PCLP
15	1,66	0,09	5,82	0,35
20	2,33	0,32	7,50	1,11
25	4,00	1,26	10,22	3,60
30	7,17	2,08	13,39	4,48

PSC= Pòrtics sense cartel·la; PCL= Pòrtics amb cartel·la a la llinda i PCLP= Pòrtics amb cartel·la a la llinda i al pilar.



S'observa que la cartel·la genera una reducció de pes del pòrtic creixent de forma quadràtica del 6 al 13 % per a llums de 15 a 30 m.

Mentre que la introducció de cartel·la al pilar afecta relativament poc, valors al voltant de l'1 per cent, per a llums petites si que es triplica l'efecte però, en llums grans de 25 i 30 metres amb valors del 3-5 per cent. Per tant, es dedueix que l'efecte de la cartel·la per a la reducció de pes s'accentua amb llums grans.

#### 4.2.3.2.- Alçada

El pes del pòrtic també mostra una tendència ascendent i constant a mesura que la alçada augmenta. La regressió s'ajusta a una equació polinòmica de segon ordre. Veure figura 4.11.

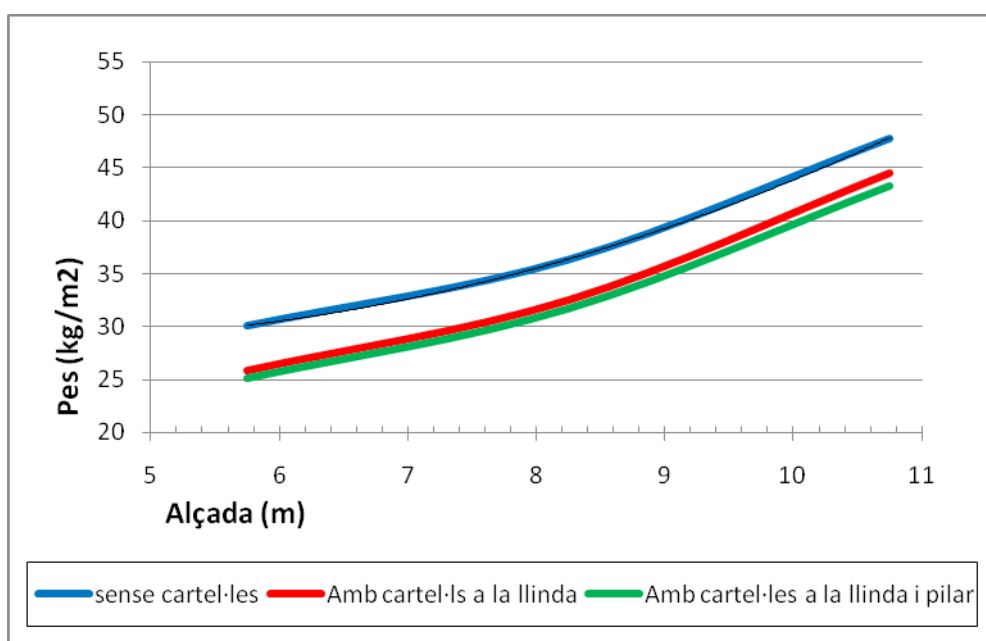


Figura 4.11.- Pes del pòrtic per a cada tipologia en funció de l'alçada

S'aprecia visualment que les diferències de pes entre les tres tipologies de pòrtics es mantenen quasi constants al llarg de la gràfica. La cartel·la redueix el pes del pòrtic de l'ordre de 4 kg/m² en funció de l'alçada.

Les cartel·les col·locades a més a més al pilar no redueixen significativament el pes del pòrtic. Si que s'observa, però, com a mesura que augmenta l'alçada hi ha petits increments en la diferència entre cartel·la a la llinda i a la llinda i al pilar.

Numèricament es comprova amb la taula següent 4.11.

Taula 4.11.- Reducció de pes en valor absolut i relatiu deguda a la introducció de cartel·la en funció de l'alçada.

Alçada	Reducció de pes (kg/m <sup>2</sup> )		Reducció de pes (%)	
	PSC-PCL	PCL-PCLP	PSC-PCL	PCL-PCLP
5,75	4,27	0,72	14,18	2,78
8,25	3,84	0,82	10,56	2,53
10,75	3,26	1,28	6,83	2,87

PSC= Pòrtics sense cartel·la; PCL= Pòrtics amb cartel·la a la llinda i PCLP= Pòrtics amb cartel·la a la llinda i al pilar.

D'aquesta taula s'extreuen dues conclusions. Pel que fa a la reducció de pes en kg/m<sup>2</sup>, les reduccions de pes són pràcticament les mateixes per les diferents alçades però, percentualment s'observa com per alçades de 5,75 la reducció és més important, del 14 % del pes amb la col·locació de cartel·les a la llinda disminuint el percentatge en un 4 per cent en cada augment de l'alçada. La cartel·la treballa millor per alçades petites.

La cartel·la a la llinda i al pilar manté constant el % de reducció de pes respecte a la cartel·la a la llinda. Aquesta reducció de l'ordre del 2% és poc significativa.

#### 4.2.3.3.- Modulació

En l'estudi de la modulació no es tenen en compte els tres pòrtics no dimensionats. Els resultats es mostren en la figura 4.12.

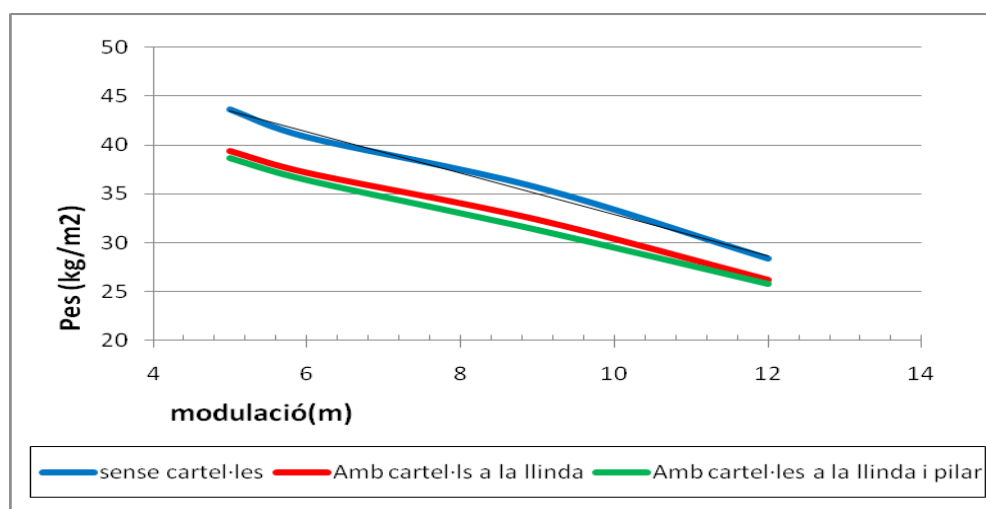


Figura 4.12.- Pes del pòrtic per a cada tipologia en funció de la modulació

A diferència de l'alçada i la llum, en aquest cas s'observa un descens lineal del pes a l'augmentar la modulació. La relació és clara ja que a més modulació menys pòrtics es necessiten amb la mateixa superfície construïda.

Pel que fa a la taula 4.12, s'ha de dir que tant en pes en  $\text{kg/m}^2$  com en percentatge no hi ha hagut grans canvis. Únicament la modulació de 12 metres ha mostrat un percentatge lleugerament inferior i és degut als pòrtics no dimensionats que haguessin augmentat els pes de la mitjana ja que són els pòrtics amb llum de 30 metres, els més pesats. En definitiva, cal dir que la modulació per si sola, no té cap efecte destacable sobre la cartel·la.

Taula 4.12.- Reducció de pes en valor absolut i relatiu deguda a la introducció de cartel·la en funció de la modulació.

Modulació	Reducció de pes ( $\text{kg/m}^2$ )		Reducció de pes (%)	
	PSC-PCL	PCL-PCLP	PSC-PCL	PCL-PCLP
5	4,29	0,66	9,84	1,69
6	3,68	0,70	9,02	1,89
9	3,33	1,01	9,33	3,13
12	2,20	0,40	7,74	1,53

PSC= Pòrtics sense cartel·la; PCL= Pòrtics amb cartel·la a la llinda i PCLP= Pòrtics amb cartel·la a la llinda i al pilar.

## □□□□□□□□ Efecte conjunt de la llum, l'alçada i la modulació sobre el pes del pòrtic

Per a conèixer de manera global el comportament d'un pòrtic cal estudiar les variables que actuen de manera conjunta ja que hi ha la possibilitat d'interacció entre elles.

Amb un gràfic d'arbre s'aconsegueix fer-se una idea orientativa de les relacions entre aquestes variables. Veure la figura 4.13.

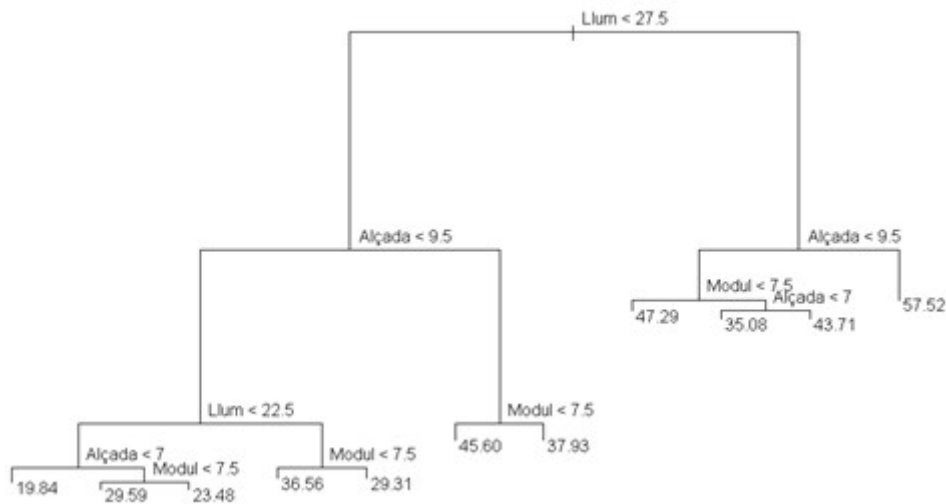


Figura 4.13.- Arbre entre variables explicatives i resposta.

La gràfica indicat una gran complexitat entre variables. Hi ha interaccions entre variables al llarg de l'arbre que dificulten la lectura d'aquest. De totes maneres, s'ha de dir, a "grosso modo", que la llum és la variable més determinant en el pes de pòrtics (com més llarga és la branca de l'arbre, més explica la variable respecte el model). L'alçada juga també un paper important. En canvi, la modulació essent el factor menys decisiu en el pes del pòrtic afecta sobretot per a grans alçades.

Es comença el model lineal analitzant conjuntament l'efecte de les variables i de la cartel·la en el pes del pòrtic. Un cop simplificat el model mitjançant el programa R, s'arriba al model final.



Un primer resultat és la inexistència de diferències significatives entre la col·locació de cartel·les només a la llinda i a la llinda i el pilar. En les taules 4.10,4.11 i 4.12 ja s'han observat poques diferències. Reduir el pilar en una sèrie de perfil no redueix significativament el pes del pòrtic ja que, entre altres, les longituds dels pilars són inferiors a la de les llindes (en alguns casos 6 vegades inferior).

D'aquesta manera es consideren dos models:

1. Model lineal múltiple per a pòrtics sense cartel·la:

on: X: Modulació ; Y: Alçada ; Z: Llum

2. Model lineal múltiple per a pòrtics amb cartel·la a la llinda i/o a la llinda i al pilar

Els models del pòrtic amb o sense cartel·la depenen de la llum i el seu terme quadràtic, del terme quadràtic de l'alçada i d'una interacció entre la llum, la alçada i la modulació.

Finalment es comprova gràficament que els valors estimats dels models s'ajusten als valors observats. Veure figura 4.14.

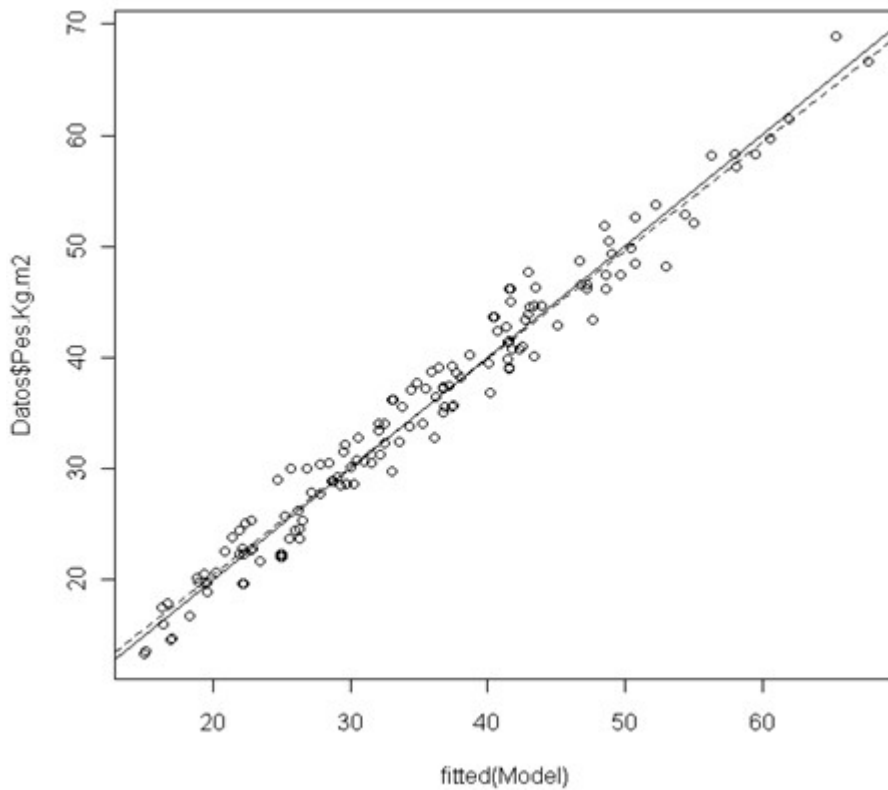


Figura 4.14.- Gràfica dels valors observats VS valors estimats.

Els valors estimats estan distribuïts al llarg de les abscisses(x) i els valors observats al llarg de les ordenades (y). La recta de regressió del núvol de punts es representa en forma de línia continua. En canvi, la línia discontinua representa la recta 1:1. El model s'ajusta a les dades observades.

### 4.3. - Corretges i pòrtics

Fins el moment s'han analitzat individualment els elements corretja i pòrtic d'una estructura obtenint resultats diferencials entre ambdós. Per una banda, en corretges s'ha trobat com a variable més important la modulació i, en canvi, en pòrtics aquesta variable ha deixat de tenir importància significativa en detriment de la llum i en menor grau de l'alçada.

En aquest apartat, es pretén estudiar el comportament conjunt dels pòrtics i les corretges a fi i efecte d'obtenir el seu òptim. A més a més es vol observar la importància de cadascun dels elements i variables dins el conjunt de l'estructura.

#### □□□□□□□ **Importància relativa de les corretges i els pòrtics en el pes global de l'estructura**

Abans d'explicar la interacció entre corretja i pòrtic és remarcable considerar el pes total de cadascun dels elements (en aquest apartat, es considera llinda i pilar com a element conjunt) en el global de l'estructura. La taula 4.13 mostra, en percentatge, la importància de cada element.

Taula 4.13.- Percentatge de pes dels elements respecte al pes pes total

Tipus d'estructura	% sobre el Pes Total de l'estructura:	
	Corretja	Pòrtic
Estructura sense cartel·la	28,27	71,73
Estructura amb cartel·la	30,48	69,52

En termes generals, la corretja aporta entre un 28 i un 30 per cent del pes total de l'estructura. Per contra, el pòrtic suposa entre el 70 i 72 per cent de l'estructura. Des d'aquesta perspectiva s'afirma que l'optimització del pòrtic hauria de ser la més acurada possible. Però, aquest valors poden oscil·lar en major o menor mesura depenen de la modulació, la llum i l'alçada.



## □□□□□□□ Importància de la modulació, la llum i l'alçada en el conjunt pòrtic-corretja

### 4.3.2.1.- Modulació

La modulació és l'única que varia radicalment la tendència del pes entre l'element corretja i el pòrtic. En corretges el pes es mostra creixent a l'augmentar la modulació i, en canvi, en pòrtics succeeix totalment el contrari. Per cada increment de modulació el pes decreix.

A continuació es mostra la gràfica del pes en funció de la modulació per les tres tipologies de pòrtics. Figura 4.15.

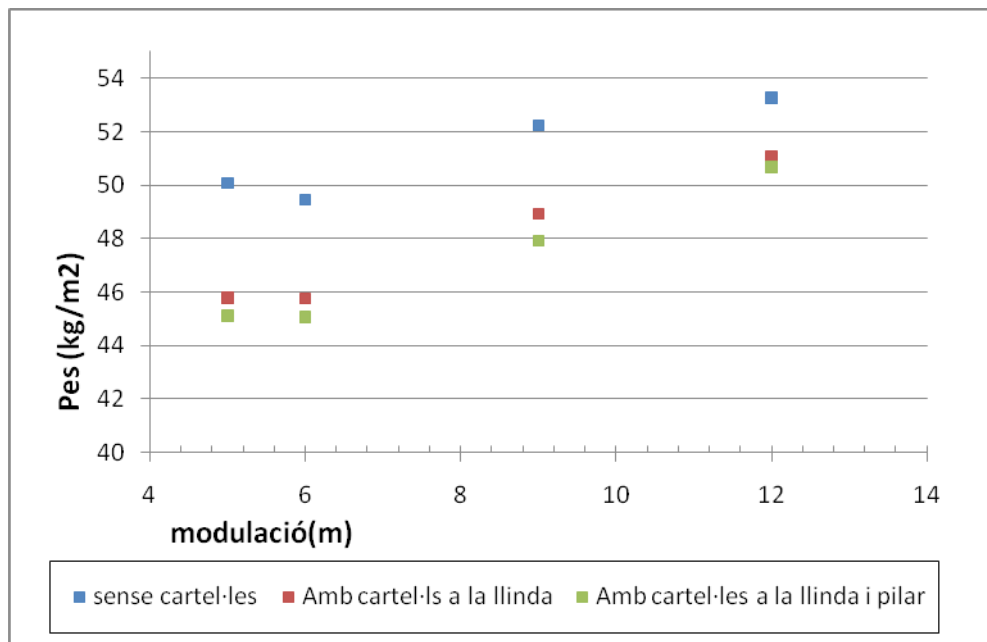


Figura 4.15.- Tendència del pes de corretges i pòrtics en funció de la modulació.

El primera tram del gràfic ( de 5 a 6 m.), el pes total del pòrtic sense cartel·la decreix al incrementar la modulació. En canvi els pòrtics amb cartel·les mantenen el seu pes per l'increment de modulació. Això es degut a que la introducció de cartel·les redueix més pes del pòrtic a modulació de 5 m que a 6 m.

L'últim tram ( de 9 a 12 m.) la tendència és positiva. A més modulació més pes. Segueix una tendència semblant a la dels resultats de les corretges, es a dir que el pes de les corretges guanya protagonisme respecte al dels pòrtics.

En el tram intermig (de 6 a 9 m.) s'observa un mínim en el pes total a 6 m. tenint en compte que per a pòrtics amb cartel·les els pesos del primer tram són relativament iguals, S'intueix un canvi de tendència, en els pòrtics sense cartel·la, entre el primer i l'últim tram on a modulació de 6 m. o proximes a aquesta hi ha la modulació amb menor pes.

La importància de les corretges i els pòrtics en el pes total en funció de la modulació s'observa en la taula 4.14.

Taula 4.14.- Percentatge de pes dels elements respecte del total segons la modulació.

Modulació	Pes total sense cartel·les (%):		Pes total amb cartel·les (%):	
	Corretges	Pòrtics	Corretges	Pòrtics
<b>5</b>	13,66	86,34	14,95	85,05
<b>6</b>	18,42	81,58	19,74	80,26
<b>9</b>	33,18	66,82	35,40	64,60
<b>12</b>	47,82	52,18	48,42	51,58

S'observa un tendència clara en funció de la modulació. A mesura que augmenta la variable, la importància de les corretges va en augment fins al punt que a 12 m. de modulació pràcticament les corretges i els pòrtics tenen la mateixa importància en el pes del conjunt.

En el cas més desfavorable, entre escollir una modulació de 5 metres, on la importància de la corretja ha estat del 14 per cent, o escollir-la de 12 metres, la oscil·lació ha estat del 34 %. Es a dir que, mentre a modulacions de 5 metres el pòrtic és l'element d'optimització amb del 86 per cent del pes total, a modulacions de 12 metres els dos elements adopten casi el mateix percentatge del pes de l'estructura.

#### 4.3.2.2.- Llum

La variable llum, per una banda, és significativa en el pes dels pòrtics però, per altra banda, no té cap efecte en pes de les corretges. En el global de l'estructura, el comportament del pes respecte la llum té una tendència similar que la mostrada en els pòrtics. S'observa en la figura 4.16.

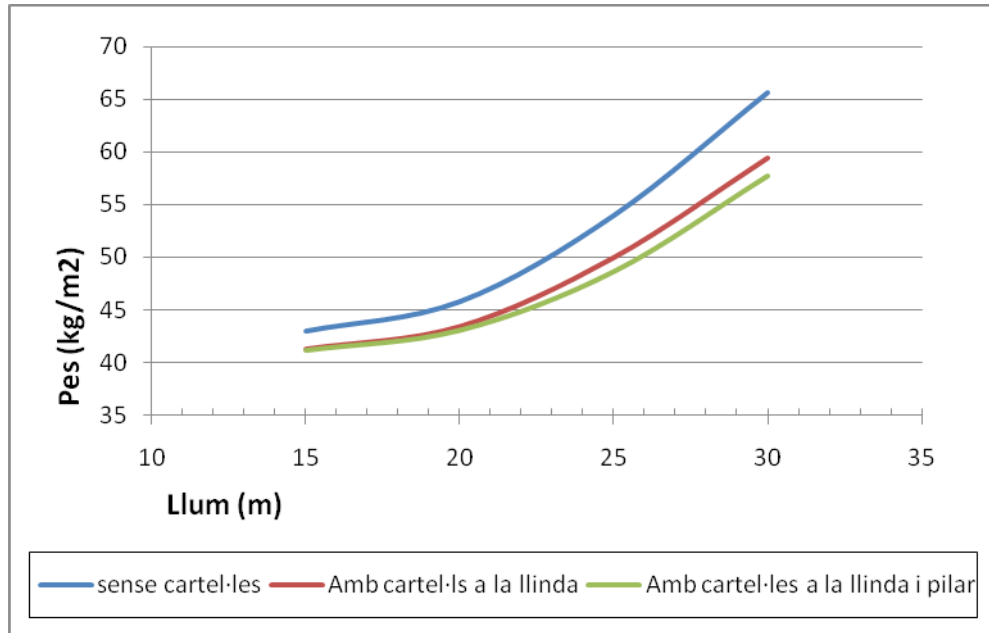


Figura 4.16.- Tendència del pes de corretges i pòrtics en funció de la llum.

Pel que fa a la importància del pes de les corretges i dels pòrtics respecte al pes global, la taula 4.15.

Taula 4.15.- Percentatge de pes dels elements respecte del total segons la llum.

Llum	Pes total sense cartel·les (%):		Pes total amb cartel·les (%):	
	Corretges	Pòrtics	Corretges	Pòrtics
<b>15</b>	33,97	66,03	35,60	64,40
<b>20</b>	31,62	68,38	33,25	66,75
<b>25</b>	27,03	72,97	29,25	70,75
<b>30</b>	18,53	81,47	23,35	76,65

El pes de les corretges no varia en funció de la llum tal i com s'ha demostrat en l'apartat 4.1.3. Per tant l'increment o decrement del % en pes de corretges ve determinat pel pes del pòrtic que, si està directament relacionat a llum.

La relació quadràtica que s'observava en els pòrtics es pot veure en la taula anterior de forma numèrica. Entre llums de 15 i 20 m. el % del pes total en pòrtics augmenta el 2%,

el següent tram de llums el pes total augmenta el 4% i l'últim tram l'11%. Els pòrtics dupliquen la importància en el pes total a mesura que s'augmenta la llum del pòrtic.

#### 4.3.2.3.- Alçada

L'alçada és una variable que té relativa significança en corretges i s'accentua més en pòrtics. En el global de l'estructura, el comportament del pes respecte l'alçada té una tendència similar que la mostrada en els pòrtics (Veure figura 4.17).

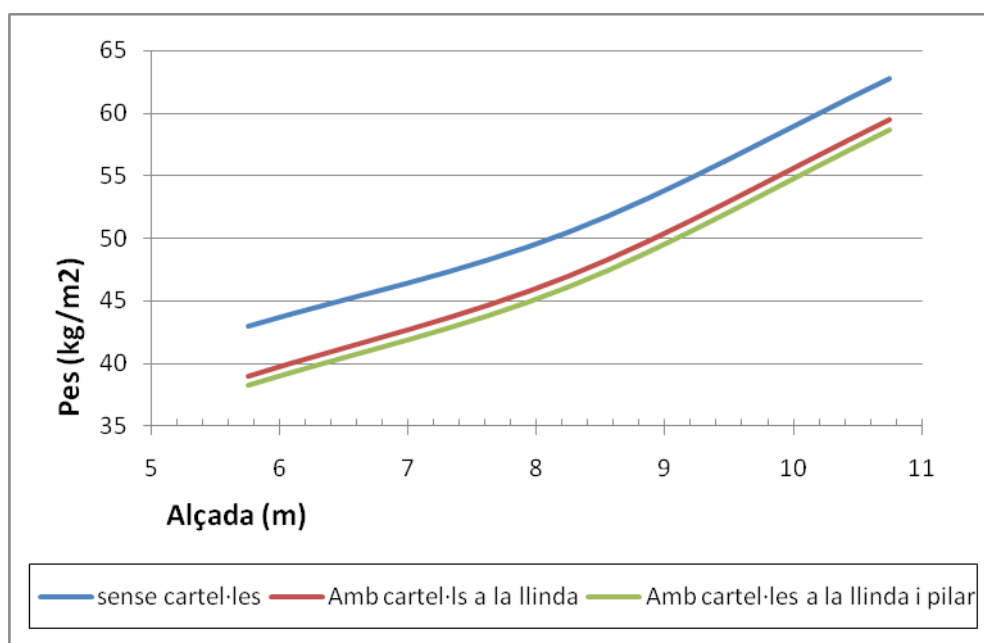


Figura 4.17.- Tendència del pes de corretges i pòrtics en funció de l'alçada.

La taula 4.16 indica la importància del pes de corretges i dels pòrtics respecte al pes total. El comportament de l'alçada és semblant al de la llum però en menor grau. Com més alçada té un pòrtic, més importància té el pòrtic. La influència de l'alçada en un pòrtics és major que la influència de l'alçada en les corretges.

Taula 4.16.- Percentatge de pes dels elements respecte del total segons l'alçada

Alçada	Pes total sense cartel·les (%):		Pes total amb cartel·les (%):	
	Corretges	Pòrtics	Corretges	Pòrtics
5,75	31,33	68,67	34,49	65,51
8,25	29,09	70,91	31,26	68,74
10,75	24,40	75,60	25,45	74,55

## □□□□□□□□ Efecte conjunt de la llum, l'alçada i la modulació sobre el pes

### conjunt del pòrtic i corretja

Tal i com es realitza en corretges i pòrtics, s'ajusten dos models lineals per estimar el pes total de l'estructura.

Es consideren finalment dos models perquè els resultats per pòrtics amb cartel·les a la llinda i al pilar no són significativament diferent dels obtinguts per pòrtics amb cartel·la a la llinda.

1. Model lineal múltiple de pòrtics optimitzats sense cartel·la:

$$\boxed{\text{---}} \quad \text{on: } X: \text{Modulació ; } Y: \text{Alçada ; } Z: \text{Llum}$$

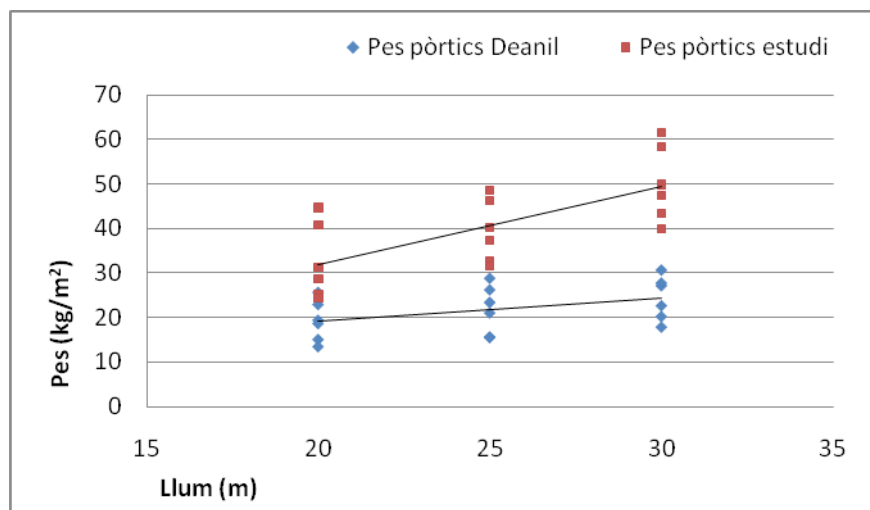
2. Model lineal múltiple de pòrtics optimitzats amb cartel·la a la llinda i/o a la llinda i al pilar

$$\boxed{\text{---}}$$

Els models del pòrtic amb o sense cartel·la depenen de la modulació, la llum i el seu terme quadràtic, del terme quadràtic de l'alçada i d'una interacció entre la llum, la alçada. Únicament entre els dos models el coeficient de la llum i la interacció varien.

## □□□□□□□□ Comparativa de resultats d'aquest treball amb el DEANIL

La *guia para el diseño estructural en acero de naves industriales ligeras (DEANIL)*, ITEA (2000) mostra una guia de naus porticades tipificades i estandarditzades calculades segons la Normativa Bàsica de l'Edificació (NBE, 1997). Algunes dades com per exemple totes les alçades, les modulacions de 5 i 6 m. com també les llums de 20, 25 i 30 m. i les consideracions i els criteris generals de disseny i de càlcul s'han extret d'aquest treball. Es per això que es considera comparar els resultats d'ambdós estudis per tal de determinar les diferències existents. S'obté la gràfica 4.18. Els pòrtics comparats són els de modulacions 5 i 6 m. amb les alçades de 5'75, 8'25 i 10'75 m. i, amb les llums de 20, 25 i 30 m.



Gràfica 4.18.- Comparació entre pesos dels pòrtics del DEANIL i de l'estudi segons la seva llum.

El gràfic relaciona la llum dels pòrtics amb el seu pes. S'escull la llum del pòrtic en la comparació ja que ha estat la variable més significativa dins els resultats dels pòrtics.

S'observa en el gràfic com els pòrtics d'aquest estudi, tot i estar optimitzats, pesen més als de la guia DEANIL. A més a més s'observa un tendència ascendent en ambdós casos però, en el cas d'aquest estudi amb un pendent major indicant que com més llum del pòrtic més diferències hi ha entre els pesos d'ambdós estudis.

Hi ha tres punts de discussió sobre les diferències. Primerament, el DEANIL no fa cap referència a la sobrecàrrega d'ús. En cap moment es determina i per tant no es té en compte com a acció. Si fos el cas, segons la NBE considera una sobrecàrrega d'ús per aquesta tipologia de nau de  $0,1 \text{ kN/m}^2$ . En aquest treball s'ha considerat de  $0,4 \text{ kN/m}^2$ .

Un altre punt de discussió és l'efecte del vent. Segons el treball d'en *Daniel Boneta i Herrero* "Tablas simplificadas de las acciones del viento sobre los edificios según el Código Técnico de la Edificación - Eurocódigo", l'efecte del vent en el CTE té major impacte en l'acció del vent sobre l'estructura que no amb l'antiga normativa, NBE.

La utilització, en la guia DEANIL, únicament de perfils IPE tant en llinda com en pilars és un altre factor relacionat amb els dos punts de discussió anterior i possible causa de menor pes d'aquests pòrtics.

Per acabar, l'últim punt de discussió seria el model de càlcul. Mentre que en aquest treball s'ha utilitzat el CYPE com a eina complint la normativa CTE, la guia DEANIL ha utilitzats mètodes establerts per la norma NBE EA-95.



## **5.- CONCLUSIONS**

### **5.- Conclusions**

Finalitzat el treball, s'està en condicions de deduir algunes conclusions relatives a una o altra dimensió de l'estudi. D'aquesta manera, en aquest capítol s'exposen les



principals conclusions de l'estudi referents als nous coneixements adquirits en els diversos capítols, així com les limitacions de l' investigació i la prosperitat del mateixa.

Les conclusions estan exposats a continuació:

- En corretges tant de coberta com laterals el pes depèn bàsicament de la modulació. A més a més, per a corretges de coberta per sota de 9 metres es preferible utilitzar perfils conformats i per sobre laminats.
- La cartel·la té un paper important en el comportament d'un pòrtic i alhora afecta a l'optimització d'aquest. La col·locació d'aquest element per una banda reforça el punt on hi ha la màxima sol·licitació i per l'altra banda permet modificar el repartiment de les sol·licitacions incrementant-les allí per reduir-les en altres punts. D'aquesta manera es pot reduir entre una i dues talles el perfil necessari.
- Les variables geomètriques llum del pòrtic, alçada del pilar i la modulació (distància entre pòrtics) varien l'aprofitament de la cartel·la de diferent manera. La cartel·la treballa millor per a llums grans ja que aconseguix reduir més % pes. En canvi, la cartel·la com més petita sigui l'alçada del pòrtic major % de pes de pòrtic redueix. Pel que fa a la modulació els efectes del % de pes amb la cartel·la es mantenen per a les diferents modulacions.
- La llum és la variable més influent en el pes del pòrtic. La relació entre aquesta variable i el pes és quadràtica ascendent.
- La modulació adopta dues tendències ben diferenciades a les corretges i als pòrtics. Mentre que en corretges a l'augmentar la modulació incrementa el pes, pel que fa als pòrtics la tendència és totalment oposada. Per tant, l'efecte de la modulació en el pes total de l'estructura depèn de la importància relativa de la corretja i del pòrtic en aquest pes.

- Amb relació al punt anterior s'observa que per a modulacions de 5 i 6 metres, el pòrtic significa tres quartes parts del pes de l'estructura i per tant el pes total disminueix a l'augmentar la modulació, com succeeix amb el pes dels pòrtics. En canvi per grans modulacions la corretja representa el cinquanta per cent del pes total de l'estructura. En aquests casos el pes total augmenta al incrementar la modulació, com succeeix amb les corretges.

## **6.- BIBLIOGRAFIA**

### **6.- Bibliografía**

- MINISTERIO DE VIVIENDA. Código Técnico de la Edificación. Documento básico de la seguridad estructural (CTE DB-SE), (2006). <http://www.mviv.es/es/>

- MINISTERIO DE VIVIENDA. Código Técnico de la Edificación. Documento básico de la seguridad estructural en las acciones de la edificación (CTE DB-SE AE), (2006). <http://www.mviv.es/es/>
- MINISTERIO DE VIVIENDA. Código Técnico de la Edificación. Documento básico de la seguridad estructural del acero (CTE DB-SE A), (2006). <http://www.mviv.es/es/>
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. UNE-EN 1990. Eurocódigo 1. Bases de cálculo estructural. MADRID (2003).
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. UNE-EN 1993-1-1. Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios. MADRID, (2008).
- MINISTERIO DE FOMENTO. Instrucciones de acero estructural (EAE). Madrid, (2010). [http://www.fomento.es/mfom/lang\\_castellano/](http://www.fomento.es/mfom/lang_castellano/)
- CYPE INGENIEROS. Manual de usuario. Generador de Pórticos. CYPE Ingenieros, S.A. ALICANTE, (2000).
- CYPE INGENIEROS. Manual de usuario. Nuevo Metal 3D. CYPE Ingenieros, S.A. ALICANTE, (2000).
- CYPE INGENIEROS. Manual de usuario. Nuevo Metal 3D. Ejemplo práctico. CYPE Ingenieros, S.A. ALICANTE, (2000).
- INSTITUTO TÉCNICO DE LA ESTRUCTURA EN ACERO. DEANIL. Guía para el diseño Estructural en Acero de Naves Industriales Ligeras. Tom 1, (2000).
- INSTITUTO TÉCNICO DE LA ESTRUCTURA EN ACERO. DEANIL. Guía para el diseño Estructural en Acero de Naves Industriales Ligeras. Tom 2, (2000).

- ARNEDO PENA, ALFREDO. Naves industriales con acero. Publicaciones APTA, (2009).
  
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL.
  
- BONETA I HERRERO, DANIEL. Tablas simplificadas de las acciones del viento sobre los edificios según el Código Técnico de la Edificació – Eurocódigo. Universitat de Lleida, (2011).

# ÍNDIX

1.- INTRODUCCIÓ.....	3
1.1.- Les estructures metàl·liques d'acer per a naus industrials.....	3
1.2.- Software informàtic.....	6
Nou marc normatiu.....	6
Nou marc normatiu.....	6
2.- OBJETIUS DEL PROJECTE.....	10
3.- METODOLOGIA.....	12
3.1.- Tipologia estructural.....	12
3.2.- Criteris geomètrics .....	16
3.3.- Accions .....	20
3.4.- Criteris generals de càlcul i optimització .....	23
3.5.- Procediments pel càlcul i optimització amb CYPE .....	28
Anàlisi de resultats .....	43
Anàlisi de resultats .....	43
4.- RESULTAT I DISCUSIÓ.....	45
4.1.- Corretges.....	45
4.2.- Pòrtics.....	59
4.3.- Corretges i pòrtics .....	71
5.- Conclusions.....	79
6.- Bibliografia.....	82