

UNIVERSITAT DE LLEIDA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRÀRIA

PROJECTE FINAL DE CARRERA

**LLIBRE DE CàLCUL PER A L'OPTIMITZACIÓ
D'ESTRUCTURES D'ACER PER A NAUS INDUSTRIALS**

ENGINYERIA AGRÒNOMA

Orientació d'Enginyeria rural

Carles Grau Masias

Lleida, Juny de 2011

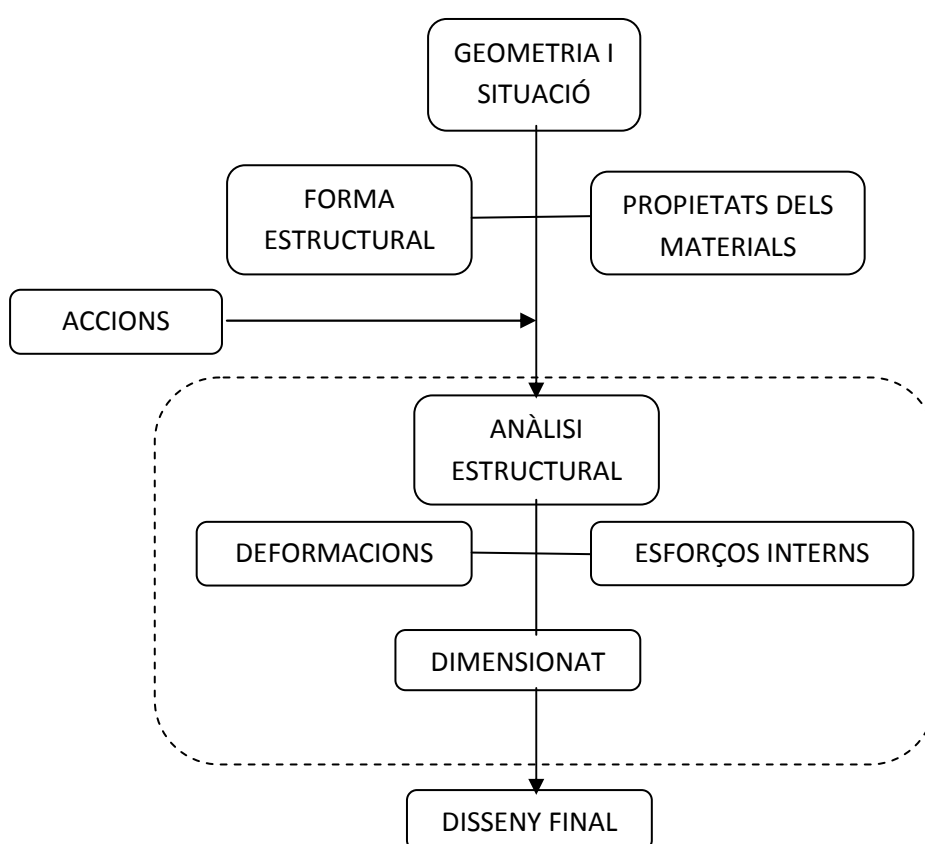
I.- INTRODUCCIÓ

I.1.- INTRODUCCIÓ

L'enginyeria estructural s'encara a estimar la resistència dels elements sotmesos a càrregues, procurant un estat de servei mínim al menor cost possible; sense oblidar l'estètica o la funcionalitat pel que es dissenya.

En general, existeix un gran nombre de possibles solucions tècniques per a un mateix problema i, moltes vegades, cap d'elles és clarament millor que l'altra. La feina de l'enginyer és conèixer totes elles per descartar les menys adequades i estudiar únicament aquelles més prometedores, estalviant temps i diners.

Per tal d'obtenir un disseny final vàlid d'una estructura se segueix generalment el següent esquema:



Enfront d'unes necessitats o capacitat del promotor, que determinaran la geometria i la situació de l'estructura, es poden escollir diferents alternatives tant en els materials de construcció com en la forma estructural, per tal de realitzar un anàlisi estructural considerant les accions pertinents s'obindrà el dimensionat dels seus elements. Aquest anàlisi no és més que el càlcul segons normativa de la capacitat que hauran de tenir els elements per tal de ser acceptats.

Considerem que un dimensionat és l'assignació d'un material constructiu concret present en el mercat per a executar cada un dels elements estructurals dissenyats que compleixi amb la normativa existent.

El "Código Técnico de la Edificación" (CTE) és el marc normatiu espanyol on es regulen les exigències bàsiques que han de complir els edificis, incloses les seves

instal·lacions per satisfer una sèrie de requisits bàsics de seguretat i habitabilitat definits per la "Ley de Ordenación de la Edificación" (LOE). El codi proporciona procediments que permeten acreditar el compliment de la normativa exigible en els nivells de projecte, construcció, manteniment i conservació.

NAUS INDUSTRIALS:

Les naus industrials solen ser edificis diàfans d'una planta (fig:1). La seva estructura portant principal està constituïda per un conjunt de pòrtics plans (pilars + llindes) equidistants al llarg de la nau. Sobre aquests pòrtics es situen les corretges que serveixen de subjecció pels tancaments tan de façana com de coberta.

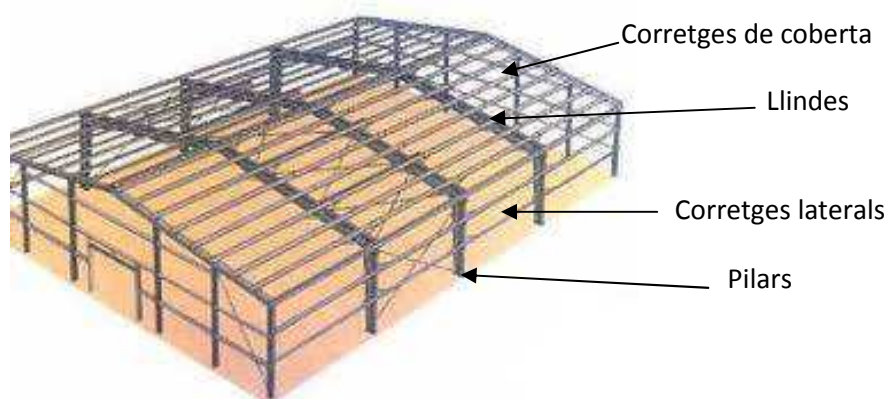


Fig: 1.-Representació dels elements que formen una nau.

Existeixen dos tipologies diferents de pòrtics per a naus industrials: els pòrtics realitzats amb perfils d'ànima plena (Fig:2) i els de llanda en gelosia (fig:3).



Fig: 2.-Exemple de pòrtics amb perfils d'ànima plena



Fig: 3.-Exemple de pòrtics amb la llanda en gelosia

Les més utilitzades, fins els 30 m de llum, són els pòrtics amb perfils d'ànima plena. Aquesta sol ser la situació més habitual en naus industrials i per aquest motiu és aquesta la tipologia en que es centra aquest treball.

Dins d'aquesta tipologia existeixen diferents opcions de disseny, per exemple, el mètode d'unió entre els elements, considerant articulacions o encastaments. Així, els pòrtics poden ser rígids, biarticulats o triarticulats.

PROGRAMARI PER L'OPTIMITZACIÓ

Generalment, els professionals dedicats al càlcul estructural no realitzen manualment els càlculs dels esforços presents en una edificació, ni tampoc les comprovacions de resistència dels materials utilitzats, sinó que utilitzen programes comercials que garanteixen uns dimensionats fiables pel compliment de tots els requisits.

Actualment, existeix una llarga llista de programes informàtics adaptats per a realitzar l'anàlisi estructural. Aquests són utilitzats a mode de "caixa negra", on introduint una informació, tal com el disseny de l'estructura, la seva situació o vinculació exterior, s'obtenen uns resultats com poden ser esforços, desplaçaments o dimensionat dels elements. Aquest dimensionat, però, està subjecte al disseny proposat per l'enginyer i, per tant, ens trobem davant d'una solució limitada per diferents factors, com el nombre d'elements o les seves mides.

Aquestes limitacions poden provocar, en molts casos, que el dimensionat del disseny final no sigui el millor davant de les necessitats del promotor. Definim com a l'**optimització** a l'obtenció d'aquest disseny final que permeti cobrir les necessitats del promotor a un menor cost de material.

El fet de trobar uns programes, que ens realitzen un correcte dimensionat d'una estructura, però, que no ens permet verificar si el disseny final és l'òptim, ens du a crear una eina, capaç de realitzar el dimensionat dels elements d'una estructura i també de comparar possibles dissenys, per així aplicar els criteris d'optimització que creguem necessaris.

Aquesta eina haurà de ser capaç d'oferir una sèrie de dimensionats vàlids davant de diferents variacions del disseny, tan en mides com en composició o nombre d'elements establerts per l'usuari. A partir d'aquests resultats establir el millor disseny final i per tant l'òptim.

Aquesta eina es realitzarà a partir del programa Excel del paquet Microsoft Office conjuntament amb el llenguatge de programació Visual Basic per tal de realitzar accions iteratives dins dels càlculs i en les opcions de disseny durant el procés d'optimització.

La decisió de realitzar aquesta eina a partir del programa Excel, es deu a que Excel és un dels programes més utilitzats i coneguts dins dels àmbits tècnics i acadèmics. Això fa que sigui un programa fàcilment accessible per part dels possibles futurs usuaris. Amb uns coneixements bàsics del programa com la interpretació de fórmules

o el rastreig de les vinculacions entre cel·les, permetrà interpretar-lo amb facilitat i modificar o ampliar les seves capacitats per part dels propis usuaris.

El criteri d'optimització escollit és el pes total de l'estructura, ja que aquest està directament relacionat amb el valor total de l'estructura. Tot i que la mà d'obra i la resta de material o elements necessaris per construir una nau no estan directament relacionats amb el pes total, al tractar-se d'una mateixa tipologia estructural s'estima que el seu cost serà similar pel que no es tindran en compte.

I.2.- OBJECTIUS

- Creació d'un llibre de càlcul amb el programa Excel del paquet d'ofimàtica Microsoft Office que permeti fer el dimensionament dels diferents elements d'estructures porticades d'acer per a naus industrials seguint la normativa vigent.
- Creació d'uns procediments iteratius per comparar diferents composicions estructurals.
- Optimització de naus industrials formades per pòrtics d'ànima plena, de diferents mides i configuracions.

Per assolir aquests objectius es realitzaran els següents passos:

1. Creació i desenvolupament del llibre de càlcul.
El llibre de càlcul s'ha construït per realitzar la majoria d'operacions de forma automàtica. Dins la gran varietat d'operacions que realitza, en destaquen les següents:
 - Càlcul automàtic de totes les accions que afecten a l'estructura de la nau, al introduir les dimensions i la localització de la nau.
 - Classificació del tipus de secció en cada cas.
 - Realització de totes les comprovacions dels elements a l'instant, al realitzar un canvi de mides o perfil d'un element constructiu.
 - Possibilitat de càlcul d'esforços en segon ordre.
 - Comparació de resultats per a l'obtenció de les millors solucions segons preferències de l'usuari.
2. Validació dels resultats obtinguts en el càlcul de les sol·licitacions dels elements a dimensionar, comparant resultats amb el programa comercial Wineva.
3. Comparació dels resultats obtinguts en el dimensionament dels diferents elements amb els programes comercials: Generador de pòrtics i el Metal 3D.
4. Optimització de diferents estructures.

II.- EL LLIBRE DE CÀLCUL

II.0.-INICI

II.0.1.- FORMATS DE L'APARTAT:

Per tal d'aconseguir una fàcil comprensió i observació del procediment utilitzat per a la creació del llibre de càlcul es diferenciarien dos formats de text en la memòria del treball.

Es realitza l'explicació dels diferents passos del procediment i, seguidament, s'explica la situació d'aquests dins del llibre de càlcul:

Estils de text utilitzats:

1.- Procediment utilitzat dins del llibre de càlcul: El format serà el mateix que en aquest paràgraf.

2.- Situació i localització dins del llibre de càlcul:

Es trobaran dins de quadre de text, amb caràcters de color blau

En negreta s'indicarà la situació del càlcul realitzat indicant pestanya i cel·la.

Es podran observar també imatges extretes directament del full de càlcul, per una fàcil visualització i localització de les cel·les indicades:

Planta	
Longitud	85 m
Amplada	30 m
Superfície	2550 m ²

II.0.2.- CREACIÓ I DESENVOLUPAMENT DEL LLIBRE DE CÀLCUL:

II.0.2.1.- ESTRUCTURA DEL LLIBRE DE CÀLCUL:

Per tal de desenvolupar el procediment de càlcul en el dimensionat de naus es crearan diferents fulls dins el llibre de càlcul per tal de diferenciar les diferents fases del procés:

- a) Full **DIMENSIONS** : Es durà a terme la definició de l'estructura a dimensionar: Tals com les dimensions, el nombre de pòrtics o els tancaments utilitzats. (Fig:II.0.1)

The screenshot shows the 'DIMENSIONS' software interface. It features a navigation bar at the top with the following tabs: INICI, ACCIONS, CORRETTGES, CORRETTGES LATERALS, and PÒRTICS. The main content area is divided into several sections:

- DIMENSIONS:**
 - Planta:** Longitud 25 m, Amplada 25 m, Superfície 625 m².
 - Alçat:** Alçada cap del pilar 6 m, Δ Alçada central 1 m, Alçada màxima 7 m, Angle coberta 4,6 °.
 - Pòrtics:** N° Pòrtics 6, Separació pòrtics 5,0 m.
- TANCAMENTS:**
 - Coberta:** RECOBRIMENT: Acer 0,8mm; ALLIANT: DECK; GRUIX (mm): 100. Includes a 'MANUAL' checkbox and a table with 'PES COBERTA MANUAL' (10 kg/m²) and 'SEPARACIÓ MÀXIMA' (3 m).
 - Paraments verticals:** MUR A NIVELL DEL TERRA: 0 m; RECOBRIMENT: Alumini 0,8mm; ALLIANT: Poliuretà PU; GRUIX (mm): 60. Includes a 'MANUAL' checkbox and a table with 'PES COBERTA MANUAL' (10 kg/m²) and 'SEPARACIÓ MÀXIMA' (3 m).

At the bottom, there is a table with columns 'MIN', 'MA' AUGMENT', and 'CommandButton1'. The 'AMPLADA' row shows values 10, 40, and 2,5.

fig:II.0.1. :Vista del full DIMENSIONS

b) Full **ACCIONS** : Degut a que les accions del vent i la neu són variables dependents de la situació i la localització de la nau, aquí és on s'introduiran ambdues. (Fig:II.0.2)

INICI ACCIONS

SOBRECÀRREGA D'ÚS

TAULA 3.1 VALORS CARACTERÍSTICS DE LES SOBRECÀRREGUES D'ÚS

	CARGA UNIFORME KN/m ²	CARGA PUNTUAL KN
COBERTES LLEUGERES SOBRE CORRETTGES (SENSE FORJAT)	0,4	1

SOBRECÀRREGA DE VENT

COEFICIENT D'EXPOSICIÓ C_s 1,50

PRESSIÓ DINÀMICA q_0 0,52 KN/m²

COEFICIENTS DE PRESSIÓ EXTERIOR (C_{pe}) I ACCIÓ DEL VENT (q_e)

VENT TRANSVERSAL (VENTS 1 I 2)

PARAMETRES VERTICALS

ZONA	AREA (m ²)	C _{pe}	q _e (KN/m ²)	TOTAL SUPERFICIE	C _{pe}	q _e (KN/m ²)
A	9	-1,23	-0,96			
B	78	-0,80	-0,62	-0,68		-0,53
C	76	-0,50	-0,39			
D	150	0,70	0,55	0,70		0,55
E	150	-0,30	-0,23	-0,30		-0,23

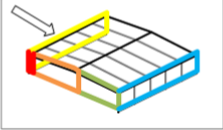


Fig II.0.2: Vista del full ACCIONS

c) Les pestanyes de dimensionament de cada element, serà on es podran definir les opcions de disseny dels diferents elements, segons preferències de disseny, on s'observaran els valors de les comprovacions i on es realitzarà el dimensionament dels mateixos.

Corretges de coberta: Full **CORRETGES**(Fig:II.0.3),

Corretges laterals: Full **CORRETGES2**

Pilars i llindes: Full **DINTELLS**(Fig:II.0.4)

INICI CORRETGES COBERTA

NUSOS **ACER** **ST100**

ACCIONS

RESULTATS

	n	E.L.U.
Tracció (N _{ax}) i compressió (N _{ay})	OK	
Flexió simple (M _{ax})	OK 0,42	ELUØL
Flexió simple (M _{ax})	OK 0,33	ELUØL
Flexió simple (M _{ax})	OK 0,88	ELUØL
Tracció i compressió excèntrica	OK 0,44	ELUØL
Tallant (V _{ax})	OK 0,08	ELUØL
Tallant (V _{ax})	OK 0,05	ELUØL
Flexió i tallant	OK	
Flexió per flexió	OK	
Aboladura de fanma per tallant	OK	
Flexió per rotació lateral	OK 0,51	ELUØL
Elements comprimidos y flexionados	OK 0,93	ELUØL
FLETRA L / 250	OK 0,30	ELSØS

DIMENSIONA

PERFIL TIPUS **IPB**

MANUAL **IPB**

IPB 160 OK

nº	Separació [m]	Perímetre [kg]	Pes [kg]
2	10,54	PE 200	2674
3	6,77	PE 220	3830
4	4,98	PE 200	4180
5	3,95	PE 300	4780
6	2,91	PE 300	4740
7	2,28	PE 300	5330
8	1,79	PE 300	5700
9	1,57	PE 300	5800




Fig II.0.3: Vista del full CORRETGES

INICI PORTICS

NUSOS **ACER** **1000**

ACCIONS

COMBINACIONS OPTIMES

PILARS	DINTELL	Pes [kg]
HE 450 A	HE 600 A	1862
HE 500 A	HE 600 A	734
HE 450 A	HE 650 A	7227
HE 500 A	HE 650 A	7426
HE 400 A	HE 700 A	2571

DIMENSIONA SEGONS: **MANUAL**

DIMENSIONA

PILARS	n	classe	DINTELLS	n	classe
HE 450 A	OK	1	HE 600 A	OK	1

	n	classe
Tracció (N _{ax}) i compressió (N _{ay})	OK 0,03	ELUØL
Flexió simple (M _{ax})	OK 0,46	ELUØL
Flexió simple (M _{ax})	OK	
Flexió excèntrica	OK 0,46	ELUØL
Tracció i compressió excèntrica	OK 0,46	ELUØL
Tallant (V _{ax})	OK 0,03	ELUØL
Flexió i tallant	OK	
Flexió i tallant	OK	
Flexió per flexió	OK 0,03	ELUØL
Flexió per flexió	OK 0,04	ELUØL
Aboladura de fanma per tallant	OK	
Flexió per rotació lateral	OK 0,51	ELUØL
Elements comprimidos y flexionados	OK 0,54	ELUØL
FLETRA L / 250	OK 0,01	ELSØS

	n	classe
Tracció (N _{ax}) i compressió (N _{ay})	OK 0,01	ELUØL
Flexió simple (M _{ax})	OK	
Flexió simple (M _{ax})	OK	
Flexió excèntrica	OK 0,27	ELUØL
Tracció i compressió excèntrica	OK 0,29	ELUØL
Tallant (V _{ax})	OK 0,095	ELUØL
Tallant (V _{ax})	OK	
Flexió i tallant	OK	
Flexió i tallant	OK	
Flexió per flexió	OK 0,01	ELUØL
Flexió per flexió	OK 0,03	ELUØL
Aboladura de fanma per tallant	OK	
Flexió per rotació lateral	OK 0,46	ELUØL
Elements comprimidos y flexionados	OK 0,47	ELUØL
FLETRA L / 250	OK 0,15	ELSØS

DESP. HORIZ. $\frac{H}{300}$ OK 0,54

DESP. VERT. $\frac{L}{300}$ OK 0,21

T = 0,02

TRANSLACIÓ 1 ondes

4 interaccions

1 ondes

2 pilars

1 ondes

Entallatges comprovats

Fig II.0.4: Vista del full DINTELLS

- d) Fulls de comprovació de les sol·licitacions: Ja que tots els elements es sotmetran a les mateixes comprovacions, es realitzaran uns fulls de comprovacions dels Estats límits, d'ídèntiques característiques per a tots els elements.

Corretges de coberta: Full **CC1**

Corretges laterals: Full **CC2**

Pilars : Full **CC3**

Llindes: Full **CC4**

- e) A part dels fulls esmentats, se'n crearan d'altres on es realitzen càlculs singulars:

Introducció de les taules de les accions indicades del CTE i càlcul de les mateixes: Full **taules. ACCIONS**

Característiques dels tancaments i càlcul de les seves limitacions: full **TANCAMENTS** i full **TANCAMENTS2**

Perfils comercials que es podran utilitzar en el dimensionament: Full **PERFILS**

Característiques de l'acer i taules del CTE: Full **ACER**

El procediment del càlcul matricial dels pòrtics: Full **CÀLCUL MATRICIAL**

El procediment del càlcul matricial de segon ordre: Full **CÀLCUL MATRICIAL2**

II.0.2.2.- INTRODUCCIO DE DADES DINS EL LLIBRE DE CÀLCUL:

Per a realitzar la introducció de dades i l'elecció de les diferents variables que es poden escollir durant la definició de la nau a dimensionar s'usaran diferents mètodes:

-Cel·les on s'introduiran els valors numèrics desitjats.

-Quadres combinats (fig:II.0.5) on es podrà escollir l'opció desitjada dins d'unes possibilitats.



Fig II.0.5: Exemple de quadre combinat

-Caselles de verificació(fig:II.0.6) on es podrà activar o desactivar una opció.

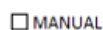


Fig II.0.6: Exemple de casella de verificació

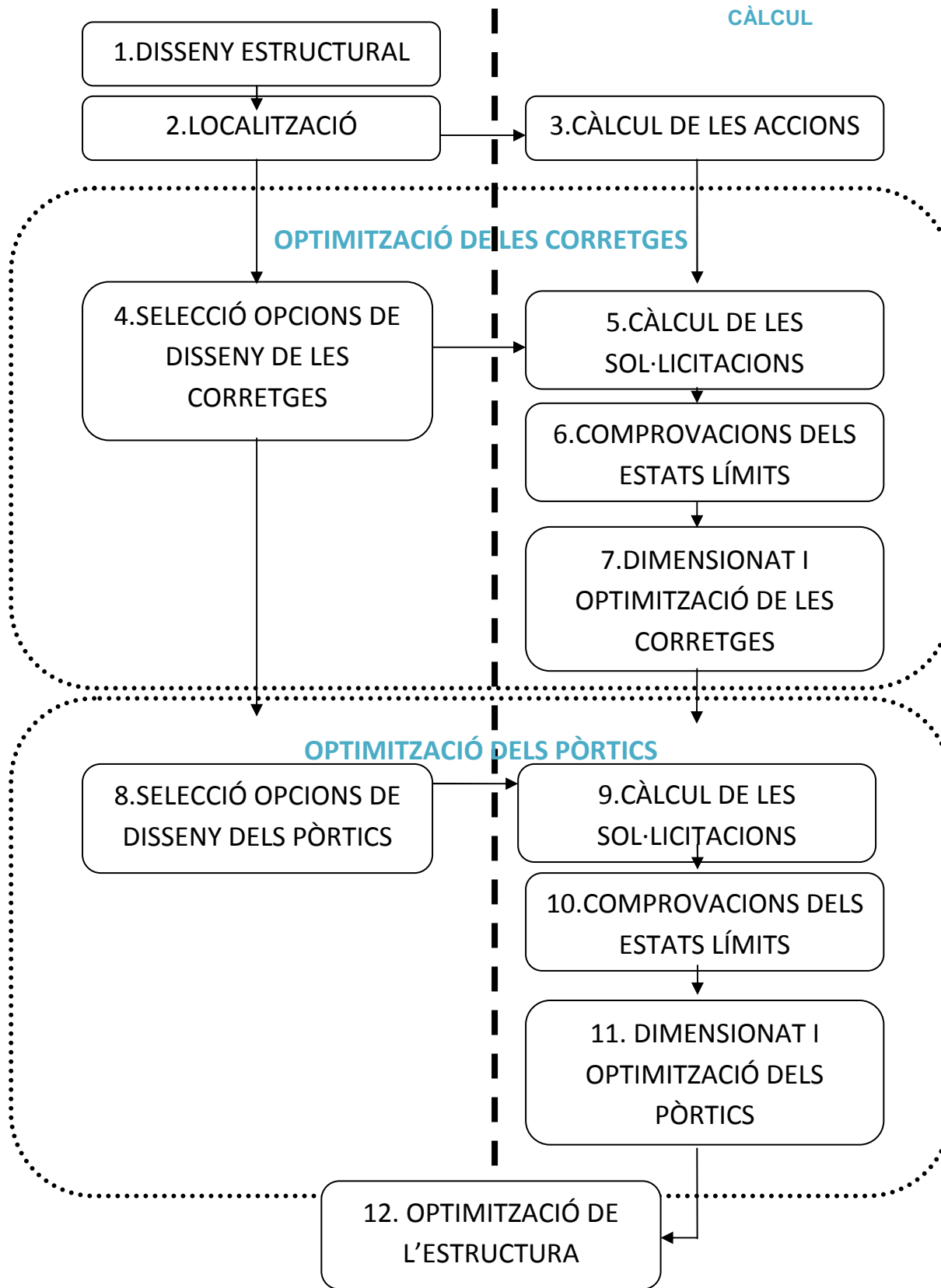
-Barres de desplaçament i controls de nombre (fig:II.0.7) per tal d'assignar un valor en una variable (en casos on el valor és un nombre enter).



Fig:II.0.7: Barra de desplaçament

II.0.3 DIAGRAMA DE BLOCS DEL FUNCIONAMENT DEL LLIBRE DE CÀLCUL:

ACCIONS DUTES A TERME PER L'USUARI ACCIONS AUTOMÀTIQUES DEL LLIBRE DE CÀLCUL



II.0.3.1 INTRODUCCIÓ DINS DEL LLIBRE DE CÀLCUL

A continuació, es fa una descripció de cada punt numerat del diagrama de blocs del funcionament del llibre de càlcul presentat anteriorment per tal d'iniciar a l'usuari dins del procés de càlcul i les opcions de disseny que es poden trobar dins del llibre de càlcul.

L'incís **VEURE** indica a quin apartat del treball es poden localitzar els càlculs i procediments descrits a cada punt.

1.DISSENY ESTRUCTURAL:

Per iniciar, s'han d'introduir unes dades sobre la geometria de la nau a dimensionar per tal de determinar les dimensions dels diferents elements que configuren la nau i les superfícies tributàries de les càrregues que hauran de suporta, cal definir la geometria de la nau.

- Longitud
- Amplada o llum
- Alçada cap del pilar
- Augment de l'alçada alçada central o clau
- Nº de pòrtics

També s'han de definir els tancaments de la nau, tant de coberta com laterals. Aquesta elecció pot ser sobre una base de dades oferta per el programa o a partir de valors entrats per l'usuari. La seva correcta elecció té repercussions tant en el pes propi de l'element com en les limitacions de separació entre corretges.

VEURE:

- 1.- DEFINICIÓ DE LA NAU
- 1.1.- GEOMETRIA DE LA NAU
- 1.1.1.- DIMENSIONS EN PLANTA
- 1.1.2.- MESURES D'ALÇAT
- 1.1.3.- PÒRTICS
- 1.2.- ACCIONS
- 1.2.1.1.-TANCAMENTS

2.LOCALITZACIÓ:

Per tal de determinar quines càrregues de vent i neu s'hauran de tenir en compte a l'hora de calcular les sol·licitacions de l'estructura és indispensable localitzar la nau segons els procediments descrits al CTE.

Per la carrega de vent s'haurà d'indicar com es l'entorn on es pretén construir la nau així com la seva localització dins del mapa estatal.

El cas de la càrrega de neu, s'haurà d'indicar la localització dins del mapa i la seva altitud sobre el nivell del mar.

VEURE:

- 1.2.- ACCIONS
- 1.2.3.- ACCIÓ DEL VENT:
- 2.2.4.- CARREGA DE NEU:

3.CÀLCUL DE LES ACCIONS:

A partir dels valors introduïts de disseny i localització, el programa obté els valors de les accions a tenir en compte a l'hora de calcular les sol·licitacions de cada element.

Es realitza a partir de busques i interpolacions dins les taules introduïdes del CTE.

VEURE:

- 1.2.- ACCIONS
- 1.2.1.-PES PROPI:
- 1.2.1.1.-TANCAMENTS:
- 1.2.2.- SOBRECARREGA D'ÚS: DB SE-AE 3.1
- 1.2.3.- ACCIÓ DEL VENT:
- 2.2.4.- CARREGA DE NEU:
- 3.- BASE DE DADES:

3.OPTIMITZACIÓ DE LES CORRETGES:

Es podrà realitzar el dimensionament tant de les corretges de coberta com de les corretges dels paraments laterals.

- a) Corretges de coberta
- b) Corretges laterals

VEURE:

- 6.- CORRETGES:
- 6.1.- CONSIDERACIONS

4.SELECCIÓ OPCIONS DE DISSENY DE LES CORRETGES

Degut a la gran variabilitat constructiva en que ens podem trobar, es facilita una sèrie de variables a escollir per a realitzar el disseny i el dimensionament òptim a les nostres necessitats.

Pel dimensionament de les corretges podem decidir:

El nombre de corretges.

La sèrie de perfils a utilitzar.

El tipus d'acer a utilitzar.

El tipus d'unions tant articulades com rígides entres les corretges. En cas d'escollir unions articulades, es podrà escollir el nombre de trams que existirà entre articulació i articulació.

Es podrà considerar la utilització de tirantets per fixar l'eix dèbil.

Podem no considerar alguna de les comprovacions dels estats límits.

VEURE:

- 6.2.-OPCIONES DE DISSENY

5.CÀLCUL DE LES SOL-LICITACIONS

A partir de les accions calculades anteriorment i de les opcions de disseny seleccionades per part de l'usuari el programa obté els valors de les sol·licitacions a comprovar anomenades: Axil de càlcul (N_{Ed}), Tallant de càlcul (V_{Ed}) i Moment de càlcul (M_{Ed}). a partir de les fórmules proposades per R. Argüelles et al.(2004)

VEURE:

- 6.2.- CÀLCULS
- 6.2.1.- CÀLCUL DE SOL-LICITACIONS DE LES CORRETGES

6. COMPROVACIONS DELS ESTATS LÍMIT

Les comprovacions dels estats límit són una sèrie d'anàlisi on es comprova la resistència de l'element segons el perfil escollit enfront a les sol·licitacions provocades per les accions, a la combinació desfavorable d'aquestes sol·licitacions o a diferents efectes provocats per aquestes.

Els estats límit últims (ELU) tenen com a objectiu verificar el compliment de la exigència bàsica SE-2 de capacitat portant.

VEURE:

- 4.- EXIGÈNCIES BÀSIQUES DE SEGURETAT ESTRUCTURAL
- 4.1.-VERIFICACIONS BASADES EN COEFICIENTS PARCIALS (DB SE 4)
- 4.2.- CAPACITAT PORTANT (DB SE 4.2)
- 4.2.1.- COMBINACIONS

Dins les exigències de la capacitat portant es realitzarà la comprovació de la resistència de seccions i barres deixant de banda les unions entre elements. Es tindrà en compte a l'hora de realitzar les comprovacions el tipus de secció que s'analitza segons la classificació descrita al CTE DB-SEA. Aquesta classificació influirà en el mètode per la determinació de la resistència de les seccions.

Mètode Plàstic: Seccions classe 1 i 2

Mètode elàstic: Seccions classe 3

Les seccions classe 4 no s'acceptaran en els càlculs.

VEURE:

- 3.- BASE DE DADES:
- 5.2.1.- CLASSIFICACIÓ DE SECCIONS:
- 5.2.1.1.- TIPUS DE SECCIONS:
- 5.2.1.2.- CLASSIFICACIÓ D'ÀNIMES:
- 5.2.1.3.- CLASSIFICACIÓ ALES:
- 5.2.2.- RESISTENCIA DE SECCIONS:

Les comprovacions de resistència de seccions que realitza el full de càlcul són:

- Resistència de les seccions a tracció i compressió
- Resistència de la secció a flexió
- Interacció d'esforços en seccions
- Flexió esbiaixada
- Flexió composta sense tallant
- Flexió i tallant

Les comprovacions de resistència de les barres que es realitzaran són:

- Tracció
- Compressió
- Flexió
 - Bolcada lateral
 - Abonyegadura de l'ànima per tallant
- Interacció entre esforços a peces:
 - Elements comprimits i flectats.

VEURE:

- 3.- BASE DE DADES:
- 5.1.-CARACTERÍSTIQUES DE LA BARRA:
- 5.2.- ESTATS LÍMIT ULTIMS (DB SE-A 6):
- 5.2.1.- ESFORÇOS SOL·LICITANTS:
- 5.2.1.- CLASSIFICACIÓ DE SECCIONS:
- 5.2.1.2.- CLASSIFICACIÓ D'ÀNIMES:
- 5.2.1.3.- CLASSIFICACIÓ D'ALES:
- 5.2.2.- RESISTENCIA DE SECCIONS:
- 5.2.3.- RESISTÈNCIA DE LES BARRES:

Els estats límit de servei (ELS) tenen com a objectiu verificar el compliment de

l' exigència bàsica SE-2 d'Aptitud al servei. Es realitzarà la comprovació de les fletxes.

VEURE:

- 4.- EXIGÈNCIES BÀSIQUES DE SEGURETAT ESTRUCTURAL
- 4.1.-VERIFICACIONS BASADES EN COEFICIENTS PARCIALS (DB SE 4)
- 4.3.- APTITUD AL SERVEI (DB SE 4.3):
- 4.3.1.- COMBINACIONS:

Obtenint finalment per a cada comprovació:

- a) un "OK" o un "NO OK". Indicant el compliment o no respectivament de la comprovació.
- b) Un valor de rendiment que correspon a:

$$\text{Rendiment} = \frac{\text{Valor màxim de les sol·licitacions}}{\text{Valor límit de la comprovació}}$$

Aquest valor resulta de gran utilitat per observar si "aprofitem" molt o no un perfil. O per observar en cada cas, quina és la comprovació limitant

- c) El codi de la combinació d'hipòtesis determinant tant de ELU com de ELS en que es dona el rendiment més alt i, per tant, és la combinació d'hipòtesis més desfavorable en la comprovació.

VEURE:

- 5.- COMPROVACIONS DELS ESTATS LÍMIT:

7. DIMENSIONAT I OPTIMITZACIÓ DE LES CORRETGES

Es podrà realitzar un dimensionament automàtic amb les variables fixades dins d'una mateixa sèrie de perfils dins de la base de dades.

Aquest dimensionament es durà a terme mitjançant una macro escrita en Visual Basic. La rutina programada realitzarà un canvi seqüencial de nombre de corretges dins d'un rang fixat per l'usuari, per cada nombre de corretges obtindrà el perfil més petit de la sèrie que compleix amb totes les comprovacions. A partir d'aquesta informació obtindrà la combinació de nombre de corretges i de perfil que obtinguin un pes total més baix.

VEURE:

- 3.- BASE DE DADES:
- 6.3.- DIMENSIONAT
- 6.3.1.- SELECCIÓ DEL PERFIL MANUAL:
- 6.3.2.-DIMENSIONAMENT AUTOMÀTIC:
- 6.3.2.1.- RUTINA:

OPTIMITZACIÓ DELS PÒRTICS:

En aquest treball s'han estudiat els pòrtics a dues aigües realitzats amb perfils comercials d'ànima plena.

VEURE:

- 7.- PORTICS
- 7.1.- CONSIDERACIONS

8. SELECCIÓ OPCIONS DE DISSENY DELS PÒRTICS:

Degut a la gran variabilitat constructiva, en que ens podem trobar, es facilita una sèrie de variables a escollir per a realitzar el disseny i el dimensionament òptim a les nostres necessitats.

Pel dimensionament dels pòrtics podem decidir:

Unions entre els elements, considerant tres tipus de pòrtics: Rígid, biarticulats i triarticulats.

La sèrie de perfils a utilitzar per a cada element.

El tipus d'acer a utilitzar.

VEURE:

7.2.- OPCIONS DE DISSENY

9. CÀLCUL DE LES SOL·LICITACIONS:

A partir de les accions calculades anteriorment i de les opcions de disseny seleccionades per part de l'usuari, el programa obté els valors de les sol·licitacions a comprovar anomenades: Axil de càlcul (N_{Ed}), Tallant de càlcul (V_{Ed}) i Moment de càlcul (M_{Ed}).

Els pòrtics al estar formats per quatre elements diferents, dos pilars i dos llindes, i el fet que degut a la seva conformació es poden produir desplaçaments en els seus nusos, per a realitzar el càlcul dels esforços sol·licitants s'aplica el mètode de càlcul matricial, anàlisi de primer ordre.

VEURE:

7.2.- CÀLCULS:

7.2.1.- ANALISIS DE PRIMER ORDRE

7.2.1.1.- FORCES LINEALS

7.2.1.2.- CÀLCUL MATRICIAL

El programa té la capacitat de realitzar el càlcul de les sol·licitacions en segon ordre en el cas de les estructures translacionals, o no travades, en les que els desplaçaments tenen una influència substancial en els esforços, s'ha d'utilitzar un mètode de càlcul que inclogui efectes no lineals geomètrics i consideri les imperfeccions inicials. Es realitza amb procediment iteratiu mitjançant una rutina programa a Visual Basic, introdueix els desplaçaments obtinguts en el càlcul anterior a la posició inicial dels nusos i així es crea una localització de nusos i en torna a calcular els desplaçaments i esforços situant les accions sobre la nova posició.

VEURE:

7.2.2.- ANALISIS DE SEGON ORDRE:

7.2.2.1.- MÈTODE UTILITZAT

7.2.2.2.- PROCEDIMENT DE CÀLCUL:

7.2.2.3.- RUTINA 2º ORDRE:

10. COMPROVACIONS DELS ESTATS LÍMIT

Es realitzaran les mateixes comprovacions que en les corretges i obtindrem els mateixos resultats.

En aquest cas, però, també realitzarà la comprovació dels ELS pel que fa als desplaçaments tant verticals com horitzontals per garantir l'estabilitat de l'estructura.

VEURE:

5.3.2.- DESPLAÇAMENTS:

5.3.2.1.- DESPLAÇAMENTS HORITZONTALS:

5.2.2.2.- DESPLAÇAMENTS VERTICALS:

11. DIMENSIONAT I OPTIMITZACIÓ DELS PÒRTICS:

De la mateixa manera que amb el dimensionament de les corretges el dimensionament automàtic també es realitza dins d'una mateixa sèrie de perfils, en aquest cas, però, es pot escollir una sèrie per a cada un dels elements (pilars o llindes).

Aquest dimensionament es durà a terme mitjançant VisualBasic. La rutina programada realitzarà un canvi seqüencial de perfils tant dels pilars com de les llindes fins a realitzar totes les combinacions possibles. Dins d'aquestes combinacions s'obtenen diferents resultats:

- a) Combinació òptima: Al final del dimensionat el programa mostrarà a les comprovacions la combinació de perfils que obtingui un pes més baix.
- b) Taula de 5 combinacions millors: A part, es mostrarà una taula on apareixeran les quatre comprovacions que segueixen a l'òptima, ja que en algun cas, la combinació òptima no resulta clarament millor que les que la segueixen.
- c) Es crearan unes matrius de resultats, on de manera gràfica, es podran observar els resultats de totes les combinacions possibles en diferents colors, depenent del compliment o no de les comprovacions:

VEURE:

7.3.-DIMENSIONAT:

7.3.1.- DIMENSIONAT MANUAL:

7.3.2.- DIMENSIONAMENT AUTOMÀTIC DE PÒRTICS:

7.3.3 RUTINA: OPTIMITZACIÓ DE PÒRTICS

12.OPTIMITZACIÓ DE L'ESTRUCTURA

No es pot considerar l'estructura optimitzada, només amb el dimensionament dels elements realitzada anteriorment, ja que hi ha un factor com és el nombre de pòrtics que s'ha introduït sense saber exactament si representa la millor configuració possible per les dimensions i necessitats de la nau. Aquest fet provoca que necessàriament s'hagi de tornar a realitzar tots els dimensionats dels elements, canviant el nombre de pòrtics fins a aconseguir trobar la configuració òptima davant les nostres necessitats.

Aquest procediment consisteix en una rutina de Visual basic que executa els procediments de dimensionat i optimització de les corretges, tant de coberta com laterals, així com dels pòrtics, guardant els resultats obtinguts en repetides ocasions, cada una amb un nombre de pòrtics diferent per tal de trobar el millor disseny estructural.

Per part de l'usuari només s'escull el nombre mínim i màxim de pòrtics que es vol utilitzar i també si es volen estudiar diferents llums per a l'estructura, indicant també la llum mínima i màxima com l'augment successiu que es fa en l'estudi.

Aquesta rutina permet obtenir una sèrie de resultats finals on l'usuari pot analitzar i escollir quina és la configuració en nombre de pòrtics que considera l'òptima davant les necessitats funcionals de l'estructura.

VEURE:

8.- OPTIMITZACIÓ D'ESTRUCTURES:

II.1.- DEFINICIÓ DE LA NAU:

II.1.1.- GEOMETRIA DE LA NAU:

El full necessita unes dades inicials de geometria per tal de determinar les dimensions dels diferents elements que configuren la nau i les superfícies tributàries de les càrregues que hauran de suportar, cal definir la geometria de la nau.

Els paràmetres que defineixen la geometria de la nau són:

II.1.1.1.- DIMENSIONS EN PLANTA:

Les dimensions en planta corresponen a la longitud dels costats de la nau. En aquest full de càlcul es podran definir plantes rectangulars. Per tant, les dimensions que cal definir són:

Longitud: Longitud total de la nau, corresponent a la distància entre els dos pòrtics dels extrems.(m).

Amplada o llum: Distància entre pilars del mateix pòrtic, corresponent a la llum dels pòrtics. (m).

A partir d'aquests valors es calcula la superfície.

Superfície: Producte de la longitud per l' amplada. (m²)

Es definiran les mesures de la planta de la nau a la pàgina d'inici del full de càlcul:

Longitud: DIMENSIONS!C5

Amplada: DIMENSIONS!C6

Superfície: DIMENSIONS!C7

Planta		
Longitud	85	m
Amplada	30	m
Superfície	2550	m ²

II.1.1.2.- MESURES D'ALÇAT:

Dimensions que es consideraran a la nau en alçat. Es definiran les alçades del cap del pilar i del carener. Aquestes dimensions correspondran també a les de tots els pòrtics de la nau.

Alçada cap del pilar: longitud total del pilar, des del nivell del terra fins al cap.

Δ Alçada central (clau): Distància vertical entre el cap del pilar i el carener de la nau. Aquesta distància juntament amb l'amplada de la nau definirà l'angle de la coberta.

Alçada màxima: Suma de l'alçada al cap del pilar i Δ Alçada central, que defineix el punt més alt de l'estructura.(m)

Angle de coberta: Angle que formen els plans de la coberta i el pla entre caps de pilar.($^{\circ}$).

Es definiran les mesures de l'alçat:

Alçada cap del pilar: DIMENSIONS!C9

Δ Alçada central: DIMENSIONS!C10

A partir dels valors anteriorment introduïts s'obtenen els següents:

Alçada màxima: DIMENSIONS!C11

Angle de coberta: DIMENSIONS!C12

Alçat		
Alçada cap del pilar	9	m
Δ Alçada central	2	m
Alçada màxima	11	m
Angle coberta	7,6	$^{\circ}$

II.1.1.3.- PÒRTICS:

Els pòrtics són les estructures portants de la nau. Estaran formats per dos pilars i dos llindes tots d'ídèntiques dimensions i disposició. Els pòrtics es consideraran disposats equidistants al llarg de la nau.

L'elecció del nombre de pòrtics passa per ser una de les opcions de disseny més importants a l'hora d'optimitzar una estructura. Ja que en el dimensionat produeix canvis de perfils en tots els elements i, per tant, un canvi de pes total de l'estructura.

S'aconsella sempre treballar amb separacions d'uns 5 metres, si les necessitats de disseny ho permeten. Aquesta qüestió s'estudia un cop finalitzat el llibre de càlcul.

L'acció que s'ha de dur a terme es la de realitzar dimensionats de l'estructura amb diferent nombre de pòrtics i decidir davant dels resultats quina és la millor configuració.

Nº de pòrtics: Nombre total de pòrtics que es disposaran a la nau. (nº)

Separació entre pòrtics: Distància entre pòrtics. Corresponent a la longitud de la nau dividida per el nombre de pòrtics. (m)

S'introduiran el nombre de pòrtics utilitzant una barra de desplaçament per augmentar o disminuir automàticament el seu valor:

Nº pòrtics: DIMENSIONS!C14

Separació pòrtics: DIMENSIONS!C15



Per tal de tenir una idea visual de les dimensions de la nau que s'està introduint es disposa d'una imatge generada per gràfica (fig:II.1.1) on es pot observar l'aparença global de la nau, en color negre, així com la disposició dels pòrtics, en color gris.

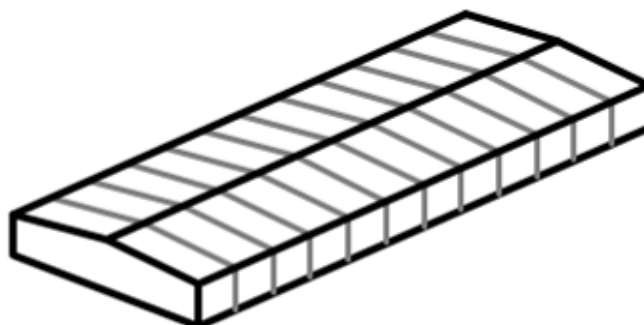


Fig II.1.1: Exemple de representació d'una estructura per part del full de càlcul

II.1.2.- ACCIONS

Per tal de definir les accions sobre els edificis, s'aplicarà el "Documento Básico SE-AE Acciones en la edificación" del CTE per tal de verificar el compliment dels requisits de seguretat estructural i d'aptitud al servei.

Les accions, a considerar en el càlcul, es classifiquen per la seva variació en el temps:

Accions permanents (G):

Són aquelles que actuen en tot moment sobre l'edifici amb posició constant. La seva magnitud es considera constant, no es tindran en compte les empentes del terreny, accions reològiques.

Accions variables (Q):

Són aquelles que poden actuar sobre l'edifici, com les degudes a l'ús o a les accions climàtiques.

II.1.2.1.-PES PROPI:

El pes propi que es tindrà en compte serà el dels tancaments i el dels elements estructurals.

Com a valor característic del pes propi dels tancaments es considerarà uns valors orientatius segons recobriments, gruix i tipus d'aïllant. També es considerarà la possibilitat d'incorporar un pes en coberta corresponent a instal·lacions fixes

El valor característic del pes propi dels elements constructius, en aquest cas, només correspon a barres d'acer laminat en calent que s'obtindran de les taules de característiques de perfils comercials.

II.1.2.1.1.-TANCAMENTS:

Són els elements que delimiten l'interior i l'exterior de la nau. Aquests es consideraran plans units a l'estructura de la nau, mitjançant les corretges.

Per defecte, es treballa amb tancaments tipus sandvitx ancorats a les corretges tant de coberta com verticals.

Els tancaments sandvitx (fig: II.1.2.) són els més utilitzats en naus industrials per la seva lleugeresa i la fàcil instal·lació. Estan formats per una capa d'aïllant i dues planxes de metall per oferir resistència i protecció.

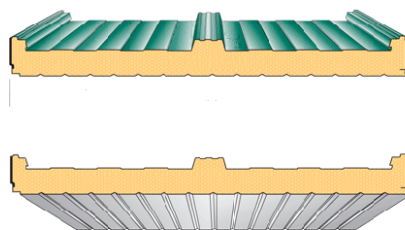


Fig:II.1.2. Exemples de tancaments sandwich

Tot i ser uns elements que no tenen capacitat portant, la seva elecció condiciona, en major o menor mesura, les característiques de la nau, en:

Pes propi: El seu pes es considera dins del pes propi de la nau, per tant, un canvi de tancament suposa també un canvi en els valors de les accions a suportar per l'estructura.

Separació entre corretges: Degut a que els tancaments són els que transmeten les accions exteriors a les corretges, tals com sobrecàrrega d'ús, acció del vent o neu. S'ha de considerar una separació màxima entre les corretges depenent de la resistència dels mateixos.

Distingirem entre tancaments de coberta i tancaments laterals.

II.1.2.1.1.1.-TANCAMENTS DE COBERTA:

Són pròpiament la coberta de la nau, es disposa sobre tota la superfície de la nau sobre les llindes. Per tant, la seva superfície correspon a la longitud total multiplicada per la suma de la longitud de les dues llindes.

La seva elecció es podrà realitzar tant de manera automàtica com manual.

Automàtica: Es disposarà de una petita llista de tancaments reals a escollir, on a partir de quadres combinats obtindrem el pes del tancament així com la separació màxima entre correteges. Els tancaments considerats seran de tipus sandvitx on s'haurà d'escollir el tipus de planxes metàl·liques de recobriment utilitzades, així com el tipus de tancament i el guix del mateix.

Segons la nostra elecció, el full de càlcul determinarà amb les dades de resistència de cada panell la separació de correteges màxima, considerant com a acció més desfavorable la màxima obtinguda en l'acció del vent per seccions de coberta.

Per seleccionar de manera automàtica el tancament s'utilitzen els quadres combinats:

RECOBRIMENT: DIMENSIONS!J5

TIPUS DE TANCAMENT : DIMENSIONS!J6

GRUIX: DIMENSIONS!J7

RECOBRIMENT	Alumini 0,8mm	▼
TIPUS DE PARAMENT	Poliuretà PU	▼
GRUIX (mm)	60	▼

Manual: Si el tancament que es pretén utilitzar no es troba dins de les dades introduïdes dins el llibre de càlcul es pot optar per la introducció manual de les mateixes. En aquest cas, es realitza la introducció manual per teclat dels valors de pes propi del tancament, la separació màxima entre correteges a considerar i, també, l'opció de considerar instal·lacions fixes a la coberta a part del tancament.

Per introduir els valors manualment s'haurà d'activar la cel·la de verificació MANUAL

Cel·la de verificació MANUAL: DIMENSIONS!J8

MANUAL

Un cop activat la opció manual s'introdueixen els valors:

PES COBERTA MANUAL : DIMENSIONS!N8

INSTAL·LACIONS A COBERTA: DIMENSIONS!N9

SEPARACIÓ MINIMA: DIMENSIONS!N10

PES COBERTA MANUAL	Kg/m ²
INSTAL·LACIONS A COBERTA	0 Kg/m ²
SEPARACIÓ MINIMA	m

II.1.2.1.1.2.-TANCAMENTS LATERALS:

Són els tancaments verticals de l'estructura. Es troben units a l'estructura a partir de corretges unides als pilars dels pòrtics. En aquest cas, es podrà considerar que el tancament no cobreix la totalitat de la superfície dels laterals de la nau, amb la introducció d'un tancament amb una alçada a determinar per l'usuari, i a partir del nivell del terra, realitza la mateixa funció però no transmet les accions sobre l'estructura portant de la nau. Es pot considerar com un mur de formigó. Aquest mur afectarà a les longituds de càlcul dels pilars ja que al considerar-lo rígid oferirà una major capacitat resistent.

La seva elecció és idèntica al dels tancament de coberta tant en manual com en automàtic tret de la introducció del citat tancament que no transmet accions a l'estructura.

Per seleccionar de manera automàtica el tancament s'utilitzen els quadres combinats, tret de l'alçada del mur:

MUR A NIVELL DEL TERRA: DIMENSIONS!M14

RECOBRIMENT: DIMENSIONS!J15

TANCAMENT: DIMENSIONS!J16

GRUIX: DIMENSIONS!J17

Paraments verticals	laterals
MUR A NIVELL DEL TERRA	0 m
RECOBRIMENT	Alumini 0,8mm
TIPUS DE PARAMENT	Poliuretà PU
GRUIX (mm)	60

Per introduir els valors manualment s'haurà d'activar la cel·la de verificació MANUAL

Cel·la de verificació MANUAL: DIMENSIONS!J19

MANUAL

Un cop activat la opció manual s'introdueixen els valors:

PES COBERTA MANUAL : DIMENSIONS!N19

SEPARACIÓ MÀXIMA: DIMENSIONS!N20

PES COBERTA MANUAL	Kg/m ²
SEPARACIÓ MINIMA	m

II.1.2.2.- SOBRECARGA D'ÚS:

La sobrecàrrega d'ús és la produïda per el pes de tot el que pugui gravitar sobre l'edifici per raó del seu ús. El fet que en el present treball les estructures a dimensionar són naus industrials d'una sola planta amb coberta lleugera sobre corretges, la sobrecàrrega d'ús queda limitada només a la produïda per manteniment.

Segons la "taula 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso" del DB SE-AE la nostra situació correspon a:

Categoria d'ús: G Cobertes accessibles únicament per conservació.

Subcategoria d'ús: G1 cobertes lleugeres sobre corretges (sense forjat).

Carga Uniforme : 0,4 KN/m²

Carga concentrada : 1 KN

Tot i que es pot considerar tant càrrega uniforme com concentrada, es considerarà sempre càrrega uniforme.

Carga uniforme: ACCIONS!I6

Carga concentrada: ACCIONS!I7

II.1.2.3.- ACCIÓ DEL VENT:

La distribució i el valor de les pressions que exerceix el vent sobre un edifici i les forces resultants depenen de la forma i de les dimensions de la construcció, així com de la direcció, intensitat i ràfegues del vent.

Les disposicions del document bàsic no són aplicables a edificis situats per sobre de 2000 m. sobre el nivell del mar.

Tampoc cobreix els efectes dinàmics del vent produïts en construccions amb una esveltesa superior a 6. L'acció del vent es considerarà una força perpendicular a la superfície de cada punt exposat, o pressió estàtica q_e que s'expressa com a :

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

PRESSIÓ DINÀMICA q_b

La pressió dinàmica del vent, és un valor que depèn de la situació geogràfica de la nau. Es pot obtenir a partir de la situació de la nau en el mapa de la "figura D.1 de l'annex D. Acción del viento". On considera tres zones amb tres valors diferenciats:

Zona A: 0,42 KN/m²

Zona B: 0,45 KN/m²

Zona C: 0,52 KN/m²

Entrada per el quadre combinat PRESSIÓ DINÀMICA:

Quadre combinat PRESSIÓ DINÀMICA: ACCIONS!C13

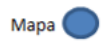
PRESSIÓ DINÀMICA

Valors punt D.1.4 : TAULES. accions!B\$39:\$C\$41

D1 Pressió dinàmica		q_b
		KN/m ²
1	Zona A	0,42
2	Zona B	0,45
3	Zona C	0,52

q_b : ACCIONS!H11

Hipervinculo amb mapa:



COEFICIENT D'EXPOSICIÓ C_e

El coeficient d'exposició té en compte els efectes de les turbulències originades pel relleu i topografia del terreny. El seu valor es pot prendre respecte la taula 3.4 del CTE DBE SE-AE . On es consideren 5 zones depenent del grau d'aspresa de l'entorn des de zones al costat del mar fins a zones dins de ciutats. Considerant la taula 3.4., aquesta dona valors segons l'alçada de la façana a barlovent i zona d'aspresa de l'entorn.

Entrada per el quadre combinat COEFICIENT D'EXPOSICIÓ amb:

Quadre combinat COEFICIENT D'EXPOSICIÓ: ACCIONS!C11

COEFICIENT D'EXPOSICIÓ

Taula 3.4: TAULES. accions!B25:B29

Taula 3.4 Valors del coeficient d'exposició C_e

- 1 I Al costat del mar o llac, amb una superfície d'aigua en la direcció del vent de com a mínim 5 Km.
- 2 II Tereny rural pla sense obstacles ni arbrat d'importància
- 3 III Zona rural accidentada o plana amb obstacles aïllats, com arbres o construccions petites
- 4 IV Zona Urbana en general, Industrial o forestal
- 5 V Centre de negocis de grans ciutats, amb edificis d'altura

	Altua del punt considerat							
	3	6	9	12	15	18	24	30
1	2,4	2,7	3	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
2	2,1	2,5	2,7	2,9	3	3,1	3,3	3,5
3	1,6	2	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
4	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
5	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2

Escollint el grau d'aspresa de l'entorn, obtenim el valor de la fila on es busca el valor tabulat, s'aïlla el valor inferior i superior a l'atura de referència:

C_e1: taules.accions!F35**C_e2: taules.accions!G35**

Es realitza una interpolació per obtenir el valor segons la nostra alçada real:

C_e : taules.accions!H35

Iteració	H total	H inferior	H Superior			C _e
		5	6	Ce1	Ce2	
9	9	12	3	3,1	3,00	

Valor vinculat a C_e: ACCIONS!M14**COEFICIENT EÒLIC C_p**

Per la determinació del coeficient eòlic de naus i construccions diàfanes, a efectes de càlcul de la estructura, del costat de la seguretat es podrà utilitzar la resultant del pla de coberta o façana dels valors de l'annexa D.3 que recull el pèssim en cada punt. A efectes locals, tals com corretges o tancaments, s'utilitzaran els valors corresponents a la zona o zones en que es trobin ubicats aquests elements.

Els coeficients de pressió exterior o eòlic, depenent de la direcció relativa del vent, de la forma de l'edifici, de la posició de l'element considerat així com de la seva àrea d'influència. En aquest últim cas, segons diu el punt 4 de l'annexa D.3, es tindrà en compte la fórmula D.4 per a zones que la seva superfície es trobi entre valors de 1m² i 10m².

$$C_{pe,A} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \cdot \log_{10} A \quad (D.4)$$

En el nostre cas utilitzarem les taules:

D.3 Paraments verticals

D.6 Cobertes a dos aigües

a) Direcció del vent $-45^{\circ} < \alpha < 45^{\circ}$ transversal

b) Direcció del vent $45^{\circ} < \alpha < 135^{\circ}$ longitudinal

Degut a aquest fet, queda limitada el full Excel al dimensionament de nau amb coberta a 2 aigües.

Ja que la taula D.6.a per pendents de coberta entre -5 i 45 graus dona 2 valors diferents en una mateixa zona, obtindrem 3 hipòtesis diferents de vent anomenades: VENT1, VENT2 i VENT3:

VENT1: Vent transversal coberta sota succió.

VENT2: Vent transversal coberta sobre pressió.

VENT3: Vent longitudinal.

Segons el punt 4 de l'apartat D.3 de l'annex D

Taula D.3 se situa a : TAULES.accions!C46:I58

A m ²	h/d	A	B	C	D	E
10	0,25	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
10	1	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,5
10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
5	0,25	-1,3	-0,9	-0,5	0,8	-0,3
5	1	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,5
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
2	0,25	-1,3	-1	-0,5	0,7	-0,3
2	1	-1,3	-1	-0,5	0,9	-0,5
2	5	-1,3	-1	-0,5	0,9	-0,7
1	0,25	-1,4	-1,1	-0,5	1	-0,3
1	1	-1,4	-1,1	-0,5	1	-0,5
1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1	-0,7

Per a la determinació del coeficient eòlic de les zones es realitzen els següents passos, tant per vent transversal com longitudinal:

Inici vent transversal: TAULES.accions!C60

Inici vent longitudinal: TAULES.accions!C92

Càlcul de la proporció h/d, esveltesa i àrees laterals i frontals

	h/d	0,35	
Esveltesa	e	18	
A Lateral	Al	160	m2
A frontal	Af	350	m2

Càlcul de la longitud a nivell del terra de les zones i àrees totals de cada zona

ZONA	A	B	C	D	E	
L	1,8	16,2	2	80	80	m
A	13,2	132,0	14,8	350	350	m ²

Degut a que l'àrea C depenent de la geometria de la nau pot ser que no s'hagi de tenir en compte si $d < e$.

A partir del valor h/d es fa una selecció dins de la taula D.3, entre quins intervals es troba el nostre valor en cada tipus d'àrea.

Selecció segons h/d	A m ²	A	B	C	D	E	h/d
	10	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3	0,25
	10	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,5	1
	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,8	-0,3	0,25
	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,5	1
	2	-1,3	-1,0	-0,5	0,7	-0,3	0,25
	2	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,5	1
	1	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,3	0,25
	1	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,5	1

Obtenint així dos valors entre els que es pot interpolar segons el nostre h/d.

Es realitza la interpolació segons h/d per a cada àrea:

Interpolació segons h/d	A m ²	A	B	C	D	E
	1	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,3
	2	-1,3	-1,0	-0,5	0,7	-0,3
	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,8	-0,3
	10	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

A partir de la superfície de cada zona es fa una selecció segons àrees, per obtenir l'interval en que es troba cada zona i així poder realitzar l'última interpolació:

		A	B	C	D	E
Selecció segons area	A inf	10	10	10	10	10
	A sup	10	10	10	10	10
	Cp inf	-1,200	-0,800	-0,500	0,713	-0,327
	Cp sup	-1,200	-0,800	-0,500	0,713	-0,327

L' interpolació segons àrees per obtenir el valor de Cp per a cada zona:

		A	B	C	D	E
Interpolació segons area	Cp	-1,200	-0,800	-0,500	0,713	-0,327

Paraments horitzontals (coberta):

Vent longitudinal: Taula D.6 a).

Vent transversals: Taula D.6 b).

Introducció de la taula D.6 a. Degut a que es poden considerar 2 hipòtesis i hi ha canvi de valors segons àrea. Es realitza separada en 4 parts. Per la seva part la taules D.6 b. només considera una hipòtesis, per tant, només la separarem per àrees.

a) Taula D.6 a) 1^a Hipòtesis i Area >10 :TAULES.accions!C134

A>10		Pendent de la coberta	F	G	H	I	J	FILA
1	-45	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1	1	
2	-30	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8	2	
3	-15	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7	3	
4	-5	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	0,2	4	
5	5	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2	5	
6	15	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1	6	
7	30	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5	7	
8	45	0	0	0	-0,2	-0,3	8	
9	60	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3	9	
10	75	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3	10	

b) Taula D.6 a) 1^a Hipòtesis i Area <1 :TAULES.accions!C156

A<1		Pendent de la coberta	F	G	H	I	J	Fila
1	-45	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1,5	1	
2	-30	-2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,4	2	
3	-15	-2,8	-2	-1,2	-0,5	-1,2	3	
4	-5	-2,5	-2	-1,2	0,2	0,2	4	
5	5	-2,5	-2	-1,2	-0,6	0,2	5	
6	15	-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5	6	
7	30	-1,5	-1,5	-0,2	-0,4	-0,5	7	
8	45	0	0	0	-0,2	-0,3	8	
9	60	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3	9	
10	75	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3	10	

c) Taula D.6 a) 2^a Hipòtesis i Area >10 :TAULES.accions!C189

A>10		Pendent de la coberta	F	G	H	I	J	FILA
1		-45	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1	1
2		-30	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8	2
3		-15	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7	3
4		-5	-2,3	-1,2	-0,8	-0,6	-0,6	4
5		5	0	0	0	-0,6	-0,6	5
6		15	0,2	0,2	0,2	0	0	6
7		30	0,7	0,7	0,4	0	0	7
8		45	0,7	0,7	0,6	0	0	8
9		60	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3	9
10		75	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3	10

d) Taula D.6 a) 2^a Hipòtesis i Area <1 :TAULES.accions!C211

A<1		Pendent de la coberta	F	G	H	I	J
1		-45	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1,5
2		-30	-2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,4
3		-15	-2,8	-2	-1,2	-0,5	-1,2
4		-5	-2,5	-2	-1,2	0,2	0,2
5		5	-2,5	-2	-1,2	-0,6	0,2
6		15	-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5
7		30	-1,5	-1,5	-0,2	-0,4	-0,5
8		45	0	0	0	-0,2	-0,3
9		60	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
10		75	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3

e) Taula D.6 b) Area >10 :TAULES.accions!C246

A>10		Pendent de la coberta	F	G	H	I
1		-45	-1,4	-1,2	-1	-0,9
2		-30	-1,5	-1,2	-1	-0,9
3		-15	-1,9	-1,2	-0,8	-0,8
4		-5	-1,8	-1,2	-0,7	-0,6
5		5	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6
6		15	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5
7		30	-1,1	-1,4	-0,8	-0,6
8		45	-1,1	-1,4	-0,9	-0,5
9		60	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5
10		75	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5

f) Taula D.6 b) Area <1 :TAULES.accions!C267

A<1		Pendent de la coberta	F	G	H	I
1		-45	-2	-2	-1,3	-1,2
2		-30	-2,1	-2	-1,3	-1,2
3		-15	-2,5	-2	-1,2	-1,2
4		-5	-2,5	-2	-1,2	-1,2
5		5	-2,2	-2	-1,2	-0,6
6		15	-2	-2	-1,2	-0,5
7		30	-1,5	-2	-1,2	-0,5
8		45	-1,5	-2	-1,2	-0,5
9		60	-1,5	-2	-1	-0,5
10		75	-1,5	-2	-1	-0,5

Per obtenir els C_{pe} per a cada hipòtesis es realitzen els mateixos passos
Es calcula l'àrea de cada zona segons mides indicades a taula D.6

	F	G	H	I	J
Area	8,1	73,8	410	90	410

Es realitza una selecció segons l'angle de coberta, amb el qual obtenim entre quins valors s'ha d'interpol·lar

Selecció d'interval	Pendent de la coberta	F	G	H	I	J
	5	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
15	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1	

S'interpol·la per a cada àrea i obtenim els valors:

	F	G	H	I	J
Interpolació C_{pe10}	-1,20	-0,95	-0,41	-0,47	-0,56

Per a cada hipòtesis obtenim el valor de C_{pe} a cada àrea realitzant la iteració descrita al DB SE-AE punt D.3.4, en cas que fos necessari:

VENT 1 : TAULES.accions!C177

VENT 2 : TAULES.accions!C235

VENT 3 : TAULES.accions!C288

	F	G	H	I	J
Interpolació $C_{pe1-Cpe10}$	-1,29	-0,31	-0,05	-0,47	-0,05
	F	G	H	I	J
C_{pe}	-1,29	-0,95	-0,41	-0,47	-0,56

Els valors del coeficient de pressió exterior de vent s'enllacen al full d'accions on es realitzarà el càlcul del valor de les accions del vent, tant per a cada zona com per el total del parament, a partir d'aquest seran enllaçats en el dimensionament dels diferents elements:

ZONA	AREA (m ²)	ZONIFICAT		TOTAL SUPERFICIE	
		C_{pe}	q_e (KN/m ²)	C_{pe}	q_e (KN/m ²)
A	19	-1,20	-1,5	-0,84	-1,05
B	177	-0,80	-1,00		
C	0	0,00	0,00		
D	720	0,73	0,91	0,73	0,91
E	720	-0,35	-0,44	-0,35	-0,44

Accions del VENT 1 i 2:

Paraments verticals: accions!C19:H25

Paraments de coberta VENT 1: accions! C28:H35

Paraments de coberta VENT 2: accions! C37:H44

Accions del VENT 3:

Paraments verticals: accions!C48:H54

Paraments de coberta: accions! C57:H62

II.2.2.4.- CÀRREGA DE NEU:

La distribució i la intensitat de la càrrega de neu sobre un edifici, o en particular sobre una coberta, depèn: del clima del lloc, el tipus de precipitació, del relleu de l'entorn, de la forma de la coberta, els efectes del temps i els intercanvis tèrmics dels paraments exteriors.

Degut a que es consideraran cobertes lleugeres accessibles *tan sols per manteniment* es cobriran els casos de dipòsit natural de la neu sense redistribucions artificials de la neu.

El valor de carga de neu per unitat de superfície en projecció horitzontal, q_n , el DB SE-AE 3.5.1.2 considera:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

On:

μ : Coeficient de forma: Valor dependent del pendent de la coberta, considera un dipòsit irregular de la neu sobre les cobertes. Serà un valor a canviar segons l'usuari però degut a la forma que generalment tenen les cobertes de les naus industrials es considerarà un valor de 1.

El coeficient de forma s'introdueix a: ACCIONS!E67

COEFICIENT DE FORMA (μ) 1

s_k : Valor característic de la carga de neu sobre terreny horitzontal segons el punt 3.5.2.2 que ens enllaça a usar l'Annexa E del DBE SE-AE. El citat Annexa determina el valor de la càrrega de neu segons la taula II.2.1, on en funció de l'altitud de la situació de la nau i de la zona climàtica de del mapa de la Fig II.2.1.

Tabla E.2 Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal (kN/m²)

Altitud (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

Taula II.2.1: Correspon a la Taula E.2 del CTE de l'annex E del DBE SE-AE



Fig II.2.1: Correspon a Figura E.2 de l'annex E del DBE SE-AE

El valor de carga de neu s'introdueix a partir d'un quadre combinat ZONA CLIMÀTICA per escollir la zona climàtica d'hivern.

Quadre combinat ZONA CLIMÀTICA : ACCIONS!E67

ZONA CLIMÀTICA



Hipervincle amb el mapa:

Seguidament s'introdueix el valor de l'alçada sobre nivell del mar de la situació de la nau.

Altitud : ACCIONS!D70

ALTITUD

A partir d'aquests dos valors usant la taula E.2 situada a:

TAULES.accions!C304

FILA	Altitud (m)	1	2	3	4	5	6	7	FILA
2	0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2
3	200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	3
4	400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2	4
5	500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	5
6	600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2	6
7	700	1	1	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2	7
8	800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2	8
9	900	1,4	1,3	0,6	1	0,8	0,9	0,2	9
10	1000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2	10
11	1200	2,3	2	1,1	1,9	1,3	2	0,2	11
12	1400	3,2	2,6	1,7	3	1,8	3,3	0,2	12
13	1600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2	13
14	1800	0	4,6	4	0	0	9,3	0,2	14
15	2200	0	8	0	0	0	0	0,2	15

II.3.- BASE DE DADES:

El full de càlcul disposa d'una base de dades de perfils d'acer laminats en calent, on es disposa de totes les dades geomètriques necessàries per a realitzar els càlculs de comprovació.

Els perfils laminats en calent es realitzen escalfant 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.

Aquestes dades es troben dins el full "PERFILS", organitzades per columnes:

G: Pes per metre lineal de la secció

h: Cantell

B: amplada

t_w : Gruix de l'ànima

t_f : gruix de les ales

A: Àrea total

C ales: Longitud de les ales

C ànima: Longitud de l'ànima

I_y : Inèrcia eix y

$W_{el,y}$: mòdul elàstic en eix y

$W_{pl,y}$: mòdul plàstic en eix y

i: Radi de gir eix y

I_z : Inèrcia eix z

$W_{el,z}$: mòdul elàstic en eix z

$W_{pl,z}$: mòdul plàstic en eix z

i_z : radi de gir eix z

I_f : Constant de torsió uniforme

h/b : relació longituds

$A_{v,y}$: Àrea tallant eix y

$A_{v,z}$: Àrea tallant eix z

Cada perfil vindrà definit per un nombre de referència mitjançant el qual el full de càlcul l'identifica i, també, per un nom comercial genèric per realitzar una fàcil identificació per part de l'usuari.

S'introdueixen les següents sèries(fig II.3.1) de perfils laminats en calent més utilitzades en la construcció de naus:

IPE	HE AA.	HD
IPE A	HE A	HP
IPE O	HEB	UPE
IPN	HEM	UPN
HE	HL	U

Fig II.3.1 : series de perfils introduïts al llibre de càlcul

II.4.- EXIGÈNCIES BÀSIQUES DE SEGURETAT ESTRUCTURAL:

Les regles i procediments que permeten complir les exigències bàsiques de seguretat estructural es defineixen al "Documento Básico SE Seguridad Estructural" del CTE. La correcta aplicació suposa satisfer el requisit bàsic "Seguretat estructural".

L'objectiu del requisit bàsic "Seguretat Estructural" consisteix en assegurar que l'edifici té un comportament estructural adequat a les accions i influències previstes a les que pot ser sotmès.

II.4.1.-VERIFICACIONS BASADES EN COEFICIENTS PARCIAIS:

Per dur a terme la verificació dels estats límits, mitjançant els coeficients parcials, per determinar l'efecte de les accions, així com la resposta estructural, s'utilitzen els valors de càlcul de les variables, obtinguts a partir dels seus valors característics, multiplicats per els seus corresponents coeficients parcials.

Els coeficients parcials utilitzats seran:

Coefficients parcials de seguretat per a les accions (γ) : taula 4.1 DB SE.

Coefficients de simultaneïtat (ψ) : taula 4.2 DB SE

II.4.2.- CAPACITAT PORTANT:

Es considera que hi ha suficient estabilitat al conjunt de l'edifici o d'una part independent del mateix, si per a totes les situacions de dimensionat pertinents, es compleix la següent condició:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

On:

$E_{d,dst}$: Valor de càlcul dels efectes de les accions desestabilitzadores.

$E_{d,stab}$: Valor de càlcul dels efectes de les accions estabilitzadores.

Es considera que hi ha suficient resistència a l'estructura portant, d'un element estructural o secció, si per totes les situacions de dimensionat pertinents, es compleix la condició:

$$E_d \leq R_d$$

On:

E_d : Valor de càlcul dels efectes de les accions.

R_d : Valor de càlcul de la resistència corresponent.

El càlcul de la resistència de seccions i barres es determina mitjançant les comprovacions dels Estats Límits Últims (ELU).

II.4.2.1.- COMBINACIONS:

El valor de càlcul dels efectes de les accions corresponents a una situació persistent o transitòria, es determina mitjançant les combinacions d'accions a partir de l'expressió:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

On:

G_K : Valor característic de les accions permanents (KN/m)

Pes Propi

Q_K : Valor característic de les accions permanents (KN/m)

Sobrecarrega d'ús

Acció del vent (3 hipòtesis: VENT 1, VENT 2 i VENT 3)

Sobrecàrrega de neu

Per a la verificació de la capacitat portant de tots els elements considerats s'utilitzaran un total de 14 combinacions diferents, que seran codificades des de ELU Ø1 fins a ELU Ø14. Aquest codi s'usarà posteriorment per identificar-les.

A la taula següent s'indica per a cada combinació els coeficients usats per a cada acció:

* Les accions amb dos coeficients corresponen a: $\Upsilon \cdot \psi$

	PES PROPI	ÚS	VENT 1	VENT 2	VENT 3	NEU
ELU Ø1	1,35	1,5	=1,5*0,6			=1,5*0,5
ELU Ø2	1,35	1,5		=1,5*0,6		=1,5*0,5
ELU Ø3	1,35	1,5			=1,5*0,6	=1,5*0,5
ELU Ø4	1,35	1,5				=1,5*0,5
ELU Ø5	1,35		=1,5*0,6			1,5
ELU Ø6	1,35			=1,5*0,6		1,5
ELU Ø7	1,35				=1,5*0,6	1,5
ELU Ø8	1,35		1,5			=1,5*0,5
ELU Ø9	1,35			1,5		=1,5*0,5
ELU Ø10	1,35				1,5	=1,5*0,5
ELU Ø11	0,8		1,5			0
ELU Ø12	0,8			1,5		0
ELU Ø13	0,8				1,5	0
ELU Ø14	1,35					1,5

II.4.3.- APTITUD AL SERVEI :

Es considera que hi ha un comportament adequat en relació amb les deformacions per a les situacions de dimensionat pertinents, quan l'efecte de les accions no arriba al valor límit admissible per determinat efecte.

Es verificarà l'aparença geomètrica global de l'edifici així com les fletxes d'acord amb les verificacions corresponents als Estats Límits de Servei.

II.4.3.1.- COMBINACIONS:

Per a cada situació de dimensionat i criteri considerat, els efectes de les accions es determinaran a partir de la corresponent combinació d'accions i influències simultànies.

Els efectes deguts a accions de curta durada que poden resultar irreversibles, es determinen mitjançant combinacions d'accions, del tipus anomenat CARACTERÍSTIC a partir de l'expressió:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

On:

G_K : Valor característic de les accions permanents (KN/m)

Pes Propi

Q_K : Valor característic de les accions permanents (KN/m)

Sobrecarrega d'ús

Acció del vent (3 hipòtesis: VENT 1, VENT 2 i VENT 3)

Sobrecarrega de neu

No es considerarà cap més tipus de combinació, ja que les més desfavorables ja estan considerades.

Per a la verificació de l'aptitud al servei de tots els elements considerats s'utilitzaran un total de 9 combinacions, que seran codificades des de ELS Ø1 fins a ELS Ø9. Aquest codi s'usarà posteriorment per identificar-les.

A la taula següent indica per a cada combinació els coeficients usats per a cada acció:

CARACTERISTIQUES		COBERTA	ÚS	VENT 1	VENT 2	VENT 3	NEU
ELS Ø1		1	1,0	0,6			0,5
ELS Ø2		1	1,0		0,6		0,5
ELS Ø3		1	1,0			0,6	0,5
ELS Ø4		1		0,6			1,0
ELS Ø5		1			0,6		1,0
ELS Ø6		1				0,6	1,0
ELS Ø7		1		1,0			0,5
ELS Ø8		1			1,0		0,5
ELS Ø9		1				1,0	0,5

II.5.- COMPROVACIONS DELS ESTATS LÍMITS:

Per a cada un dels elements a dimensionar(fig II.5.1)dins el full de càlcul s'ha creat un full independent per a les comprovacions a realitzar de les sol·licitacions:

Cc1: Corretges de coberta

Cc2: Corretges laterals

Cc3: Pilars

Cc4: Llindes

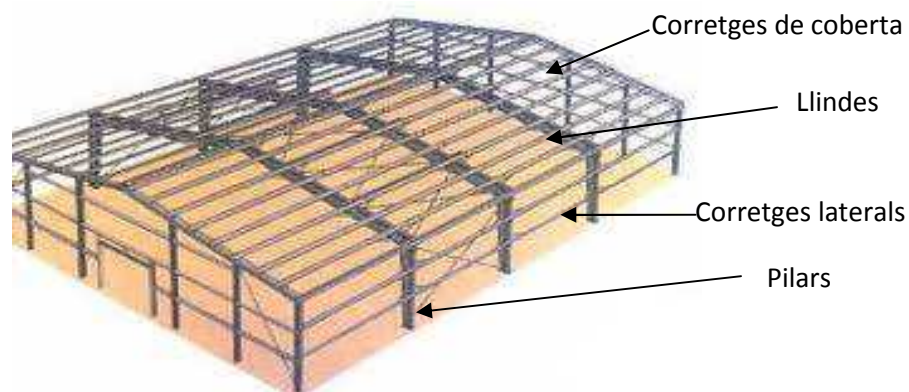


Fig: II.5.1: representació dels elements a dimensionar dins del llibre de càlcul

Aquests fulls tenen la mateixa distribució i seqüència de càlculs. Dins d'aquestes es poden diferenciar 3 parts:

- Característiques de la barra
- Comprovacions dels estats límits últims
- Comprovacions dels estats límits de servei

A partir d'aquestes 3 parts es realitzen les comprovacions i es verifica si compleix o no. Obtenint per a cada verificació (fig II.5.2):

Un "OK" o un "NO OK". Indicant el compliment o no respectivament de la comprovació.

Un valor de rendiment que correspon a:

$$\text{Rendiment} = \frac{\text{Valor màxim de les sol·licitacions}}{\text{Valor límit de la comprovació}}$$

Aquest valor resulta de gran utilitat per observar si "aprofitem" molt o no un perfil. O per observar en cada cas, quina es la comprovació limitant

- d) El codi de la combinació d'hipòtesis determinant tant de ELU com de ELS en que es dona el rendiment màxim i per tant la combinació d'accions més desfavorable.

RESULTATS			η	E.L.U.	
<input checked="" type="checkbox"/>	Tracció ($N_{t,Rd}$) i compressió ($N_{c,Rd}$)	OK			
Flexió simple ($M_{c,Rd}$):	<input checked="" type="checkbox"/> fort	OK	0,77	ELU ó13_	
	<input checked="" type="checkbox"/> dèbil	OK	0,03	ELU ó1_ELU ó2_ELU ó3_ELU ó4_	
<input checked="" type="checkbox"/>	Flexió esviada	OK	0,78	ELU ó13_	
<input checked="" type="checkbox"/>	Tracció /compressió excèntrica	OK	0,78	ELU ó13_	
Tallant ($V_{c,Rd}$):	<input checked="" type="checkbox"/> fort	OK	0,10	ELU ó13_	
	<input checked="" type="checkbox"/> dèbil	OK	0,03	ELU ó1_ELU ó2_ELU ó3_ELU ó4_	
Flexió i tallant:	<input checked="" type="checkbox"/> fort	OK			
	<input checked="" type="checkbox"/> dèbil	OK			
Pendeig per flexió:	<input checked="" type="checkbox"/> fort	OK			
	<input checked="" type="checkbox"/> dèbil	OK			
Abolladura de l'anima per tallant		OK			
<input checked="" type="checkbox"/>	Pendeig per volcada lateral:	OK	0,90	ELU ó13_	
<input checked="" type="checkbox"/>	Elementos comprimidos y flectados	OK	0,90	ELU ó13_	
				E.L.S.	
FLETXA		L / 250	OK	0,78	ELS ó9

Fig: II.5.2: Exemple dels resultats de les comprovacions

Resultat global (fig II.5.3): Si totes les comprovacions realitzades donen correctes donarà com a correcte amb un "OK", si alguna de les comprovacions dona incorrecte donarà "NO OK". Aquesta és la informació més important ja que és la que defineix si un perfil compleix o no.

IPE 160	OK
---------	----

Fig: II.5.3: Exemple del resultat global

II.5.1.-CARACTERÍSTIQUES DE LA BARRA:

Les característiques de la barra a comprovar s'enllacen a partir d'altres fulls.

II.5.1.1.-LONGITUDS:

Les longituds de les barres on es troben les seccions a comprovar també apareixen dins les característiques mostrades dins el full. Aquestes longituds corresponen a la distància entre fixacions de cada eix.

L_y : Distància entre punts fixes en l'eix y.

L_z : Distància entre punts fixes en l'eix z.

II.5.1.2.-CARACTERÍSTIQUES MECÀNIQUES DE L'ACER:

Els acers considerats dins el full de càlcul són els establerts per el CTE CB SE-A segons la norma UNE EN 10025 a cada una de les parts que la componen.

De les característiques presentades per el CTE s'usaran les següents:

F_u : Tensió de límit elàstic (N/mm²).

F_y : Tensió de límit de trencament(N/mm²).

E : Mòdul d'elasticitat (210000 N/mm²).

G : Mòdul de rigidesa (81000 N/mm²).

F_u i F_y Depenen del tipus d'acer usat en la fabricació de les barres i varien el seu valor segons el gruix nominal del perfil. Usant la Taula 4.1 es defineix el valor per a cada cas.

Dins el full de dimensionat dels elements es troba un quadre combinat per seleccionar el tipus d'acer a utilitzar:

PÒRTICS Quadre combinat ACER: DINTELLS!C4

CORRETGES COBERTA Quadre combinat ACER: CORRETGES!B4

CORRETGES LATERALS Quadre combinat ACER: CORRETGES2!B4



A partir del tipus d'acer seleccionat i del gruix de l'ànima del perfil que s'està comprovant es troba la tensió del límit elàstic i de trencament de la secció:

Taula 4.1 : ACER!A2

DESIGNACIÓ	Tensió límit elàstic (f_y) N/mm ²			Tensió de rotura (f_u) N/mm ²	
	t<16	16<t<40	40<t<63	3<t<100	
1	S235JR	235	225	215	360
2	S235J0	235	225	215	360
3	S235J2	235	225	215	360
4	S275JR	275	265	255	410
5	S275J0	275	265	255	410
6	S275J2	275	265	255	410
7	S355JR	355	345	335	470
8	S355J0	355	345	335	470

Els valors s'obtenen a:

Fu: cc!F4

Fy: cc!G4

E: cc!H4

G : cc!I4

tipus acer	Fu	Fy	E	G
5	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
S275J0	410	275	210000	81000

II.5.1.3.-SECCIÓ DEL PERFIL:

A partir de la full de dimensionament de cada element se selecciona un perfil, aquest queda enllaçat dins el full de comprovacions.

Del perfil seleccionat es mostren totes les característiques de la secció, tant de resistència com geomètriques, introduïdes al full de perfils dins el llibre de càlcul. Els perfils venen referenciats per un número que permet identificar i cercar amb totes les característiques. D'aquestes característiques es calculen altres valors necessaris per a les comprovacions que també s'indiquen dins d'aquest espai.

Els valors mostrats són :

G: Pes per metre lineal de la secció

h: Cantell

B: amplada

t_w : Gruix de l'ànima

t_f : gruix de les ales

A: Àrea total

C ales: Longitud de les ales

C ànima: Longitud de l'ànima

I_y : Inèrcia eix y

$W_{el,y}$: mòdul elàstic en eix y

$W_{pl,y}$: mòdul plàstic en eix y

i: Radi de gir eix y

I_z : Inèrcia eix z

$W_{el,z}$: mòdul elàstic en eix z

$W_{pl,z}$: mòdul plàstic en eix z

iz: radi de gir eix z

I_t : Constant de torsió uniforme

h/b : relació longituds

$A_{v,y}$: Àrea tallant eix y

$A_{v,z}$: Àrea tallant eix z

I o H : Tipus de secció (valor que identifica el perfil segons la seva forma , utilitzat en algunes de les comprovacions)

Els perfils vénen referenciats per un nombre que, a partir d'aquest, s'enllacen totes les característiques.

El valor de referència del perfil escollit apareix dins la cel·la: K4

A partir d'aquest valor s'enllacen totes les característiques a usar dins el full:

Perfil		G		h	b	t_w	t_f	A	d	C ales	Canima	I_y	$W_{el,y}$	$W_{pl,y}$
nº	Definició	kg/m	kN/m	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm	mm	mm	cm ⁴	mm ³	mm ³
5	IPE 140	12,9	0,1	140	73	4,7	6,9	1640	112,2	27,15	112,2	541,2	77320	88340

i_y	I_z	$W_{el,z}$	$W_{pl,z}$	i_z	I_t	h/b	$A_{v,y}$	$A_{v,z}$	Ifz	I o H
mm	cm ⁴	mm ³	mm ³	mm	mm ⁴		mm ²	mm ²	cm	
5,74	44,92	12310	19250	1,65	2,45	1,92	1112,66	658	2,1	1

G: Kg/m : M4

KN/m :N4

h: O4

b: P4

t_w : Q4

t_f : R4

A: S4

D: T4

C ales: U4

C ànima: V4

I_y : W4

$W_{el,y}$: X4

$W_{pl,y}$: Y4

i: M9

I_z : N9

$W_{el,z}$: O9

$W_{pl,z}$: P9

I_t : Q9

I_t : R9

h/b : S9

$A_{v,y}$: T9

$A_{v,z}$: U9

Ifz: V9

I o H: W9

II.5.2.- ESTATS LÍMIT ÚLTIMS:

La comprovació enfront els estats límits últims suposa en el DB SE-A del CTE, l'anàlisi i la verificació ordenada de la resistència de les seccions, barres i les unions.

En aquest treball es comprovarà la resistència de seccions i barres deixant de banda les unions entre elements.

Per dur a terme el càlcul de les sol·licitacions es consideraran les combinacions d'accions utilitzant els coeficients parcials de seguretat per la verificació de la **capacitat portant** CB SE 4.2.2

Es realitzarà la comprovació per a totes les combinacions determinant el rendiment i verificant que el seu valor és inferior o igual a 1.

Per a cada combinació es calcula el rendiment, escrivint un OK en cas de obtenir un valor inferior a 1, i un NO OK en cas d'excedir d'1.

η	
3,29	NO OK
3,95	NO OK
0,90	OK
0,05	OK
3,30	NO OK
3,96	NO OK
0,89	OK
5,53	NO OK

A la part inferior de la columna de comprovacions s'indica el valor màxim de rendiment obtingut en la comprovació, aquest valor és el que determina si totes les sol·licitacions són inferiors a la resistència i , per tant, si es dona la comprovació com a correcte.

0,04	OK
0,03	OK
0,05	OK
0,05	OK
0,20	OK
	0,26

II.5.2.1.- ESFORÇOS SOL·LICITANTS:

Els esforços sol·licitants que s'han calculat per a cada element dins de cada combinació d'hipòtesis s'enllacen dins la taula de comprovacions dins una taula per obtenir una ubicació per a cada hipòtesis. A partir d'aquest punt totes les comprovacions per a cada hipòtesis es realitzaran dins la mateixa fila, així s'aconsegueix una ràpida i fàcil organització.

Els càlculs de les sol·licitacions estan descrits posteriorment als apartats de cada element que es pot dimensionar.

Corretges: de coberta i laterals

Pòrtics: (Pilars i llindes)

S'enllacen els valors de les sol·licitacions de l'element a comprovar:

N_{ed} :AX11

$M_{ed,y}$:AY11

$V_{ed,y}$:AZ11

$M_{ed,y}$:BA11

$V_{ed,y}$:BB11

N_{ed}	Eix fort:		Eix dèbil:	
	$M_{ed,y}$	$V_{ed,y}$	$M_{ed,z}$	$V_{ed,z}$
N	kN·m	N	kN·m	N
146202,34	97,54	24344,97		
157753,03	66,37	21764,33		
144165,70	218,13	75815,45		

II.5.2.2.- CLASSIFICACIÓ DE SECCIONS:

La capacitat resistent de les seccions depèn de la seva classe, per tant, es tindrà en compte la classificació de seccions realitzada.

Segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció sol·licitada per un moment flector, aquesta es classifica en una de les quatre classes següents (Taula II.5.4).

Clase 1: Plàstica	Permiten la formació de la rótula plàstica con la capacidad de rotación suficiente para la redistribución de momentos.
Clase 2: Compacta	Permiten el desarrollo del momento plástico con una capacidad de rotación limitada.
Clase 3: Semicompacta o Elástica	En la fibra más comprimida se puede alcanzar el límite elástico del acero pero la abolladura impide el desarrollo del momento plástico
Clase 4: Esbelta	Los elementos total o parcialmente comprimidos de las secciones esbeltas se abollan antes de alcanzar el límite elástico en la fibra más comprimida.

Taula II.5.4: Definicions de les classes de seccions per part del CTE

Per a la verificació de la seguretat estructural s'usarà el mètode corresponent definit a continuació, segons la classe de la secció transversals (fig II.5.5):

Mètode Plàstic: Seccions 1 i 2

Mètode elàstic: Seccions 3

En el present treball no es realitzen càlculs en seccions tipus 4 al tractar-se d'un cas especial. Si durant un dimensionament es classifica una secció com a classe 4, tots els càlculs i resultats d'aquella combinació es donaran com a incorrectes o no vàlids.

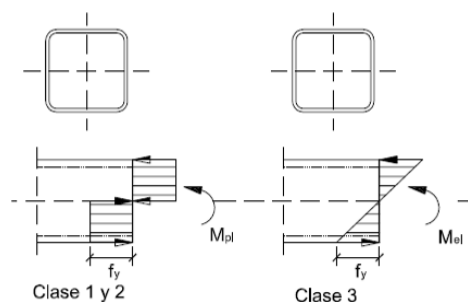


Fig II.5.5: Representació de la distribució de tensions segons mètode plàstic o elàstic

L'àrea de la secció de càlcul, A , per a seccions de classe 1, 2 i 3 serà la total. No es consideraran, ni forats ni rebaixos a les peces.

Per a definir les classes 1, 2 i 3 s'utilitzen els valors límits de l'esveltesa (c/t) dels elements comprimits de les seccions a les taules 5.3 i 5.4 del DB SE-A. Per classificar l'ànima i les ales respectivament. Com que cada element comprimit d'una secció (ànima o ala) per pertànyer a classes diferents, s'assignarà la secció a la menys favorable.

II.5.2.2.2.- CLASSIFICACIÓ D'ÀNIMES:

La classificació de seccions va determinada per a la geometria de la secció utilitzada, així com per la seva sol·licitació. Per tant, es classificarà la secció en cada una de les combinacions d'hipòtesis dels Estats Límits Últims.

La classificació es realitza comprovant si l'esveltesa (c/t) de la peça (fig II.5.6) entra dintre dels límits d'esveltesa per a cada classe de secció.

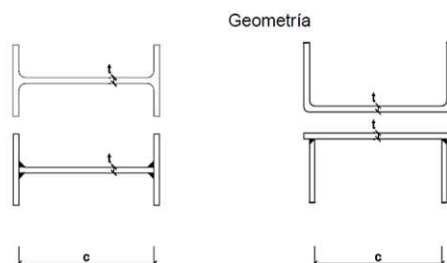


Fig II.5.6 : Esquema representatiu de c i t per a diferents perfils

Per a la determinació de l'esveltesa de la peça es realitza el càlcul:

$$\text{Esveltesa} = c/t$$

on:

c : longitud total de l'ànima (mm)

t : Gruix de l'ànima (mm)

Esveltesa: BF4

c Anima	Lim.
mm	c/t
514	42,8

Els límits d'esveltesa vénen limitats segons el tipus de sol·licitació (fig. II.5.7), i vénen definits per una sèrie de paràmetres a calcular:

Sol·licitació	Elemento plano	Límite de esbeltez: c/t máximo		
Compresión + Tracción -		Clase 1	Clase 2	Clase 3
Compresión		33ε	38ε	42ε
Flexión simple		72ε	83ε	124ε
Flexocompresión $\psi \geq -1$		$\frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$	$\frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$	$\frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$
Flexotracción ¹⁾ $\psi \leq -1$		$\frac{36\varepsilon}{\alpha}$	$\frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$	$62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$

Fig. II.5.7.- Límits d'esveltesa segons sol·licitació ofertes per el CTE.

On:

ε : Factor de reducció

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

On:

f_y : Resistència relativa al límit elàstic (kN/m²)

Es realitza el càlcul del factor de reducció per a cada un dels elements dins el full de comprovació corresponent.

ε
factor
1,02

Situació: K4

α : Tant per 1 de l'ànima sotmesa a compressió respecte al total.

Flexocompressió el seu valor es troba entre 0,5 i 1

Flexotracció entre 0 i 0,5.

Aquest valor només és necessari en els límits de les classes 1 i 2, per tant, es considera una distribució de tensió totalment plàstica.

Si es designa C_N com a la part de l'ànima que absorbeix la compressió s'obté:

$$N_{Ed} = C_N \cdot t_w \cdot f_y \rightarrow C_N = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y}$$

$$\alpha \cdot c = \frac{c + C_N}{2}$$

$$\alpha = \frac{1}{2 \cdot c} \cdot (c + C_N) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{C_N}{c} \right)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y \cdot c} \right)$$

On:

N_{Ed} : Valor de càlcul de la sol·licitació de força Axil en la secció (N/mm^2)

t_w : Gruix de l'ànima (mm)

Degut a que en el càlcul d' α , hi intervenen els valors de les sol·licitacions s'ha de trobar el valor d' α per a cada una de les combinacions dels ELU.

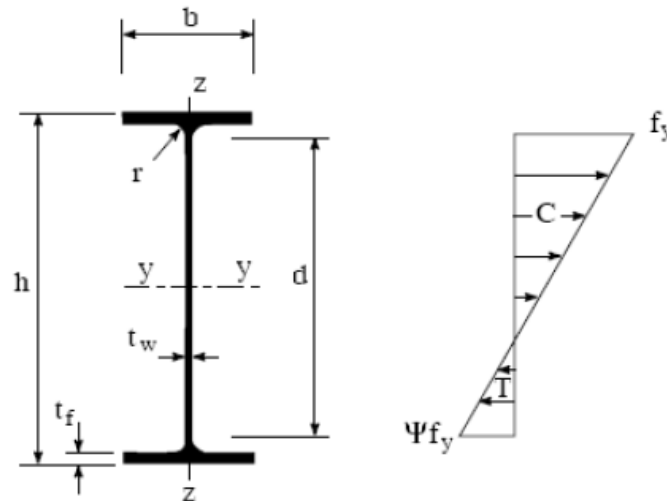
α
0,54
0,54
0,54
0,55
0,53
0,54
0,53

Posició 1ª combinació: BJ10

Ψ : Relació de tensions en distribució elàstica.

Aquest paràmetre és la relació entre la tensió màxima en compressió i la tensió màxima en tracció(Fig II.5.8) .

La tensió deguda al moment flector és igual a σ_b . Les tensions a les fibres extremes de l'ànima vénen donades per les següents expressions:

Fig II.5.8: Esquema de les tensions en distribució elàstica on s'observa Ψ

$$f_y = \sigma_b + \frac{N_w}{c \cdot t_w}$$

$$\Psi \cdot f_y = -\sigma_b + \frac{N_w}{c \cdot t_w}$$

On:

 N_w : La força axil que incideix a l'ànima

$$N_w = \frac{A_w}{A} \cdot N_{Ed}, y$$

On:

 A_w : Àrea de l'ànima (mm^2)A: Àrea de la secció (mm^2)

Per tant, les expressions anteriors es poden expressar com a :

$$f_y = \sigma_b + \frac{N_{Ed}}{A}$$

$$\Psi \cdot f_y = -\sigma_b + \frac{N_{Ed}}{A}$$

I sumant les expressions s'obté:

$$f_y + \Psi \cdot f_y = 2 \cdot \frac{N_{Ed}}{A}$$

$$f_y \cdot (1 + \Psi) = 2 \cdot \frac{N_{Ed}}{A}$$

I finalment:

$$\psi = \frac{1}{f_y} \cdot \left(\frac{2 \cdot N_{Ed}}{A} - 1 \right)$$

Degut a que en el càlcul d' ψ , hi intervenen els valors de les sol·licitacions es trobarà el seu valor per a cada una de les combinacions dels ELU.

ψ
0,0
0,0
0,0
0,0
0,1

Posició 1ª combinació: BK10

Calculats els paràmetres que influeixen en els límits d'esveltesa es realitza la classificació de la secció segons l'ànima.

Es construeixen les taules dels límits d'esveltesa de les classes de secció per a cada sol·licitació. Després es classificaran les seccions per a tots els tipus de sol·licitacions, i, al final, es classificaran segons la sol·licitació real en cada cas. A les taules s'indica per cada classe el valor límit d'esveltesa per sobre del qual la secció ja no es pot classificar dintre d'aquella classe.

En els casos de compressió i flexió simple només hi ha una taula, ja que els límits d'esveltesa no depenen del valor de les sol·licitacions.

Es construeix una taula on indica el valor mínim a partir del qual passa a ser d'aquella classe:

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
COMPRESSIÓ	0	27	31	35
FLEXIÓ	0	59	69	102

A partir dels valors obtinguts es realitza la classificació segons l'esveltesa de la secció:

compressió		Flexió simple	
CLASSE 4	4	CLASSE 1	1

En els casos de Flexocompressió i Flexotracció es realitzaran les taules dels límits per a cada combinació dels ELUs.

flexocompressió					
CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	SELECCIÓ	
0,0	57,3	66,0	51,1	0,0	CLASSE 1
0,0	57,1	65,8	51,1	0,0	CLASSE 1
0,0	57,3	66,0	51,1	0,0	CLASSE 1

flexotracció					
CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	SELECCIÓ	
0,0	57,6	66,4	#¡NUM!	0,0	CLASSE 1
0,0	57,5	66,2	#¡NUM!	0,0	CLASSE 1
0,0	57,6	66,4	#¡NUM!	0,0	CLASSE 1

Un cop classificada l'ànima per a cada classe de sol·licitació es procedeix a classificar l'ànima segons la sol·licitació en cada combinació dels ELU's.

Triant la classificació realitzada segons la sol·licitació real.

CLASSE DE SECCIÓ ANIMA		Nº DE CLASSE
FLEXOCOMPRESSIÓ	CLASSE 1	1
FLEXOCOMPRESSIÓ	CLASSE 1	1
FLEXOCOMPRESSIÓ	CLASSE 1	1

II.5.2.2.3.- CLASSIFICACIÓ D'ALES:

La classificació de les ales, al igual que les ànimes ve determinada per la geometria de la secció utilitzada així com per la sol·licitació a la que es veu sotmesa. Per tant, es classificarà l'ala en cada una de les combinacions d'hipòtesis dels Estats Límits Últims.

La classificació es realitza comprovant l'esveltesa (c/t) fig II.5.9 de la peça amb els límits d'esveltesa per a cada classe de secció.

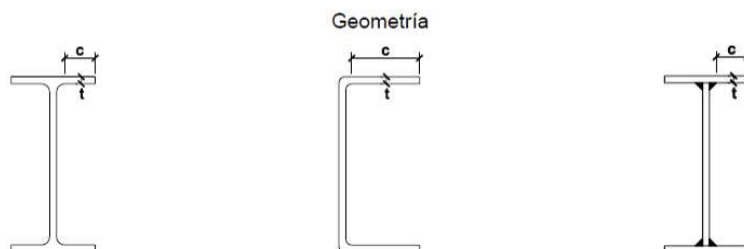


Fig II.5.9:- Representació de diferents tipus de perfils on es pot observar c i t de les ales.

Tots els passos per a la classificació de les ales es troben als fulls de comprovació dels ELU.

Per a la determinació de l'esveltesa de l'ala es realitza el càlcul:

$$c/t$$

on:

c: longitud total de l'ala

t: Gruix de l'ala

Esbelt. Ales
c/t
4

Esveltesa: CI5

Els límits d'esveltesa vénen limitats segons el tipus de sol·licitació (fig II.5.10), i vénen definits per una sèrie de càlculs.

Solicitación	Elemento plano	Límite de esbeltez: c/t máximo		
Compresión + Tracción -		Clase 1	Clase 2	Clase 3
Compresión		9ϵ	10ϵ	14ϵ
Flexocompresión; borde libre comprimido		$\frac{9\epsilon}{\alpha}$	$\frac{10\epsilon}{\alpha}$	$21\epsilon\sqrt{k_{\sigma_1}}$
Flexocompresión; borde libre traccionado		$\frac{9\epsilon}{\alpha^{1.5}}$	$\frac{10\epsilon}{\alpha^{1.5}}$	$21\epsilon\sqrt{k_{\sigma_2}}$

Fig II.5.10.- Límits d'esveltesa segons tipus de sol·licitació per ales.

Per tal de facilitar l'operació es realitzarà la classificació suposant sempre unes sol·licitacions de compressió, ja que es la situació més desfavorable. Aquesta simplificació, s'extreu d'uns exemples de càlcul de seccions obtinguts de la ITEA (99).

Igual que en la classificació de les ànimes es procedeix a crear una taula de selecció dels límits d'esveltesa de les ales:

LIMITS COMPRESSIÓ: cc!BM3

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
COMPRESSIÓ	0	7	8	12

A partir dels valors obtinguts es realitza la classificació segons l'esveltesa de la secció:

COMPRESSIÓ	
CLASSE 1	1

COMPRESSIÓ: cc!BK8

Finalment s'escull la classificació més desfavorable per a la secció entre la classificació de les ànimes i les ales.

S'escull la classificació per a cada combinació:

CLASSIFICACIÓ	
Nº DE CLASSE	TIPUS DE SECCIÓ
1	CLASSE 1
1	CLASSE 1
1	CLASSE 1
1	CLASSE 1

Situació 1ª combinació: CU11

II.5.2.2.- RESISTENCIA DE SECCIONS:

A) RESISTÈNCIA DE LES SECCIONS A TRACCIÓ I COMPRESSIÓ .

Com a resistència de les seccions a tracció $N_{t,Rd}$, i compressió, $N_{c,Rd}$, s'utilitzarà la plàstica de la secció bruta.

$$N_{t,Rd} \leq N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{pl,Rd}$: DQ9

Es calcula la resistència de la secció $N_{pl,Rd}$, i es relaciona amb la sol·licitació per obtenir el rendiment.

TRACCIÓ I COMPRESSIÓ AXIAL	
$N_{pl,Rd}$	
20265905 N	
η	
0,01	OK
0,01	OK

B) RESISTÈNCIA DE LES SECCIONS A TALLANT:

El tallant de càlcul V_{Ed} serà menor que la resistència de les seccions a tallant $V_{c,Rd}$. Aquesta serà igual a la resistència plàstica:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

On :

A_v : Area de la secció a tallant

Es realitzarà la comprovació per als dos eixos fort i feble, per tant, es realitzaran dues comprovacions a tallant.

$$V_{c,Rdy} > V_{Ed,y}$$

$$V_{c,Rdz} > V_{Ed,z}$$

On en el cas de $V_{c,Rdy}$:

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

On:

A: Area total (mm^2)

d: Longitud de l'ànima (mm)

t_w : Gruix de l'ànima (mm)

I per la seva part $V_{c,Rdz}$:

$$A_v = ht_w$$

On:

h: Cantell total de la secció,(mm)

Es calculen les àrees de tallant per els dos eixos de la secció:

$A_{v,y}$: **AL11**

$A_{v,z}$: **AM11**

$A_{v,y}$	$A_{v,z}$
mm^2	mm^2
1325	382,2

Es calcula la resistència plàstica per a cada eix i es realitzen les comprovacions:

$V_{c,Rdy}$: **EG9**

$V_{c,Rdz}$: **EI9**

TALLANT (V_c, R_d)			
$V_{c,Rdy}$		$V_{c,Rdz}$	
258600 N		74605 N	
η		η	
0,12	OK	0,00	OK
0,13	OK	0,00	OK

C) RESISTÈNCIA DE LA SECCIÓ A FLEXIÓ:

La resistència de les seccions a flexió, $M_{c,Rd}$, serà:

La resistència plàstica de la secció bruta per a seccions de classe 1 i 2:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd}$$

On:

W_{pl} : mòdul resistent plàstic corresponent a la fibra de major tensió.

La resistència elàstica de la secció bruta per a seccions de classe 3:

$$M_{el,Rd} = W_{el} \cdot f_{yd}$$

On:

W_{el} : mòdul resistent elàstic corresponent a la fibra de major tensió.

Degut a que es produeixen flexions en els dos eixos obtenim els valors de M_{Rdy} i M_{Rdz} , tant elàstic com plàstic.

$M_{el,Rdy}$:DS9

$M_{pl,Rdy}$:DU9

$M_{el, Rdy}$	$M_{pl, Rdy}$
17,57 kN·m	19,73 kN·m

$M_{el,Rdz}$:DX9

$M_{pl,Rdz}$:DZ9

$M_{el, Rdz}$	$M_{pl, Rdz}$
6,22 kN·m	9,62 kN·m

Es calculen els rendiments per a tots els casos de resistència a flexió, i s'escull el resultat segons el tipus de secció que correspon.

$M_{el, Rdy}$		$M_{pl, Rdy}$		$M_{c,Rdy}$
17,57 kN·m		19,73 kN·m		
η		η		
3,69	NO OK	3,29	NO OK	NO OK
4,44	NO OK	3,95	NO OK	NO OK
1,01	NO OK	0,90	OK	OK
0,05	OK	0,05	OK	OK

INTERACCIÓ D'ESFORÇOS EN SECCIONS:

D1) FLEXIÓ ESBIAXADA:

Apareix quan tenim simultàniament moments en els dos eixos de la secció: y i z.

Per a seccions de classe 1 i 2:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rdz}} \leq 1$$

Per a seccions de classe 3:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

Observant les dues equacions es pot observar que la comprovació correspon a la suma dels rendiments obtinguts en les comprovacions de resistència a flexió a eix y i z.

Es realitza la suma dels rendiments obtinguts en les comprovacions de resistència a flexió a l'eix y i z. Tenint en compte la classificació de la secció en cada cas.

FLEXIÓ ESVIADA:	
η	
0,30	OK
0,37	OK
0,18	OK
0,12	OK

Ubicació: EC11

D2) FLEXIÓ COMPOSTA SENSE TALLANT:

S'utilitzaran les formules d'interacció, de caràcter prudent, indicades a continuació:

Per a seccions de classe 1 i 2:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rdz}} \leq 1$$

Per a seccions de classe 3:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

Observant les dues equacions es pot observar que la comprovació correspon a la suma dels rendiments obtinguts en les comprovacions de resistència a tracció i de resistència a flexió a eix y i z.

Es realitza la suma dels rendiments obtinguts en les comprovacions de resistència a tracció i de resistència a flexió a eix y i z. Tenint en compte la classificació de la secció en cada cas.

Tracció composta sense tallant	
η	
0,35	OK
0,42	OK
0,23	OK
0,19	OK

Ubicació: EE11

D3) FLEXIÓ I TALLANT:

La secció ha estat comprovada a tallant segons l'apartat 6.2.4. Addicionalment si el tallant de càlcul V_{Ed} es major que la meitat de la resistència de la secció a tallant $V_{c,Rd}$ es comprovarà el moment flector de càlcul M_{Ed} enfront al resistent obtingut segons:

Per a seccions tipus I o H:

$$M_{V,Rd} = \left(W_{pl} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot f_{yd}$$

Resta de casos:

$$M_{V,Rd} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd}$$

on:

$$\rho = \left(2 \cdot \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

El primer pas correspon a calcular la meitat de la resistència a la secció a tallant $V_{c,Rd}$, Tant per l'eix y com z.

Es compara amb el valor de tallant de càlcul V_{Ed} , si es més gran no interaccionarà, i la cel·la marcarà "NO INTERACCIONA", en cas contrari marcarà "INTERACCIONA":

$V_{c,Rdy} * 0.5$: EK10

$V_{c,Rdz} * 0.5$: ES10

$V_{c,Rdy} * 0,5$
485461 N
NO INTER
NO INTER

Si el valor no interacciona es considera la comprovació per acabada amb un valor de rendiment igual a 0. I per tant OK.

Si el valor interacciona es realitza la comprovació, següent els passos següents:

Es calcula el valor de ρ per a cada eix i per a cada combinació:

Eix y:EM11

Eix z:EU11

ρ
0,90

S'utilitza per aquest cas una cel·la on apareix un "1" si ens trobem en el cas de seccions tipus I o H, un 2 si es tipus U o T i un 3 tipus L.

Ubicació: AN11

I o H

Es calcula el valor de $M_{V,Rd}$ considerant la diferencia entre les seccions tipus I o H amb la resta de casos en el càlcul abans esmentat. Així com el rendiment obtingut en relació amb el moment de càlcul per cada eix i la seva comprovació.

$M_{V,Rd y}$: **EN11**

$M_{V,Rd z}$: **EV11**

$M_{V,Rd z}$		
kN-m	η	
69,48	0,00	OK
69,48	0,00	OK

Comprovació eix y: ER11

Comprovació eix z: EZ11



II.5.2.3.- RESISTÈNCIA DE LES BARRES:

A) TRACCIÓ:

La resistència a tracció pura de la barra $N_{t,Rd}$ serà la resistència plàstica de la secció bruta, $N_{pl,Rd}$ calculada segons 6.2

B) COMPRESSIÓ:

La resistència de les barres a compressió $N_{c,Rd}$ no superarà la resistència plàstica de la secció bruta, $N_{pl,Rd}$ calcula segons 6.2 i serà menor que la resistència última de la barra a vinclament $N_{b,Rd}$, calculada segons el procediment següent:

Es comprovarà la resistència a vinclament en els dos plans en que pot flexionar la peça (eixos y i z). No es considerarà el vinclament per torsió.

La capacitat a vinclament per flexió, en compressió centrada i en barra de secció constant, es prendrà com:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

On:

A: Àrea de la secció transversal per les classes 1, 2 i 3.

X: Coeficient de reducció per vinclament.

N_{b,Rd} y: GA9

N_{b,Rd} z: FQ9

N _{b,Rd}	
1849472	N
η	
0,07	OK
0,07	OK

X: Coeficient de reducció per vinclament, per a valors d'esveltesa reduïda superiors a 0,2 s'obtenen de:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda}_k)^2}} \leq 1$$

X y: FP10

X z: FZ10

X _y
0,367

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_k - 0,2) + (\bar{\lambda}_k)^2 \right]$$

On:

α: es el coeficient d'imperfeció elàstica, que adopta els valors de la taula següent en funció de la corba de vinclament (fig II.5.11).

Esbeltez reducida Coeficiente (α) de imperfección	Curva de pandeo				
	a ₀	a	b	c	d
	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Fig II.5.11.- Valors de α segons la corba de vinclament

α y: FN10

α z: FX10

α
0,34

Ø y: FO10

Ø z: FY10

Ø
1,74

La corba de vinclament ve determinada en funció del tipus secció transversal, així com les seves mides i del tipus d'acer utilitzat.

A la fig II.5.12 i II.5.13 s'indiquen les corbes a utilitzar en el perfils introduïts al full:

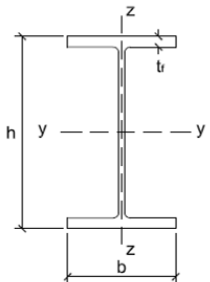
Tipo de sección	Tipo de acero		S235 a S355		S450	
	Eje de pandeo ⁽¹⁾		y	z	y	z
Perfiles laminados en I 	$h/b > 1,2$	$t \leq 40 \text{ mm}$	a	b	a_0	a_0
		$40 \text{ mm} < t \leq 100 \text{ mm}$	b	c	a	a
	$h/b \leq 1,2$	$t \leq 100 \text{ mm}$	b	c	a	a
		$t > 100 \text{ mm}$	d	d	c	c

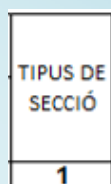
Fig II.5.12: Tipus de corbes segons el tipus perfil i dimensions.

Perfiles simples U, T, chapa, redondo macizo							
				c	c	c	c
Perfiles L				b	b	b	b

Fig II.5.13: Tipus de corbes segons el tipus perfil i dimensions.

Ja que la corba de vinclament depèn del tipus de secció s'utilitzarà el valor introduït a la taula de perfils que ens defineix el tipus de secció:

Tipus de secció :AN11



Seccions tipus I: Valor 1

Seccions tipus U,T : Valor 2

Seccions tipus L: Valor 3

En el cas de seccions tipus I, al tenir diferents corbes segons la geometria de la secció i el tipus d'acer utilitzat, es crea un buscador segons geometria de la secció i acer:

selecció de corba	
segons secció	segons acer
fulla "acer"	
10	2

Ubicació: FF7

A partir dels dos valors obtinguts es busca dins de taula anterior introduïda a: **ACER!A26**

taula6.2				y	z	y	z
I	h/b>1,2	t<40	1	a	b	a0	a0
		40<t<100	2	b	c	a	a
	h/b>1,2	t<40	10	b	c	a	a
		40<t<100	20	d	d	c	c

La selecció de la corba es troba a:

corba
b

Corba de vinclament eix y: FK10

Corba de vinclament eix z: FU10

L'esveltesa reduïda, que correspon a:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ y: FM10

λ z: FW10

λy
1,44

On:

N_{cr}: Compressió crítica de vinclament.

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k}\right)^2 \cdot E \cdot I$$

N_{cr} y: FL10**N_{cr} z: FV10**

N _{cr}
N
2,57E+06

On:

E: mòdul d'elasticitat

I: moment d'inèrcia de l'àrea de la secció per flexió al pla considerat

L_k: Longitud de vinclament de la peça

L_k: La longitud de vinclament de la peça, equivalent a la distància entre punts d'inflexió, es determina, per a peces de secció i axil constants. Aquesta longitud s'obté al multiplicar la longitud total de l'element per β (fig II.5.13).

Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	biempotrada desplazable	en ménsula
Longitud L _k	1,0 L	0,5 L	0,7 L	1,0 L	2,0 L

Fig II.5.13: Valors β a considerar L_k segons les unions de les barres

Els elements que utilitzaran aquesta taula seran les corretges tant de coberta com dels laterals, així com l'eix fort de les llindes. Ja que en els eixos febles s'usarà directament el valor de separació de corretges ja que aquestes eviten el vinclament.

Aquest càlcul es troba a les fulles de comprovacions: cc1, cc2 i cc4.

Càlcul de la β : **β :FH10**

β
0,7

La longitud de vinclament:

LK_y: FJ10**LK_z: FT10**

Lk,y
mm
14002,8

Els pilars dels pòrtics tindran una consideració diferent segons si es realitza l'anàlisi global de segon ordre o no. Per la longitud de vinclament en pilars de pòrtics

intralacionals o en els translacionals en els quals s'ha realitzat un anàlisi de segon ordre que no consideri imperfeccions dels propis pilars calcularem β com:

$$\beta = \frac{L_k}{L} = \frac{1 + 0,145 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,265 \cdot \eta_1 \eta_2}{2 - 0,364 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,247 \cdot \eta_1 \eta_2} \leq 1$$

Pels pilars de pòrtics translacionals i on no s'hagin considerat efectes de segon ordre, calcularem β com:

$$\beta = \frac{L_k}{L} = \sqrt{\frac{1 - 0,2 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,12 \cdot \eta_1 \eta_2}{1 - 0,8 \cdot (\eta_1 + \eta_2) + 0,6 \cdot \eta_1 \eta_2}} \geq 1$$

Els dos casos els coeficients d'imperfeció η_1 i η_2 s'obtenen de:

$$\eta_1 = \frac{K_c + K_1}{K_c + K_1 + K_{11} + K_{12}}$$

$$\eta_2 = \frac{K_c + K_2}{K_c + K_2 + K_{21} + K_{22}}$$

On:

K_c : Coeficient de rigidesa EI/L del pilar.

K_i : 0 (al ser d'una sola planta)

K_{ij} : Coeficient de rigidesa de la viga.

Pel que fa a l'eix dèbil s'usarà d'igual manera com a les llindes la separació de corretges, ja que aquestes eviten el vinclament en aquest eix.

Aquest pas només es troba en el full de comprovacions dels pilars: cc3.
Càlcul de les dues β :

Ubicació: cc3!FH10

β 2 ^o ordre	β 1 ordre
0,70	2,00

La longitud de vinclament:

L_{K,y}: FJ10

L_{K,z}: FT10

L _{K,y}
mm
14002,8

C) FLEXIÓ:

C1) BOLCADA LATERAL:

Es comprovarà que $M_{Ed} < M_{b,Rd}$, on $M_{b,Rd}$ és el valor de càlcul de la resistència enfront la bolcada lateral, aquest es podrà determinar d'acord amb la relació:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

On:

W_y : mòdul resistent de la secció, d'acord amb el tipus d'aquesta, es a dir:

$W_{pl,y}$: secció tipus 1 i 2.

$W_{el,y}$: secció tipus 3.

Es realitza la comprovació per a cada hipòtesis:

$M_{b,Rd}$: GL10

$M_{b,Rd}$		
KN.m	η	
465,1	0,42	OK

χ_{LT} : Factor de reducció de la bolcada lateral. Aquest es podrà determinar segons:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

On:

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + (\bar{\lambda}_{LT})^2 \right]$$

On:

α_{LT} : Factor d'imperfeció. (fig II.5.14)

Elemento	Límites	Curva de pandeo	α_{LT}
Perfil laminado con sección en doble T	$h/b \leq 2$	a	0,21
	$h/b > 2$	b	0,34
Elemento armado con sección en doble T	$h/b \leq 2$	c	0,49
	$h/b > 2$	d	0,76
Elementos con otras secciones	-	d	0,76

Fig II.5.14: Taula oferta per el CTE per establir les corbes i el factor d'imperfeció

$\bar{\lambda}_{LT}$ Esveltesa relativa enfront la bolcada lateral:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

Els tres factors següents es calculen per a cada hipòtesis:

χ_{LT} : GI11

λ_{LT} : GJ11

ϕ_{LT} : GK11

λ_{LT}	ϕ_{LT}	χ_{LT}
0,649	0,76	0,87

El factor d'imperfeció, com depèn del perfil, només es busca a partir del tipus de perfil i la seva geometria h/b.

a_{LT}
0,21

Per els perfils tipus I, es busca a partir de la taula introduïda a: acer!A26

taula6.2				y	z	y	z
I	h/b>1,2	t<40	1	a	b	a0	a0
		40<t<100	2	b	c	a	a
	h/b>1,2	t<40	10	b	c	a	a
		40<t<100	20	d	d	c	c

M_{cr} : Moment crític elàstic de bolcada lateral

$$M_{CR} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$$

M_{LTV} : Component de M_{cr} , que representa la resistència per torsió uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \frac{\pi}{L_c} \sqrt{GI_T EI_z}$$

On:

C_1 : factor que depèn de les condicions de suport i de la llei de moments flectors que sol·liciten. Per tal de simplificar l'operació es donarà el valor més desfavorable per a la comprovació que correspon al valor de 1.

L_c : Longitud de bolcada lateral (distància entre suports que impedeixen la bolcada lateral). Es considera el mateix valor de L_k de l'eix fort dels elements.

G: Mòdul d'elasticitat transversal

I_T : constant de torsió uniforme.

I_z : Moment d'inèrcia de la secció respecte l'eix z.

M_{LTW} : Component de M_{cr} , que representa la resistència per torsió no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \frac{\pi^2 E}{L_c^2} C_1 i_{f,z}^2$$

On:

$i_{f,z}$: radi de gir, respecte a l'eix de menor inèrcia de la secció, format per l'ala comprimida i la tercera part de la zona comprimida de l'ànima, adjacent a l'ala comprimida.

Càlcul de moment crític elàstic de bolcada lateral:

M_{cr} : **BD11**

M_{LTV} : **GE11**

M_{LTW} : **GF11**

M_{LTV}	M_{LTW}	M_{CR}
N-mm	N-mm	N-mm
1,79E+09	2,10E+08	1,80E+09

C_1 : **GH11**

C_1
2,7

C2) ABONYEGADURA DE L'ÀNIMA PER TALLANT:

No serà necessari comprovar la resistència a l'abulladura a les barres que compleixin.

$$\frac{d}{t} < 70 \cdot \varepsilon$$

On:

d: Altura de l'ànima(mm)

t: Gruix de l'ànima(mm)

ε : Factor de reducció:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Amb $f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2$

Només es realitza aquesta comprovació i s'indicarà si compleix o no.

d/t :GP10
70*ε: GQ10

d/t	70*ε	COMPROVACIÓ
9,111	65,92	OK

D) INTERACCIÓ ENTRE ESFORÇOS A PECES:

D1) ELEMENTS COMPRIMITS I FLECTATS:

El CTE indica tres fórmules per comprovar la interacció d'esforços, segons si les peces són sensibles o no a la torsió. Ja que no es realitzen comprovacions a torsió, es comprovaran les tres fórmules per operar sempre pel cantó de la seguretat:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \tag{6.51}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \tag{6.52}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yLT} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \tag{6.53}$$

Comprovacions de:

6.51:HD11

6.52:HF11

6.53:HH11

	6.51	6.52	6.52
η			
	0,24	0,17	0,21
	OK	OK	OK

On:

Els valors de A, W_y, W_z, α_y, α_z, e_{N,y} i e_{N,z} estan indicats segons el tipus de secció a la taula següent (fig II.5.15):

Clase	A*	W _y	W _z	α _y	α _z	e _{N,y}	e _{N,z}
1	A	W _{pl,y}	W _{pl,z}	0,6	0,6	0	0
2	A	W _{pl,y}	W _{pl,z}	0,6	0,6	0	0
3	A	W _{el,y}	W _{el,z}	0,8	1	0	0

Fig II.5.15: Valors de A, W_y, W_z, α_y, α_z, e_{N,y} i e_N, oferts per el CTE.

Els valors dels coeficients k_y i k_z es prendran segons el tipus de perfil utilitzat i la classificació de les seccions (fig II.5.16).

Clase	Tipo de sección	k _y	k _z	k _{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	0,6 + $\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1 - \frac{0,05 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

Fig II.5.16: Funcions per el càlcul dels coeficients k_y i k_z

Pels coeficients de moment flector uniforme equivalent C_{m,y}, C_{m,z} i C_{m,Lt}. Es pren un valor de 1 per trobar-nos sempre en el cantó de la seguretat.

Seleccions de α_y i α_z segons classificació de seccions:

α_y:HJ11

α_z:HK11

α _y	α _z
0,6	0,6

Càlcul de coeficients k_y i k_z:

k_y : HL11

k_z :HM11

k_{yLt} :HN11

k _y	k _z	k _{yLT}
----------------	----------------	------------------

Valors dels coeficients:

$C_{m,y}$: HO10

$C_{m,z}$:HP10

$C_{m,Lt}$:HQ10

$C_{m,y}$	$C_{m,z}$	$C_{m,LT}$
1	1	1

II.5.3.- ESTATS LÍMIT DE SERVEI:

Els estats límits de servei (ELS) tenen com a objectiu verificar el compliment de la exigència bàsica SE-2 d'Aptitud al servei.

- Evitant els danys en elements constructius no estructurals habituals, al limitar les deformacions acumulades des del moment de la seva posada en obra. (fletxa activa).
- Mantenint l'aparença geomètrica de l'estructura, limitant les desviacions per deformació total respecte de la geometria inicial.

Els estats límits a considerar son:

- Fletxes.
- Desplaçaments.

II.5.3.1.- FLETXES:

Quan es consideri la integritat dels elements constructius, s'admet que l'estructura horitzontal de la coberta és suficientment rígida; si per qualsevol de les seves peces, en qualsevol combinació de d'accions característiques, la fletxa relativa (fig II.5.16) és menor de: 1/300.

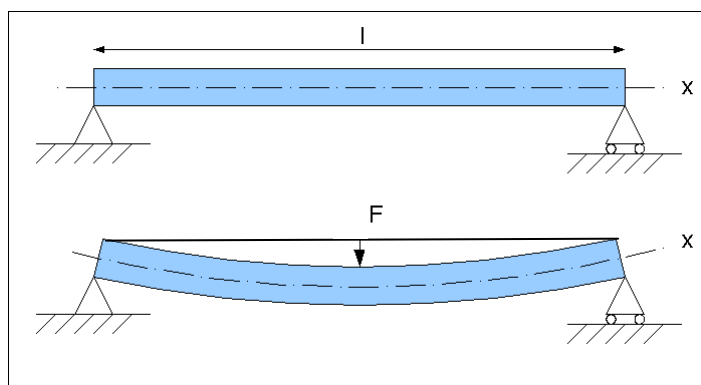


Fig II.5.16: Representació d'una fletxa en una biga.

Per tant, es calcularà la fletxa relativa en les corretges i els llindes per realitzar la comprovació.

Per el càlcul de les fletxes s'utilitzarà la següent fórmula:

$$f = k_3 \cdot pz \cdot 10^{-8} \cdot \frac{L^4}{I_y}$$

On:

K_3 : Coeficient tabulat segons el nombre de trams formats a la barra. (taula II.5.2)

Nº de trams	1	2	3	4	5	>5
K_3	6.2	2.48	3.22	3.01	3.07	3.05

Taula II.5.2: Coeficients oferts per Arguelles (2007)

Pz: Càrrega lineal sobre la barra, obtinguda a partir de la suma de les accions multiplicades per els coeficients parcials. (kN/m)

L: Longitud de la barra (mm)

I_y : Inèrcia de la secció (mm⁴)

S'enllacen els valors de les càrregues lineals obtinguts a partir d'aplicar els coeficients parcials (pz) a les fulles de comprovacions de cada barra:

Corretges de coberta: CORRETGES!AP36

Corretges laterals: CORRETGES2!AQ38

Llinda B: DINTELLS!AN228

Llinda C: DINTELLS!AN251

Enllaçades a:

Corretges de coberta: CC1!AG26

Corretges laterals: CC2!AX26

Llinda B: CC3!AG71

Llinda C: CC3!AG94

Es calculen tots els valors de les fletxes per a tots els casos de nombre de trams possibles, i, a partir del nombre real de trams, s'escull el valor que es considerarà en cada combinació.

	pz (KN/m)	nº de vanos	1	2	3	4	5	f (mm)	
			K_3	6.2	3.22	3.01	3.07		3.06
B	ELSØ1	-5.2	3	10.8	5.6	5.2	5.3	5.3	5.31
	ELSØ2	-8.0	4	16.7	8.6	8.1	8.2	8.2	8.22
	ELSØ3	-5.3	5	10.9	5.7	5.3	5.4	5.4	5.40
	ELSØ4	-4.4	6	9.2	4.8	4.5	4.6	4.6	4.56
	ELSØ5	-7.3	7	15.1	7.9	7.4	7.5	7.5	7.47
	ELSØ6	-4.5	8	9.4	4.9	4.6	4.7	4.7	4.66
	ELSØ7	-0.1	9	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.12
	ELSØ8	-4.8	10	10.1	5.2	4.9	5.0	5.0	4.97
	ELSØ9	-0.3	11	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.28
	ELSØ10	-8.5	12	17.7	9.2	8.6	8.8	8.7	8.73
	ELSØ11	-1.6	13	3.3	1.7	1.6	1.7	1.7	1.65
	ELSØ12	-4.4	14	9.2	4.8	4.5	4.6	4.6	4.56
	ELSØ13	-1.7	15	3.5	1.8	1.7	1.8	1.7	1.75
	ELSØ14	-0.9	16	1.8	1.0	0.9	0.9	0.9	0.91
	ELSØ15	-3.7	17	7.7	4.0	3.8	3.8	3.8	3.82
	ELSØ16	-1.0	18	2.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.00
	ELSØ17	3.4	19	7.2	3.7	3.5	3.6	3.5	3.54
	ELSØ18	-1.3	20	2.7	1.4	1.3	1.3	1.3	1.31
	ELSØ19	3.3	21	6.8	3.6	3.3	3.4	3.4	3.38

Fletxes calculades:

Corretges: CC1!AN26

Corretges laterals: CC2!AN26

Llinda B:CC3!AN70

Llinda C: CC3!AN93

A partir de les fletxes calculades a cada combinació, es busca el valor màxim a. La fletxa màxima admissible es podrà escollir segons criteri de l'usuari, aquesta vindrà donada per a la relació entre la longitud de la barra i un nombre introduït a la full de cada barra en qüestió:

Corretges: CORRETGES!O19

Corretges laterals: CORRETGES2!O19

Llindes : DINTELLS!V19

FLETXA	L / 250
---------------	----------------

A partir del valor màxim de les fletxes calculades i el valor de la fletxa màxima admissible es calcula el rendiment, aquest correspon a la relació entre la fletxa màxima calculada dividida per la fletxa màxima admissible. Si aquest és inferior a 1, es determina que es compleixen amb les sol·licitacions i es dona com a "OK", en cas contrari es donarà com a "NO OK". Es busca també en quina de les combinacions es genera la fletxa màxima per tal de reconèixer quines accions són les més desfavorables:

Comprovacions ELS:

Corretges: CC1!AT37

Corretges laterals: CC2!BK34

Llindes: CC3!AT90

Fletxa admis.	28,33		
Fletxa max.	25,38		
rend	0,90	OK	ELS Ø18

1

El resultat s'enllaça al full particular de cada barra, on s'indica el resultat final, si és correcte o no, el seu rendiment i la combinació més desfavorable:

Corretges: CORRETGES!Q19

Corretges laterals: CORRETGES2!Q19

Llindes : DINTELLS!X19

FLETXA	L / 250	OK	0,90	ELS Ø18
---------------	----------------	-----------	-------------	----------------

II.5.3.2.- DESPLAÇAMENTS:

Es comprovarà l'aparença global de l'estructura comparant que els desplaçaments dels nusos en totes les combinacions no superi uns límits tant en desplaçaments horitzontals com verticals.

II.5.3.2.1.- DESPLAÇAMENTS HORIZONTALS:

Es comprovarà que els desplaçaments horitzontals (Fig II.5.17), o sigui en l'eix global X, dels nusos B i D no superi el valor màxim establert. Aquest valor ve determinat per la relació entre l'alçada de la nau dividit per un valor a escollir per l'usuari. Per defecte, aquest serà 250.

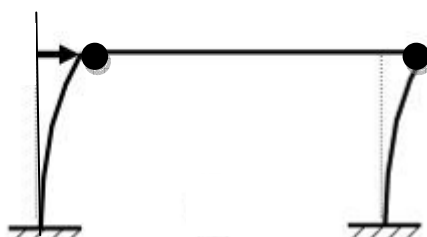


Fig II.5.17.- Representació dels desplaçaments horitzontals

El valor a introduir per l'usuari si es vol canviar l' introduït per defecte:

Valor: DINTELLS!P21

DESPL. HORIZ. H / 250

A partir del valor introduït es calcula el desplaçament relatiu màxim admissible en la comprovació. S'enllacen els desplaçaments de l'eix global X dels nusos B i D de la full del càlcul matricial en valor absolut, i es busca el valor màxim.

Admissible: DINTELLS!AJ280

Màxim calculat: DINTELLS!AR280

DESPLAÇAMENT HORIZONTAL

admissible 0,0360 > 0,0614 màxim

A partir d'aquest dos valor es calcula el rendiment, dividint el valor màxim dels desplaçaments per el valor màxim admissible. Si resultat d'aquesta relació es inferior a 1, es donarà com a correcte "OK" i en cas contrari no "NO OK".

Comprovació: DINTELLS!QR21

DESPL. HORIZ. H / 250 NO OK 1,70

II.5.2.2.2.- DESPLAÇAMENTS VERTICALS:

Es comprovarà que els desplaçaments verticals (Fig II.5.18), o sigui en l'eix Y global del nus C corresponent a la clau del pòrtic, no superi el valor màxim establert. Aquest valor ve determinat per la relació entre l'amplada o llum de la nau dividit per un valor a escollir per l'usuari. Per defecte, aquest serà $L/300$.

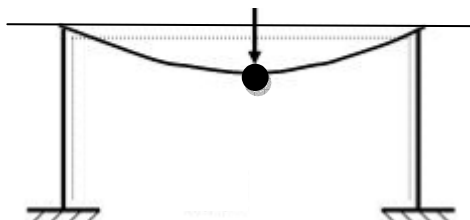


Fig II.5.18.- Representació dels desplaçaments verticals

El valor a introduir per l'usuari si es vol canviar l' introduït per defecte:

Valor: DINTELLS!P22

DESP. VERT L / 300

A partir del valor introduït es calcula el desplaçament relatiu màxim admissible en la comprovació. S'enllacen els desplaçaments de l'eix global Y del nus C de la full del càlcul matricial en valor absolut, i es busca el valor màxim.

Admissible: DINTELLS!AK275

Màxim calculat: DINTELLS!AM275

DESPLAÇAMENT VERTICAL DE LA CLAU

MAXIM 0,1 > 0,1654

A partir d'aquest dos valor es calcula el rendiment, dividint el valor màxim dels desplaçaments per el valor màxim admissible. Si resultat d'aquesta relació es inferior a 1, es donarà com a correcte "OK" i en cas contrari no "NO OK".

Comprovació: DINTELLS!QR22

DESP. VERT L / 300 **NO OK** 1,65

II.6.- CORRETGES:

Són els elements que uneixen els paraments exteriors de la nau amb l'estructura portant.

Diferenciarem entre:

CORRETGES DE COBERTA: S'uniran a les llindes per subjectar els tancaments de coberta

CORRETGES LATERALS: S'uniran als pilars per subjectar els tancaments laterals.



Fig II.6.1: Corretges de coberta



Fig II.6.2: Unions entre les corretges i el llinda

II.6.1.- CONSIDERACIONS

Es col·locaran longitudinalment al llarg de la nau.

La separació entre corretges sempre serà uniforme.

Es consideraran totes les instal·lades del mateix perfil.

Les unions entre les llindes o pilars amb les corretges sempre seran articulades.

Eixos de les corretges:

Considerarem eix fort (y) el que es perpendicular a l'ànima.

Considerem eix dèbil (z) el que es paral·lel a l'ànima.

Les corretges rebran les accions següents, considerades en (kN/m²):

Accions Permanents:

Pes dels paraments (acció vertical)

Pes propi (acció vertical)

Accions Variables:

Sobre carga d'ús. (acció vertical)

Vent (1,2 o 3) (acció perpendicular al parament)

Sobre carga de neu. (acció vertical)

II.6.2.- OPCIONS DE DISSENY

Tot i que el full calcula el nombre de corretges mínim que s'ha d'introduir, es poden fer variacions d'aquest valor. Així com la introducció de tirantets entre corretges per fixar l'eix dèbil. Aquests elements estan destinats a donar una major resistència a l'eix dèbil de les corretges. Son unes barres col·locades de corretja a corretja que fixen la posició i eviten la deformació de les mateixes. Aquests sempre es col·loquen equidistants entre ells.

Nº de corretges: CORRETGES!B5

▲	Nº DE CORRETGES PER COBERTA	4
▼	SEPARACIÓ ENTRE CORRETGES	2,59
	nº de vanos	6
	min	2,75

També es pot observar les separacions de corretges i la separació mínima segons el tipus de parament utilitzat.

Nº de tirantets: CORRETGES!J5

Nº DE TIRANTS	1	▲
SEPARACIÓ EN EIX DÈBIL	3,0 m	▼

En els dos casos es trien els valors utilitzant les fletxes del costat per augmentar o disminuir el nombre de corretges i tirantets.

Sèrie de perfils per realitzar el dimensionament.

L'opció de triar la sèrie de perfils es troba situada a : **corretges!C4**

PERFIL IPE ▼

Es podrà escollir el tipus d'acer a utilitzar dins els entrats al llibre de càlcul.

L'opció de triar el tipus d'acer es troba situada a : **corretges!C3**

ACER S275J0

Es podran escollir unions tant articulades com encastades entre les corretges. En cas d'escollir unions articulades, es podrà escollir el nombre de trams que existirà entre articulació i articulació.

L'opció de triar les fixacions entre corretges es troba situada a :
corretges!C3

NUSOS Empotrada/articulada

I el nombre de trams s'escull a: **corretges!C6**

nº de vanos 6

Podem no considerar alguna de les comprovacions i, així, fer el dimensionament amb les comprovacions desitjades. Aquesta opció només s'hauria de considerar en estudis de la influència de les comprovacions en el dimensionament i no en un dimensionament real.

L'opció de triar les fixacions entre corretges es troba situada a al costat de cada resultat de les comprovacions dins del quadre de resultats, mitjançant caselles de verificació.

Si considerem una comprovació, la casella haurà d'estar marcada:



En cas contrari:



II.6.2.- CÀLCULS:

II.6.2.1.- CÀLCUL DE SOL-LICITACIONS:

Es transformen les accions superficials en accions longitudinals que reben les corretges:

$$Q(\text{KN/m}^2) \cdot e = P(\text{KN/m})$$

On:

e : Separació entre corretges (m).

Es calculen les accions longitudinals a: **corretges AH6**

Accions longitudinals	PES PROPI	ÚS	VENT 1	VENT 2	VENT 3	NEU
	0,53	0,67	-3,62	0,29	-3,43	0,99

KN/m

Degut a l'angle de coberta i que les corretges no reben les forces verticals en un sol eix, per tant, s'ha de realitzar una separació de les forces que rep cada eix de la corretja (fig II.6.3).

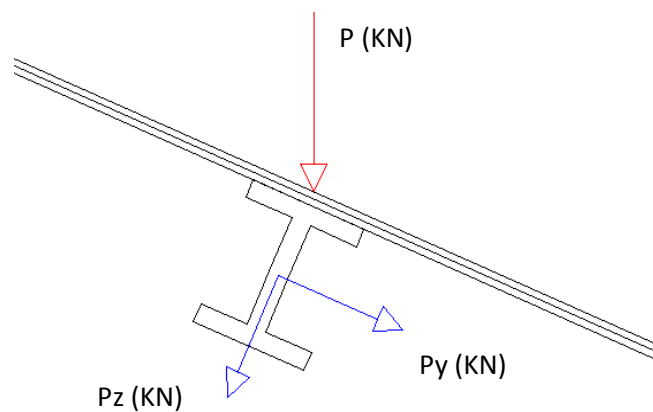


Fig II.6.3: Representació de la distribució d'una força vertical sobre els eixos de les corretges

Com es pot observar a l'esquema, on la força vertical (vermell) es considera descomposta en la suma de dos forces que actuen cada una en un eix del perfil (blau), equivalent a l'original,

Per obtenir la càrrega lineal que suporta cada eix es realitza el canvi d'eixos de les accions.

Les accions verticals es distribuïran en els dos eixos:

$$P_z = P \cdot \cos \alpha$$

$$P_y = P \cdot \sin \alpha$$

On:

α : Angle de l'eix local y respecte a l'eix horitzontal global

Per la seva banda, les accions perpendiculars a la coberta (Vent) es consideren totes sobre el mateix eix en concret al fort.

$$P_z = P$$

Les accions resultants per a cada eix: **corretges!AH9**

RESULTANTS	PES PROPI	ÚS	VENT 1	VENT 2	VENT 3	NEU
EIX FORT	0,53	0,67	-3,62	0,29	-3,43	0,99 KN/m
EIX DÈBIL	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,07 KN/m

Es realitza la suma de les accions per a cada eix considerant les hipòtesis dels Estats Límits Últims i dels Estats Límits de Servei:

Es multiplica cada acció per el seu coeficient i s'obté la resultant per a cada hipòtesis:

Resultants ELU (py i pz): corretges!AH16

ψ	PES PROPI	ÚS	VENT 1	VENT 2	VENT 3	NEU	pz	py
							KN/m	
ELU Ø1	1,35	1,5	0,9			0,75	-0,81	0,18
ELU Ø2	1,35	1,5		0,9		0,75	2,71	0,18
ELU Ø3	1,35	1,5			0,9	0,75	-0,63	0,18
ELU Ø4	1,35	1,5				0,75	2,45	0,18
ELU Ø5	1,35		0,9			1,50	-1,06	0,16
ELU Ø6	1,35			0,9		1,50	2,45	0,16
ELU Ø7	1,35				0,9	1,50	-0,89	0,16
ELU Ø8	1,35		1,5			0,75	-3,98	0,11
ELU Ø9	1,35			1,5		0,75	1,88	0,11
ELU Ø10	1,35				1,5	0,75	-3,69	0,11
ELU Ø11	0,8		1,5			0,00	-5,01	0,03
ELU Ø12	0,8			1,5		0,00	0,85	0,03
ELU Ø13	0,8				1,5	0,00	-4,72	0,03
ELU Ø14	1,35					1,50	2,20	0,16

Resultants ELS (py i pz): corretges!AH36

CARACTERISTIQUES	PES PRO	ÚS	VENT 1	VENT 2	VENT 3	NEU	pz	py
							KN/m	
ELS Ø1	1	1,0	0,6			0,5	-0,48	0,13
ELS Ø2	1	1,0		0,6		0,5	1,86	0,13
ELS Ø3	1	1,0			0,6	0,5	-0,37	0,13
ELS Ø4	1		0,6			1,0	-0,66	0,11
ELS Ø5	1			0,6		1,0	1,69	0,11
ELS Ø6	1				0,6	1,0	-0,54	0,11
ELS Ø7	1		1,0			0,5	-2,60	0,08
ELS Ø8	1			1,0		0,5	1,31	0,08
ELS Ø9	1				1,0	0,5	-2,41	0,08

AXIL SOL-LICITANT (N_{ed})::

En el cas de les corretges no es considerarà cap axil sol·licitant.

TALLANT SOL-LICITANT (V_{ed}):

El tallant sol·licitant per les corretges es calcula:

$$V_{y,Ed} = \frac{p_z \cdot s}{2}$$

$$V_{z,Ed} = \frac{p_y \cdot s}{2}$$

On:

s: Longitud del tram .Aquest pot ser diferent segons l'eix. En l'eix fort es considera la separació entre els pòrtics i l'eix dèbil es pot veure reduït amb si s'utilitzen tirantets.

Es calcula el tallant sol·licitant per a cada combinació d'hipòtesis:

$V_{y,Ed}$: CORRETGES!AT15

$V_{z,Ed}$: CORRETGES!AU15

$V_{y,ed}$	$V_{z,ed}$
N	N
3035,17	681,50
10204,90	681,50
2383,02	681,50
9235,59	681,50
3999,77	610,32
9240,30	610,32
3347,62	610,32
14979,96	403,73
7086,82	403,73
13893,05	403,73
18868,09	116,82
3198,69	116,82
17781,17	116,82
8270,99	610,32

Els valors s'enllacen directament a les fulles de comprovació dels Estats Límits.

MOMENT SOL·LICITANT (M_{ed}):

Al considerar les corretges com a bigues contínues sobre suports, se suposa que el moment més desfavorable es troba sobre el segon tram de la mateixa.

Pel càlcul d'aquest moment s'utilitzaran les següents equacions proposades per Argüelles (2007), que utilitza coeficients prefixats segons el nombre de trams que consta la corretja:

$$M_{y,Ed} = k_1 \cdot p_z \cdot s^2$$

$$M_{z,Ed} = k_2 \cdot p_y \cdot (s/n)^2$$

On:

K_1 i k_2 : Coeficients tabulats proposats per Argüelles (2007) que depenen del nombre de trams totals de la corretja (taules II.6.1 i II.6.2).

nº de vanos	1	2	3	4	5	6
Coeficients K_1	0,1250	0,1259	0,1000	0,1100	0,1052	0,1058

Taula II.6.1: Coeficients K_1 oferts per Arguelles (2007)

k2	2	3	4	5	6	7
1	0,125	0,125	0,1	0,1071	0,1052	0,1058
2	0,125	0,072	0,077	0,077	0,077	0,077
3	0,025	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
4	0,071	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083

Taula II.6.2: Coeficients K2 oferts per Arguelles (2007)

n : Nombre de tirantets o fixacions sobre l'eix dèbil.

El nombre de trams es pot considerar diferent segons si les barres es troben articulades o encastades als extrems :

-Si considerem que les corretges es troben encastades als extrems, el nombre de trams és igual al nombre de pòrtics més un.

-Si considerem que les corretges es troben articulades als extrems i, per tant, no hi ha transmissió de moments des d'una corretja a la següent. Es pot escollir el nombre de trams que tindran les corretges fins a la unió articulada.

A partir de 6 trams o més, es considera que ja no hi ha una variació apreciable del moment produït, així, només hi haurà canvi de moments sol·licitants entre 1 i 6 nombre de trams.

La selecció de les unions en extrems de barres s'escull a partir del quadre combinat "NUSOS":

Quadre combinat NUSOS : CORRETGES!C3

NUSOS

En el cas de considerar un extrem articulat en la unió de les corretges es pot introduir el nombre de trams a considerar a:

Nº de trams: CORRETGES!C6

nº de vanos

Per a les fixacions a l'eix dèbil es pot introduir a partir d'un control de nombre, el nombre de tirantets a introduir per cada vano de l'eix fort:

Nº de tirantets: CORRETGES!J5

Nº DE TIRANTS
SEPARACIÓ EN EIX DÈBIL

A partir del nombre de trams es fa la selecció dels coeficients k_1 .

Taula coeficients k_1 : CORRETGES!BA14

nº de vanos	1	2	3	4	5	6
Coefficients K1	0,1250	0,1259	0,1000	0,1100	0,1052	0,1058

Coefficient k_1 : CORRETGES!AW13

EIX FORT	
k1	0,1058

A partir del nombre de trams i el nombre de tirantets es fa la selecció dels coeficients k_2 .

Taula coeficients k_2 : CORRETGES!AZ17

nº de vanos	1	2	3	4	5	6
k2	2	3	4	5	6	7
1	0,125	0,125	0,1	0,1071	0,1052	0,1058
2	0,125	0,072	0,077	0,077	0,077	0,077
3	0,025	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
4	0,071	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083
	0,125	0,072	0,077	0,077	0,077	0,077

selecció segons nº de tirantilles

Coefficient k_1 : CORRETGES!AY13

EIX DÈBIL	
k2	0,077

Es calcula el moment sol·licitant per a cada combinació d'hipòtesis:

$M_{y,Ed}$: CORRETGES!AV15

$M_{z,Ed}$: CORRETGES!AX15

$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
KN.m	KN.m
3,14	0,13
10,57	0,13
2,47	0,13
9,57	0,13
4,14	0,12
9,57	0,12

Els valors s'enllacen directament a les fulles de comprovació dels Estats límits.

II.6.2.2.- COMPROVACIONS

Els esforços sol·licitants calculats anteriorment s'enllacen als fulls de comprovacions.

Cc1: Per a les corretges de coberta.

Cc2: Per a les corretges laterals.

De les comprovacions realitzades dins els fulls de comprovacions se n'obtenen diferents resultats, tals com:

Resultat de cada comprovació

El rendiment màxim. Que es defineix com el valor màxim de la sol·licitació dividit per el valor de la comprovació pertinent. Per tant, és el tant per 1 de la sol·licitació sobre el seu límit.

La combinació o combinacions dels estats límits (ELU o ELS) on es produeix el rendiment màxim.

La taula de resultats de les comprovacions:

RESULTATS			η	E.L.U.
Tracció ($N_{s,Rd}$) i compressió ($N_{c,Rd}$)		OK		
Flexió simple ($M_{c,Rd}$):	fort	OK	0,71	ELU ó7_ ELU ó10_
	dèbil	OK	0,11	ELU ó1_ ELU ó2_ ELU ó3_ ELU ó4_ ELU ó5_ ELU ó6_ ELU ó7_
Flexió esviada		OK	0,83	ELU ó7_
Tracció /compressió excèntrica		OK	0,83	ELU ó7_
Tallant ($V_{s,Rd}$):	fort	OK	0,01	ELU ó7_ ELU ó10_
	dèbil	OK	0,00	ELU ó1_ ELU ó2_ ELU ó3_ ELU ó4_ ELU ó5_ ELU ó6_ ELU ó7_
Flexió i tallant:	fort	OK		
	dèbil	OK		
Pendeig per flexió:	fort	OK		
	dèbil	OK		
Abolladura de l'anima per tallant		OK		
Pandeig per volcada lateral:		OK	0,76	ELU ó7_ ELU ó10_
Elementos comprimidos y flectados		OK	0,76	ELU ó7_
				E.L.S.
FLETXA	L / 250	OK	0,62	ELS ó16

Comprovació : M

Indica el nom de la comprovació que es duu a terme.

Resultat comprovació: P

Indica mitjançant un "OK" en fons verd l'aprovació de la comprovació i amb un "NO OK" amb fons vermell el refús de la comprovació.

Rendiment màxim : Q

Indica el valor màxim del rendiment obtingut entre totes les combinacions en aquesta comprovació.

Combinació més desfavorable : R

Indica en quina o quines combinacions s'obté el valor màxim de rendiment, per tant, la més desfavorable.

El perfil seleccionat i les característiques globals de la instal·lació de corretges apareixen indicades a:

IPE 140	
Longitud	1190 m
Pes Total	15351 Kg
Pes superficial	9,0 Kg/m ²

Perfil seleccionat: F10
Longitud total de corretges: G12
Pes total de les corretges: G13
Pes per metre quadrat de les corretges: G14

II.6.3.- DIMENSIONAT

II.6.3.1.- SELECCIÓ DEL PERFIL MANUAL:

Per a seleccionar el perfil a comprovar de manera manual:

El primer pas és seleccionar el tipus de perfil, utilitzant el quadre combinat "PERFIL TIPUS" on apareixen totes les famílies de perfils introduïdes dins el full de PERFILS.

Quadre combinat PERFIL TIPUS: E9

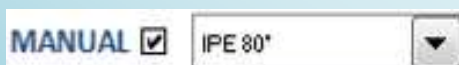


Per a seleccionar el perfil a comprovar de manera manual s'ha de tenir activada la casella de verificació "MANUAL".

I utilitzant el quadre combinat que es troba a la seva dreta seleccionar el perfil desitjat:

Casella de verificació MANUAL: C10

Quadre combinat MANUAL: E10



II.6.3.2.-DIMENSIONAMENT AUTOMÀTIC:

Per la optimització de les corretges apareixen dos factors claus: El nombre de les mateixes i el seu perfil.

Realitzar la comprovació manual del perfil apropiat per a cada nombre de corretges, tenint en compte també la separació mínima de corretges segons el tancament utilitzat pot ser una tasca massa lenta. Però, realitzant la programació apropiada amb Visual Basic podem obtenir la millor opció en el nostre cas d'estudi.

Es realitzarà la programació d'una macro que a partir d'un mínim i un màxim nombre de corretges a escollir per l'usuari comprovi quin és el perfil més lleuger que compleix amb les sol·licitacions dins d'un tipus de perfils.

S'escull el rang de comprovació del nombre de corretges que realitzarà la macro.

Mínim: F5

Màxim: F6

Rang
2
20

Es tria el nombre de fixacions sobre l'eix dèbil que es tindran en conte. Es selecciona el tipus de perfil, utilitzant el quadre combinat "PERFIL TIPUS" on apareixen totes les famílies de perfils introduïdes dins la full PERFILS.

Quadre combinat PERFIL TIPUS: E9

PERFIL TIPUS IPE

Per a realitzar el dimensionament automàtic s'ha de tenir desactivada la casella de verificació "MANUAL".

Casella de verificació MANUAL: C10

MANUAL

Es clica sobre el botó DIMENSIONA que activa la macro i el programa procedeix a realitzar els càlculs.

Botó DIMENSIONA:



Finalitzats els càlculs apareix en pantalla una finestra indicant la finalització dels mateixos:



La programació deixa per defecte la combinació de nombre de corretges i perfil que resulta menys pesat de totes les combinacions. Respectant també la separació mínima de corretges segons el tancament.

Ofereix també el perfil òptim per a cada nombre de corretges comprovat des del mínim fins al màxim. També realitza una taula on es pot observar el nombre de corretges, la separació entre corretges, el perfil òptim i el pes total de d'instal·lació de corretges:

Nº de corretges: E15

Separació entre corretges: F15 aquestes apareixeran en color vermell si es troben per sota de la separació mínima recomanada per el tancament utilitzat

Perfil: G15

Pes total: H15

nº	Separació (m)	Perfil	Pès (Kg)
2	10,03	IPE 270	12274
3	5,01	IPE 220	13362
4	3,34	IPE 180	12784
5	2,51	IPE 180	15980
6	2,01	IPE 160	16116
7	1,67	IPE 140	15351
8	1,43	IPE 140	17544

II.6.3.2.1.- RUTINA:

Per a la realització de la rutina s'han de tenir en compte diferents cel·les que queden ocultes a l'usuari però que sense la seva intervenció no seria possible la programació:

Cel·la d'acceptació o refús del perfil: G9 En aquesta cel·la apareix un 2 en cas de que es compleixin totes les comprovacions realitzades al perfil i, un 1, en cas que una o més no es compleixin.

Nº de referència del perfil més baix del tipus de perfils: D10

Nº de referència del perfil més alt del tipus de perfils: E10

Nº de referència del perfil a comprovar: E9 es el nombre que passa a la full de comprovacions.

```
Private Sub CommandButton1_Click()
```

```
Dim i, j, m, n As Integer
```

```
Range("e16:h33").ClearContents
```

```
i = Range("d10")
```

```
j = Range("e10")
```

```
pes = 1000000000
```

```
Z = 1
```

```
m = i
```

```
n = 1
corretges = Range("f5")
limit = Range("f6")
While corretges < limit And Z < (limit)
    Range("e5") = corretges
    While n < 2 And m <= j
        Range("e9") = m
        n = Range("g9")
        m = m + 1
    Wend
    f pes > Range("g13") And Range("e6") < Range("e7") Then
        noco = Range("e5")
        nope = Range("e9")
        pes = Range("g13")
    End If
    Range("e16:e35").Cells(Z, 1) = Range("e5")
    Range("f16:f35").Cells(Z, 1) = Range("e6")
    Range("g16:g35").Cells(Z, 1) = Range("f10")
    Range("h16:h35").Cells(Z, 1) = Range("g13")
    Z = Z + 1
    corretges = corretges + 1
    m = i
    n = 1
Wend
    Range("e9") = nope
    Range("e5") = noco
    If Range("G9") = 2 Then
        MsgBox "PerfilS dimensionat"
    Else
        MsgBox "No hi ha cap perfil que compleixi amb les sol·licitacions"
    End If
End Sub
```

II.7.- PÒRTICS:

En aquest treball s'han estudiat els pòrtics a dues aigües realitzats amb perfils comercials d'ànima plena (fig II.7.1).



Fig II.7.1: Exemple de pòrtics a dos aigües d'ànima plena

Per a la determinació de les sol·licitacions s'ha utilitzat el mètode de la rigidesa o matricial, un mètode de càlcul general que permet trobar els esforços i els desplaçaments d'estructures formades per barres.

II.7.1.- CONSIDERACIONS

Aquests pòrtics estan formats per quatre barres, dos pilars i dos llindes.

Les barres rebran el nom de (fig II.7.2)

Pilar a i pilar d.

Llinda b i llinda c.

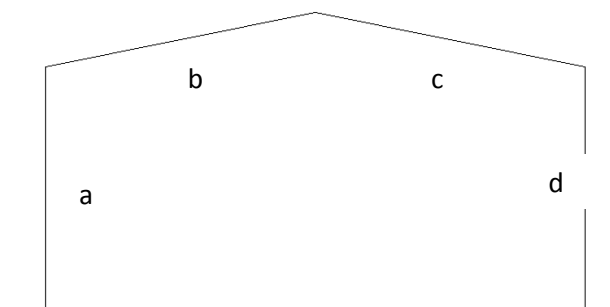


Fig II.7.2: Representació del pòrtic indicant el nom de cada barra

Estaran unides per els nusos (fig II.7.3):

A: peu del pilar a

B: Nus entre el cap del pilar a i llinda b.

C: Nus entre llinda b i llinda c.

D: Nus entre llinda c i cap del pilar d.

E: Peu del pilar d.

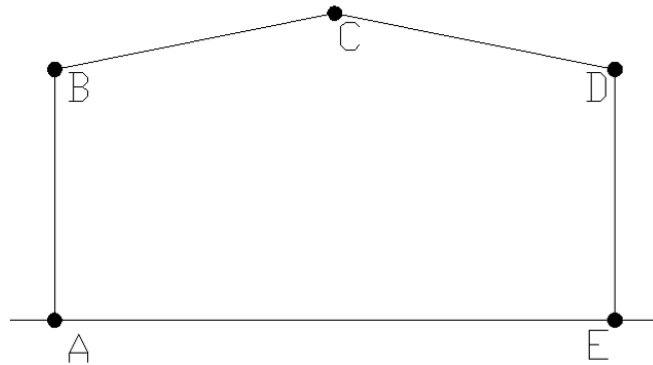


Fig II.7.3: Representació del pòrtic indicant el nom de cada nus.

Els llindes rebran les accions següents, considerades en (kN/m^2):

Accions Permanents:

Pes dels panells de coberta (acció vertical)

Pes de les corretges de coberta (acció vertical)

Pes propi (acció vertical)

Accions Variables:

Sobre carga d'ús. (acció vertical)

Vent (1,2 o 3) (acció perpendicular a la coberta)

Sobrecàrrega de neu. (acció vertical)

Els pilars rebran les accions següents, considerades en (kN/m^2):

Accions Permanents:

Pes de les façanes (acció vertical)

Pes de les corretges laterals (acció vertical)

Pes propi (acció vertical)

Accions Variables:

Vent (1,2 o 3) (acció perpendicular a la façana)

La direcció de les barres es considera (Taula 7.1 i fig II.7.3):

BARRA	NUS INICIAL	NUS FINAL
a	A	B
b	B	C
c	D	C
d	E	D

Taula II.7.1: Nusos d'inici i fi segons els eixos locals de cada barra

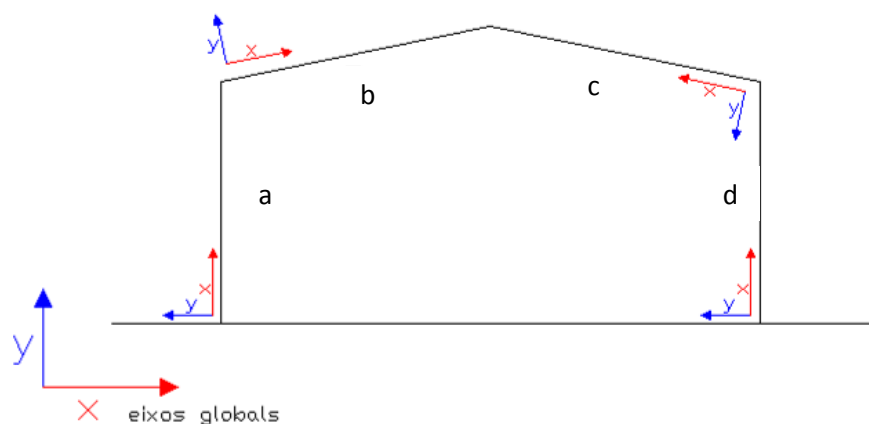


Fig II.7.3: Representació dels eixos locals de cada barra respecte als eixos globals

II.7.2.- OPCIONS DE DISSENY:

Sèrie de perfils per a realitzar el dimensionament

L'opció de triar la sèrie de perfils per separat dels pilars i dels llindes

Pilars: **llindes!N4**

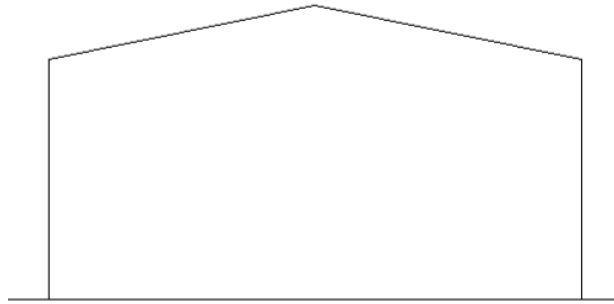
Pilars: **llindes!T4**

Es podrà escollir el tipus d'acer a utilitzar:

L'opció de triar el tipus d'acer es troba situada a : **llindes!C3**

Es podrà escollir les unions entre les barres dels pòrtics per aconseguir tres configuracions diferents.

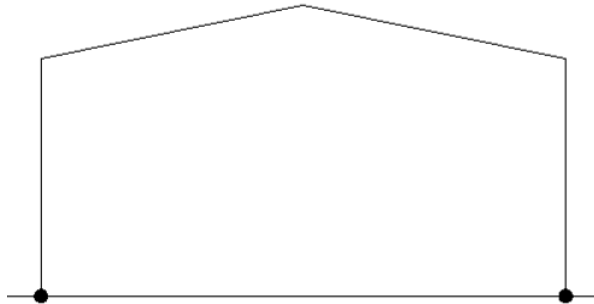
Pòrtics Rígid: Tots els nusos son rígid i transmeten tant tallants com moments(fig II.7.4):.



● ARTICULACIÓ

Fig II.7.4: Representació d'un pòrtic rígid

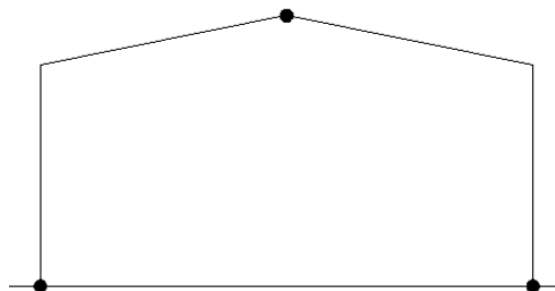
Pòrtics biarticulats: Els nusos rígid tret dels peus del pilars on es consideren articulacions (fig II.7.5).



● ARTICULACIÓ

Fig II.7.5: Representació d'un pòrtic biarticulat

Pòrtics triarticulats: Només es consideren rígid els caps dels pilars i la resta son articulacions(fig II.7.6).



● ARTICULACIÓ

Fig II.7.6: Representació d'un pòrtic triarticulat

El tipus de pòrtic s'escull al full de dimensionament dels mateixos amb el quadre combinat NUSOS:

Quadre combinat NUSOS : DINTELLS!C3

NUSOS 

A partir de l'elecció del quadre combinat s'obtenen els valors que ens permeten diferenciar els diferents tipus de pòrtics.

II.7.2.- CÀLCULS:

II.7.2.1.- ANÀLISI DE PRIMER ORDRE:

Les accions superficials es passen a forces lineals sobre les barres a partir de la separació entre pòrtics i, així, obtenim les forces que ha de suportar cada una.

$$Q(\text{KN/m}^2) \cdot s = P(\text{KN/m})$$

On:

s : Separació entre pòrtics

Es parteix de les accions per unitat de superfície a considerar a cada barra, que es troben a: **dintells!AJ6**

BARRA	ACCIONS (KN/m ²)					
	P.PROPI	ÚS	VENT 1	VENT 2	VENT 3	NEU
A	0,54		0,86	0,86	-0,68	
B	0,54		-0,41	-0,41	-0,68	
C	0,52	0,4	-0,88	-0,85	-0,75	0,60
D	0,52	0,4	0,08	0,01	-0,75	0,60

El pes propi s'obté amb la suma dels pesos a suportar de cada pla de tancament, considerant també els pilars i llindes dividit per la superfície total del tancament.

Es calculen les accions sobre les barres per a cada barra a partir de la separació entre pòrtics:

Barra a: dintells!AJ11

Barra b: dintells!AJ50

Barra c: dintells!AJ69

Barra d: dintells!AJ31

	BARRA A						KN/m ²
	P.PROPI	ÚS	VENT 1	VENT 2	VENT 3	NEU	
Separació pòrtics	-0,54	0,00	-0,86	-0,86	0,68	0,00	KN/m ²
6,1 m	-3,27	0,00	-5,24	-5,24	4,11	0,00	KN/m

Per trobar les sol·licitacions que han de suportar les barres s'utilitzarà la metodologia del càlcul matricial. Per aquest motiu, cal descompondre les forces que actuen sobre les barres en els dos eixos locals de les barres:

Eix X: Forces en la direcció de la barra.

Eix Y: Forces perpendiculars a la barra.

Es realitza la separació de les forces en els dos plans per a cada una de les combinacions d'accions considerades.

Les forces en l'eix X:

Es calcula la força resultant total per metre lineal de la barra.

$$P_x = P \cdot \sin\alpha$$

On:

α : Angle de l'eix X local y respecte a l'eix X global (correspon a l'angle de coberta)

Les forces en l'eix Y:

Es calcula la força resultant per metre lineal de la barra.

$$P_y = P \cdot \cos\alpha$$

On:

α : Angle de l'eix X local y respecte a l'eix X global (correspon a l'angle de coberta)

Les forces resultants en els dos eixos es calculen a:

Barra a: p_x : dintells!AQ15

p_y : dintells!AR15

Barra b: p_x : dintells!AQ53

p_y : dintells!AR53

Barra c: p_x : dintells!AQ72

p_y : dintells!AR72

Barra d: p_x : dintells!AQ34

p_y : dintells!AR34

	PES PROPI	ÚS	VENT 1	VENT 2	VENT 3	NEU	p_x (KN/m)	p_y (KN/m)
1	1,35	1,5	0,9			0,75	4,41	-4,72
2	1,35	1,5		0,9		0,75	4,41	-4,72
3	1,35	1,5			0,9	0,75	4,41	3,70
4	1,35	1,5				0,75	4,41	0,00
5	1,35		0,9			1,50	4,41	-4,72
6	1,35			0,9		1,50	4,41	-4,72
7	1,35				0,9	1,50	4,41	3,70
8	1,35		1,5			0,75	4,41	-7,86
9	1,35			1,5		0,75	4,41	-7,86
10	1,35				1,5	0,75	4,41	6,16
11	0,8		1,5			0,00	2,62	-7,86

II.7.2.1.2.-CÀLCUL MATRICIAL:

Els pòrtics al estar formats per quatre elements diferents, dos pilars i dos llindes i, el fet que degut a la seva conformació es poden produir desplaçaments en els seus nusos, per a realitzar el càlcul dels esforços sol·licitants aplicarem el mètode matricial.

El càlcul matricial està concebut per a calcular els esforços en extrems de barres en estructures carregades als nusos.

En realitat, les estructures que es calcularan estan carregades uniformement sobre les barres, per resoldre l'estructura, aplicarem el mètode descrit per J. M. Iglesias et al (1996).

Quan ens trobem en el cas de cargues concentrades o uniformement repartides a les barres de l'estructura es pot realitzar el càlcul de sol·licitacions mitjançant la superposició de dos estats:

A) ESTAT I.

Aquest primer pas, el que busca es calcular uns esforços que aplicats sobre els nusos provoquin la mateixa situació de desplaçaments dins l'estructura. Considerant cada barra com a independent i, sense possibilitat de desplaçament, o sigui, encastada als seus extrems, es calculen les reaccions (axial, tallant i moment) que apareixen als extrems de cada barra degudes a les accions que actuen sobre elles.

Degut a que els esforços en extrems de les barres varien segons el tipus de vinculació dels seus extrems es calcularan les reaccions que es produeixen els casos de:

Barres Biarticulades

Barres biencastades

Barres articulades/encastades.

Una vegada seleccionat el tipus de pòrtic a dimensionar queden determinades les vinculacions dels extrems de les barres que el configuren i, per tant, les reaccions a utilitzar en el càlcul:

AXIL (F_x)

No hi ha diferencia entre els tres casos de barres i es considera:

$$F_x = p_x \cdot \frac{L}{2}$$

On:

L: Longitud de la barra (m)

TALLANT (F_y):

Barres biarticulades i biencastades: $F_y = p_y \cdot \frac{L}{2}$

Barres amb un nus articulat i l'altre encastat:

$$\text{Nus articulat: } Fy = 3 \cdot py \cdot \frac{L}{8}$$

$$\text{Nus encastat: } Fy = 5 \cdot py \cdot \frac{L}{8}$$

MOMENT (M):

$$\text{Barres biencastades: } M = py \cdot \frac{L^2}{12}$$

$$\text{Barres articulades: } M = 0$$

Barres un nus articulat i l'altre encastat:

$$\text{Nus articulat: } M = 0$$

$$\text{Nus encastat: } M = py \cdot \frac{L^2}{8}$$

El càlcul de tallants i moments, al ser diferent segons el tipus de vinculació dels extrems de les barres, es calcularan per a totes les possibilitats i es farà servir la que correspongui en cada cas:

Tallants barra A : dintells!AS15

Tallants barra B : dintells!AS43

Tallants barra C : dintells!AS72

Tallants barra D : dintells!AS34

TALLANT (KN)			
BIENCASTADES	BIARTICULADA	ARTI/ENCAST (nus ARTIC)	ARTI/ENCAST (nus ENCAST)
19,45	19,45	14,6	24,3
19,45	19,45	14,6	24,3
-15,26	-15,26	-11,4	-19,1
0,00	0,00	0,0	0,0
19,45	19,45	14,6	24,3
19,45	19,45	14,6	24,3
-15,26	-15,26	-11,4	-19,1
32,42	32,42	24,3	40,5
32,42	32,42	24,3	40,5
-25,43	-25,43	-19,1	-31,8
32,42	32,42	24,3	40,5
32,42	32,42	24,3	40,5
-25,43	-25,43	-19,1	-31,8
0,00	0,00	0,0	0,0

Moments barra A : dintells!AW15

Moments barra B : dintells!AS72

Moments barra C : dintells!AS53

Moments barra D : dintells!AS34

MOMENT (KN.m)			
BIENCASTADES	BIARTICULADA	ARTI/ENCAST (nus ARTIC)	ARTI/ENCAST (nus ENCAST)
26,75	0	0	40,1
26,75	0	0	40,1
-20,98	0	0	-31,5
0,00	0	0	0,0
26,75	0	0	40,1

En funció del tipus de pòrtic escollit, se seleccionen les reaccions a considerar a cada nus. F_x , F_y i M per cada una de les combinacions d'accions considerades:

Reaccions barra A:

Nus A: dintells!BB15

Nus B: dintells!BE15

Reaccions barra B: :

Nus B: dintells!BB53

Nus C: dintells!BE53

Reaccions barra C: :

Nus D: dintells!BB72

Nus C: dintells!BE72

Reaccions barra D: :

Nus E: dintells!BB34

Nus D: dintells!BE34

A			B		
FXA	FYA	MA	FXB	FYB	MB
18,2	19,45	26,75	18,2	19,45	-26,75
18,2	19,45	26,75	18,2	19,45	-26,75
18,2	-15,26	-20,98	18,2	-15,26	20,98
18,2	0,00	0,00	18,2	0,00	0,00
18,2	19,45	26,75	18,2	19,45	-26,75
18,2	19,45	26,75	18,2	19,45	-26,75
18,2	-15,26	-20,98	18,2	-15,26	20,98
18,2	32,42	44,58	18,2	32,42	-44,58
18,2	32,42	44,58	18,2	32,42	-44,58
18,2	-25,43	-34,97	18,2	-25,43	34,97
10,8	32,42	44,58	10,8	32,42	-44,58
10,8	32,42	44,58	10,8	32,42	-44,58
10,8	-25,43	-34,97	10,8	-25,43	34,97
18,2	0,00	0,00	18,2	0,00	0,00

Les reaccions obtingudes amb els càlculs anteriors es troben en eixos locals de cada barra, per realitzar la suma de les reaccions en cada nus s'han de passar a reaccions en eixos globals de l'estructura.

Tenint en compte l'angle que formen els eixos locals de cada barra i els globals s'obtenen les reaccions a cada nus en eixos globals F_x , F_y i M :

Reaccions barra A:

Nus A: dintells!BI15

Nus B: dintells!BL15

Reaccions barra B: :

Nus B: dintells!BI53

Nus C: dintells!BN53

Reaccions barra C: :

Nus D: dintells!BI72

Nus C: dintells!BN72

Reaccions barra D: :**Nus E: dintells!BI34****Nus D: dintells!BL34**

A			B		
FXA	FYA	MA	FXB	FYB	MB
18,2	19,45	26,75	18,2	19,45	-26,75
18,2	19,45	26,75	18,2	19,45	-26,75
18,2	-15,26	-20,98	18,2	-15,26	20,98
18,2	0,00	0,00	18,2	0,00	0,00
18,2	19,45	26,75	18,2	19,45	-26,75
18,2	19,45	26,75	18,2	19,45	-26,75
18,2	-15,26	-20,98	18,2	-15,26	20,98
18,2	32,42	44,58	18,2	32,42	-44,58
18,2	32,42	44,58	18,2	32,42	-44,58
18,2	-25,43	-34,97	18,2	-25,43	34,97
10,8	32,42	44,58	10,8	32,42	-44,58
10,8	32,42	44,58	10,8	32,42	-44,58
10,8	-25,43	-34,97	10,8	-25,43	34,97
18,2	0,00	0,00	18,2	0,00	0,00

Es realitza la suma de reaccions a cada nus:

Reaccions Nus A: dintells!BP15**Reaccions Nus B: dintells!BS15****Reaccions Nus C: dintells!BV15****Reaccions Nus D: dintells!BY15****Reaccions Nus E: dintells!CB15**

A		
FxA	FyA	MA
-19,45	18,2	26,75
-19,45	18,2	26,75
15,26	18,2	-20,98
0,00	18,2	0,00
-19,45	18,2	26,75
-19,45	18,2	26,75
15,26	18,2	-20,98
-32,42	18,2	44,58
-32,42	18,2	44,58
25,43	18,2	-34,97
-32,42	10,8	44,58
-32,42	10,8	44,58
25,43	10,8	-34,97
0,00	18,2	0,00

Amb la suma d'aquestes reaccions a cada nus obtenim les reaccions provocats a cada nus $\{R_i\}$ per les accions. Aquestes reaccions, canviades de signe (fig II.7.7), són les accions que actuen als nusos a l'Estat II $\{F\}$.

Aquestes accions $\{F\}$ sobre els nusos no són equivalents a les accions sobre les barres ja que apareixen unes forces d'encastament al no considerar desplaçaments a les barres. Aquestes forces seran eliminades posteriorment al realitzar la suma entre els esforços obtinguts a l'ESTAT II i les reaccions de l'ESTAT I.

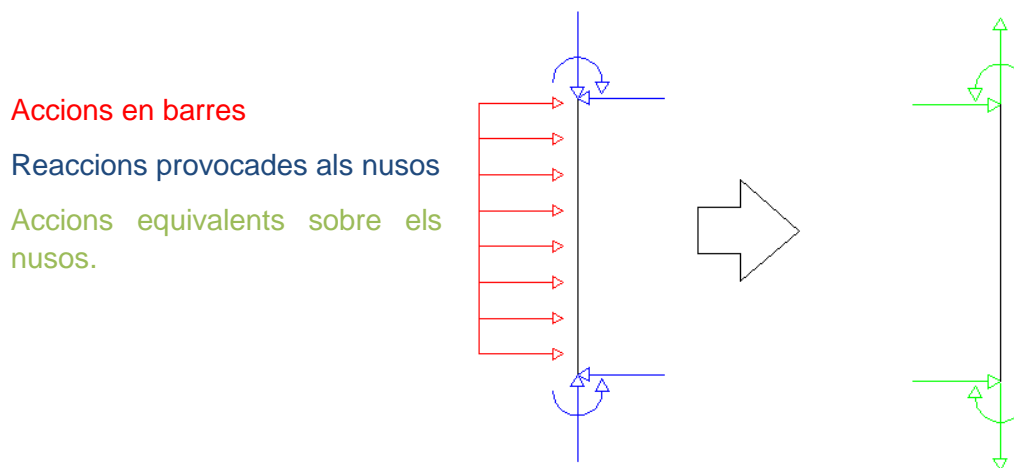


Fig II.7.7: Representació del canvi d'accions de l'estat I.

B) ESTAT II

En aquest estat serà d'aplicació l'anàlisi matricial per al càlcul dels moviments als nusos i dels esforços als extrems de les barres. Les accions en extrems de barres obtingudes a l'ESTAT I {F} seran les d'aplicació dins el càlcul matricial de l'ESTAT II.

Les reaccions obtingudes es canvien de signe i esdevenen accions a aplicar en als nusos en el càlcul matricial de l'estat II.

Es realitza una transposició de la matriu anterior per tal d'obtenir les accions ordenades com a vectors per realitzar el càlcul matricial.

Accions Nus A: dintells!AG94

Accions Nus B: dintells!AG97

Accions Nus C: dintells!AG100

Accions Nus D: dintells!AG103

Accions Nus E: dintells!AG106

NUS		ELUØ1	
1	A	F _x A	19,45
2		F _y A	-18,21
3		M _A	-26,75
4	B	F _x B	17,65
5		F _y B	-47,19
6		M _B	-21,91

[K] Matriu de rigidesa de les barres

Per obtenir els esforços en extrems de barres el primer pas es crear la matriu de rigidesa de l'estructura. Aquesta matriu està formada per les matrius de rigidesa de les barres en coordenades globals.

Aquestes estan formades per quatre submatrius de rigidesa situades als quatre quadrants de la matriu de rigidesa, s'anomenaran K11, K12, K13 i K14 acompanyades de la lletra de la barra en qüestió:

K11	K21
K12	K22

Aquestes són unes matrius 3x3.

Els seus valors són diferents segons el tipus de barra que es tracti, per tant, diferenciarem 4 tipus de submatrius de rigidesa:

- Barres encastades.
- Barres articulades.
- Barres encastades articulades amb extrem inicial encastat.
- Barres encastades articulades amb extrem final encastat.

SUBMATRIUS UTILITZADES:

Barres encastades:

[K11]:

$\frac{EA}{L} \cos\alpha^2 + \frac{12EI}{L^3} \sin\alpha^2$	$\left(\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$-\frac{6EI}{L^2} \sin\alpha$
$\left(\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \cos\alpha^2 \sin\alpha^2$	$\frac{EA}{L} \sin\alpha^2 + \frac{12EI}{L^3} \cos\alpha^2$	$\frac{6EI}{L^2} \cos\alpha$
$-\frac{6EI}{L^2} \sin\alpha$	$\frac{6EI}{L^2} \cos\alpha$	$\frac{4EI}{L}$

[K12]:

$-\frac{EA}{L} \cos\alpha^2 - \frac{12EI}{L^3} \sin\alpha^2$	$\left(-\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$-\frac{6EI}{L^2} \sin\alpha$
$\left(-\frac{EA}{L} + \frac{12EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$-\frac{EA}{L} \sin\alpha^2 - \frac{12EI}{L^3} \cos\alpha^2$	$\frac{6EI}{L^2} \sin\alpha$
$\frac{6EI}{L^2} \sin\alpha$	$-\frac{6EI}{L^2} \cos\alpha$	$\frac{2EI}{L}$

[K21]:

$\frac{EA}{L} \cos\alpha^2 + \frac{12EI}{L^3} \sin\alpha^2$	$\left(-\frac{EA}{L} + \frac{12EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$\frac{6EI}{L^2} \sin\alpha$
$\left(-\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$-\frac{EA}{L} \sin\alpha^2 - \frac{12EI}{L^3} \cos\alpha^2$	$-\frac{6EI}{L^2} \cos\alpha$
$-\frac{6EI}{L^2} \sin\alpha$	$\frac{6EI}{L^2} \sin\alpha$	$\frac{2EI}{L}$

[K22]:

$\frac{EA}{L} \cos\alpha^2 + \frac{12EI}{L^3} \sin\alpha^2$	$\left(\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$\frac{6EI}{L^2} \sin\alpha$
$\left(\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$\frac{EA}{L} \sin\alpha^2 + \frac{12EI}{L^3} \cos\alpha^2$	$-\frac{6EI}{L^2} \sin\alpha$
$\frac{6EI}{L^2} \sin\alpha$	$-\frac{6EI}{L^2} \cos\alpha$	$\frac{4EI}{L}$

Barres encastades articulades amb extrem inicial encastat:

[K11]:

$\frac{EA}{L} \cos\alpha^2 + \frac{3EI}{L^3} \sin\alpha^2$	$\left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$-\frac{3EI}{L^2} \sin\alpha$
$\left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$\frac{EA}{L} \sin\alpha^2 + \frac{3EI}{L^3} \cos\alpha^2$	$\frac{3EI}{L^2} \cos\alpha$
$-\frac{3EI}{L^2} \sin\alpha$	$\frac{3EI}{L^2} \cos\alpha$	$\frac{3EI}{L}$

[K12]:

$-\frac{EA}{L} \cos\alpha^2 - \frac{3EI}{L^3} \sin\alpha^2$	$\left(-\frac{EA}{L} + \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	0
$\left(-\frac{EA}{L} + \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$-\frac{EA}{L} \sin\alpha^2 - \frac{3EI}{L^3} \cos\alpha^2$	0
$-\frac{3EI}{L^2} \cos\alpha$	$-\frac{3EI}{L^2} \cos\alpha$	0

[K21]:

$-\frac{EA}{L} \cos\alpha^2 - \frac{3EI}{L^3} \sin\alpha^2$	$\left(-\frac{EA}{L} + \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$-\frac{3EI}{L^2} \cos\alpha$
$\left(-\frac{EA}{L} + \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$-\frac{EA}{L} \sin\alpha^2 - \frac{3EI}{L^3} \cos\alpha^2$	$-\frac{3EI}{L^2} \cos\alpha$
0	0	0

[K22]:

$\frac{EA}{L} \cos\alpha^2 + \frac{3EI}{L^3} \sin\alpha^2$	$\left(-\frac{EA}{L} + \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	0
$\left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$\frac{EA}{L} \sin\alpha^2 + \frac{3EI}{L^3} \cos\alpha^2$	0
0	0	0

Barres encastades articulades amb extrem final encastat:

[K11]:

$\frac{EA}{L} \cos\alpha^2 + \frac{3EI}{L^3} \sin\alpha^2$	$\left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	0
$\left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$\frac{EA}{L} \sin\alpha^2 + \frac{3EI}{L^3} \cos\alpha^2$	0
0	0	0

[K12]:

$-\frac{EA}{L} \cos\alpha^2 - \frac{3EI}{L^3} \sin\alpha^2$	$\left(-\frac{EA}{L} + \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$-\frac{3EI}{L^2} \cos\alpha$
$\left(-\frac{EA}{L} + \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$-\frac{EA}{L} \sin\alpha^2 - \frac{3EI}{L^3} \cos\alpha^2$	$\frac{3EI}{L^2} \cos\alpha$
0	0	0

[K21]:

$-\frac{EA}{L} \cos\alpha^2 - \frac{3EI}{L^3} \sin\alpha^2$	$\left(-\frac{EA}{L} + \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$-\frac{3EI}{L^2} \cos\alpha$
$\left(-\frac{EA}{L} + \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$-\frac{EA}{L} \sin\alpha^2 - \frac{3EI}{L^3} \cos\alpha^2$	$-\frac{3EI}{L^2} \cos\alpha$
0	0	0

[K22]:

$\frac{EA}{L} \cos\alpha^2 + \frac{3EI}{L^3} \sin\alpha^2$	$\left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$\frac{3EI}{L^2} \sin\alpha$
$\left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$\frac{EA}{L} \sin\alpha^2 + \frac{3EI}{L^3} \cos\alpha^2$	$-\frac{3EI}{L^2} \cos\alpha$
$\frac{3EI}{L^2} \sin\alpha$	$-\frac{3EI}{L^2} \cos\alpha$	$\frac{3EI}{L}$

Barres articulades:

[K11]:

$\frac{EA}{L} \cos\alpha^2$	$\left(\frac{EA}{L}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	0
$\left(\frac{EA}{L}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$\frac{EA}{L} \sin\alpha^2$	0
0	0	0

[K12]:

$-\frac{EA}{L} \cos\alpha^2$	$-\left(\frac{EA}{L}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	0
$-\left(\frac{EA}{L}\right) \cos\alpha \sin\alpha$	$-\frac{EA}{L} \sin\alpha^2$	0
0	0	0

[K21]:

$-\frac{EA}{L} \cos \alpha^2$	$-\left(\frac{EA}{L}\right) \cos \alpha \sin \alpha$	0
$-\left(\frac{EA}{L}\right) \cos \alpha \sin \alpha$	$-\frac{EA}{L} \sin \alpha^2$	0
0	0	0

[K22]:

$\frac{EA}{L} \cos \alpha^2$	$\left(\frac{EA}{L}\right) \cos \alpha \sin \alpha$	0
$\left(\frac{EA}{L}\right) \cos \alpha \sin \alpha$	$\frac{EA}{L} \sin \alpha^2$	0
0	0	0

On:

E: Mòdul d'elasticitat

A: area de la secció

L: Longitud de la barra

 α : angle entre els eixos locals i globals

Per obtenir la matriu de rigidesa de cada barra es calculen les quatre possibles segons els tipus de nusos i, es fa la selecció de d'adequada segons la tipologia del pòrtic:

Els inicis dels espais dedicats a cada barra són els següents:

Barra a: CÀLCUL MATRICIAL!A3

Barra b: CÀLCUL MATRICIAL!A20

Barra c: CÀLCUL MATRICIAL!A37

Barra d: CÀLCUL MATRICIAL!A54

A cada espai de les barres trobem les dades necessàries per a calcular les matrius de rigidesa:

E	210000000 KN/m ²
A	0,01125 m ²
L	8,25 m
Cos	0,00
Sin	1,00
I	1,83E-04 m ⁴

A partir d'aquests valors es creen les quatre matrius de rigidesa possibles.

2,05E+02	0,00E+00	-1,69E+03	-2,05E+02	0,00E+00	0,00E+00
0,00E+00	2,86E+05	0,00E+00	0,00E+00	-2,86E+05	0,00E+00
-1,69E+03	0,00E+00	1,39E+04	1,69E+03	0,00E+00	0,00E+00
-2,05E+02	0,00E+00	1,69E+03	2,05E+02	0,00E+00	0,00E+00
0,00E+00	-2,86E+05	0,00E+00	0,00E+00	2,86E+05	0,00E+00
0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

En funció del valor que pren la cel·la (H) que depenent del tipus de pòrtic escollit, s'escull la matriu de rigidesa de cada barra.

[Ka]: CÀLCUL MATRICIAL!AC13

[Kb]: CÀLCUL MATRICIAL!AC30

[Kc]: CÀLCUL MATRICIAL!AC47

[Kd]: CÀLCUL MATRICIAL!AC54

L'estructura de la matriu de rigidesa de l'estructura, en tots els casos ,serà la mateixa, ja que, la topologia dels nusos i les barres que configuren els pòrtics i el sentit donat a les barres són sempre les mateixes:

BARRA	NUS INICIAL	NUS FINAL
a	A	B
b	B	C
c	D	C
d	E	D

Taula II.7.1: Nusos d'inici i fi segons els eixos locals de cada barra

[K]

	A	B	C	D	E
A	K11a	K12a			
B	K21a	K22a+K11b	K12b		
C		K21B	K22b+K22c	K21c	
D			K12c	K11c+K22d	K21d
E				K12d	K11d

Fig II.7.7: Distribució de les submatrius dins de la matriu de rigidesa

Es munta la matriu de rigidesa de l'estructura

Matriu de rigidesa de l'estructura [K]: CÀLCUL MATRICIALIA74

	A			B			C			D			E		
A	010	0	-3300	-010	0	-3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	206364	0	0	-206364	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-3300	0	10592	3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	-010	0	-3300	331920	24749	2958	-33109	-24749	-422	0	0	0	0	0	0
	0	-206364	0	24749	203346	5631	-24749	-2902	5631	0	0	0	0	0	0
	-3300	0	3296	2958	5631	5631	422	-5631	10076	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	-33109	-24749	422	662217	0	845	-33109	24749	422	0	0	0
	0	0	0	-24749	-2902	-5631	0	5905	0	24749	-2902	5631	0	0	0
	0	0	0	-422	5631	10076	845	0	7506	-422	-5631	10076	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	-33109	24749	-422	331920	-24749	2958	-010	0	3300
	0	0	0	0	0	0	24749	-2902	-5631	-24749	203346	-5631	0	0	-206364
	0	0	0	0	0	0	422	5631	10076	2958	-5631	5631	-3300	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-010	0	-3300	0	-3300
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-206364	0	0	206364
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3300	0	0	3296	-3300	0

De la matriu de rigidesa de l'estructura se'n obté la matriu reduïda [Kr] , per eliminació de les files i columnes corresponents als nusos on hi ha desplaçaments o girs impedit.

$$\{F\}=[Kr] \cdot \{D\}$$

$$[Kr]^{-1} \cdot \{F\} = \{D\}$$

Es copia novament la matriu de rigidesa aquest cop indicant amb color quines files i columnes se n'eliminen:

	A			B			C			D			E		
A	8,19E+02	0,00E+00	-3,38E+03	-8,19E+02	0,00E+00	-3,38E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
B	0,00E+00	2,89E+05	0,00E+00	0,00E+00	-2,89E+05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C	3,32E+05	0,00E+00	1,41E+04	3,32E+05	0,00E+00	1,41E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
D	-3,32E+05	0,00E+00	0,00E+00	3,32E+05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

D'aquesta se n'extreu la matriu reduïda:

[Kr]: CÀLCUL MATRICIAL!A110

[Kr]	Matriu reduïda								
	3,32E+05	2,47E+04	2,96E+03	-3,31E+05	-2,47E+04	-4,22E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	2,47E+04	2,89E+05	5,63E+03	-2,47E+04	-2,96E+03	5,63E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	2,96E+03	5,63E+03	5,63E+04	4,22E+02	-5,63E+03	1,89E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	-3,31E+05	-2,47E+04	4,22E+02	6,62E+05	0,00E+00	8,45E+02	-3,31E+05	2,47E+04	4,22E+02
	-2,47E+04	-2,96E+03	-5,63E+03	0,00E+00	5,96E+03	0,00E+00	2,47E+04	-2,96E+03	5,63E+03
	-4,22E+02	5,63E+03	1,89E+04	8,45E+02	0,00E+00	7,55E+04	-4,22E+02	-5,63E+03	1,89E+04
	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-3,31E+05	2,47E+04	-4,22E+02	3,32E+05	-2,47E+04	2,96E+03
	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,47E+04	-2,96E+03	-5,63E+03	-2,47E+04	2,89E+05	-5,63E+03
	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,22E+02	5,63E+03	1,89E+04	2,96E+03	-5,63E+03	5,63E+04

I se'n fa l'inversa:

[Kr]⁻¹: CÀLCUL MATRICIAL!A121

[Kr] ⁻¹	Inversa de la matriu reduïda								
	8,74E-04	6,19E-07	-5,70E-05	8,69E-04	5,97E-05	3,12E-05	8,63E-04	-6,19E-07	-6,83E-05
	6,19E-07	3,49E-06	-1,50E-07	7,50E-07	1,75E-06	-1,87E-07	6,19E-07	2,43E-10	-1,50E-07
	-5,70E-05	-1,50E-07	3,15E-05	-6,26E-05	7,78E-05	-7,57E-06	-6,83E-05	1,50E-07	-1,17E-06
	8,69E-04	7,50E-07	-6,26E-05	8,70E-04	2,53E-18	3,12E-05	8,69E-04	-7,50E-07	-6,26E-05
	5,97E-05	1,75E-06	7,78E-05	-1,57E-19	8,12E-04	1,96E-20	-5,97E-05	1,75E-06	7,78E-05
	3,12E-05	-1,87E-07	-7,57E-06	3,12E-05	9,47E-20	1,71E-05	3,12E-05	1,87E-07	-7,57E-06
	8,63E-04	6,19E-07	-6,83E-05	8,69E-04	-5,97E-05	3,12E-05	8,74E-04	-6,19E-07	-5,70E-05
	-6,19E-07	2,43E-10	1,50E-07	-7,50E-07	1,75E-06	1,87E-07	-6,19E-07	3,49E-06	1,50E-07
	-6,83E-05	-1,50E-07	-1,17E-06	-6,26E-05	-7,78E-05	-7,57E-06	-5,70E-05	1,50E-07	3,15E-05

Aquesta matriu es multiplica per el vector de forces sobre dels nusos on hi poden haver desplaçaments i, n'obtenim els desplaçaments dels nusos de l'estructura:

$$[Kr]^{-1} \cdot \{F\} = \{D\}$$

Ja que l'estat I no hi ha moviments en els nusos, els calculats a l'estat II, corresponen als reals de l'estructura.

Ja que en el càlcul dels desplaçaments només hi intervenen els nusos on hi pot haver desplaçament, enllacem els vectors d'esforços d'aquest calculats anteriorment.

{F} ELUs: CÀLCUL MATRICIAL!A134

{F} ELs: CÀLCUL MATRICIAL!R134

[F] ESFORÇOS ESTAT I		ELU 1
ELU	FxB	17,65
	FyB	-47,19
	MB	-21,21
	FxC	-1,97
	FyC	-84,24
	MC	-44,07

Es realitza la multiplicació de la inversa de la matriu de rigidesa reduïda de l'estructura per a cada un dels vectors de les combinacions d'esforços, per obtenir els desplaçaments i, també, s'introdueixen els desplaçaments nuls dels suports:

{D} ELUs : Càlcul Matricial!A147

{D} ELs : Càlcul Matricial!R147

[d] DESPLAÇAMENTS		ELU 1
ELU	DxA	0
	DyA	0
	MA	0
	DxB	0,003226
	DyB	-0,000301
	MB	-0,008523
	DxC	0,014320
	DyC	-0,077897
	MC	-0,000616
	DxD	0,020610
	DyD	-0,000414
	MD	0,008611
	DxE	0
	DyE	0
	ME	0

Per obtenir les reaccions als nusos per l'Estat II [R] es multiplica la matriu de rigidesa de l'estructura per el vector dels desplaçaments:

$$[K] \cdot \{D\} = \{R\}$$

Es multiplica la matriu de rigidesa de l'estructura per a cada vector resultant de desplaçaments per obtenir les reaccions a cada nus de l'estructura:

{R}: Càlcul Matricial!A163

{R} REACCIONS		ELU 1
FxA	-12,7	
FyA	75,35	
MA	90,1	
FxB	24,8	
FyB	-59,7	
MB	11,8	
FxC	3,3	
FyC	-52,0	
MC	11,0	
FxD	22,1	
FyD	-49,8	
MD	42,5	
FxE	-37,5	
FyE	86,11	
ME	178,6	

Per tal d'obtenir els esforços, als extrems de les barres en eixos locals, es necessita crear les matrius de canvi d'eixos [T]. Les matrius inverses d'aquestes [T]^T multiplicades per les matrius de rigidesa de les barres en eixos globals obtenim les matrius de rigidesa de les barres en eixos locals.

Les matrius de canvi d'eixos són unes matrius 6x6 on els quadrants (1.1) i (2.2) es realitzen d'acord amb la següent matriu (Fig II.7.8), i la resta esdevenen zeros:

<i>cosa</i>	<i>-sina</i>	0
<i>sina</i>	<i>cosa</i>	0
0	0	1

Fig II.7.8: Representació dels contingut als quadrants 1.1 i 2.2

[T] : La matriu de canvi d'eixos de les barres corresponen a (Fig II.7.9):

$\cos\alpha$	$-\sin\alpha$	0	0	0	0
$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0
0	0	0	$\cos\alpha$	$-\sin\alpha$	0
0	0	0	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	0
0	0	0	0	0	1

Fig II.7.9: Representació d'una matriu de canvi d'eixos

Els dos quadrants no nuls es creen per a cada espai de les barres:

Barra a: CÀLCUL MATRICIAL!E4

Barra b: CÀLCUL MATRICIAL!E21

Barra c: CÀLCUL MATRICIAL!E38

Barra d: CÀLCUL MATRICIAL!E55

MATRIU DE CAMBI D'EIXOS		
0,00	-1,00	0
1,00	0,00	0
0	0	1

Es crea la matriu de canvi d'eixos per a cada barra:

[T_a]: CÀLCUL MATRICIAL!E184

[T_b]: CÀLCUL MATRICIAL!E191

[T_c]: CÀLCUL MATRICIAL!E198

[T_d]: CÀLCUL MATRICIAL!E205

[T_a]:

0,0E+00	-1,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
1,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
0,0E+00	0,0E+00	1,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	-1,0E+00	0,0E+00
0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,0E+00

i se'n realitza la seva inversa:

[T_a]^T: CÀLCUL MATRICIAL!L184

[T_b]^T: CÀLCUL MATRICIAL!L191

[T_c]^T: CÀLCUL MATRICIAL!L198

[T_d]^T: CÀLCUL MATRICIAL!L205

[T_a]^T

0	1	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	1	0
0	0	0	-1	0	0
0	0	0	0	0	1

I com s'ha descrit anteriorment:

$$[T]^T \cdot [K] = [k]$$

Es realitza la transformació a eixos locals de les matrius de rigidesa de les barres:

[K a]: CÀLCUL MATRICIAL!T4

[K b]: CÀLCUL MATRICIAL!T21

[K c]: CÀLCUL MATRICIAL!T38

[K d]: CÀLCUL MATRICIAL!T55

[KA] EIXOS LOCALS					
0,00E+00	2,86E+05	0,00E+00	0,00E+00	-2,86E+05	0,00E+00
-8,19E+02	0,00E+00	3,38E+03	8,19E+02	0,00E+00	3,38E+03
-3,38E+03	0,00E+00	1,86E+04	3,38E+03	0,00E+00	3,30E+03
0,00E+00	-2,86E+05	0,00E+00	0,00E+00	2,86E+05	0,00E+00
8,19E+02	0,00E+00	-3,38E+03	-8,19E+02	0,00E+00	-3,38E+03
-3,38E+03	0,00E+00	3,30E+03	3,38E+03	0,00E+00	1,86E+04

Un cop s'obtenen les matrius de rigidesa en eixos locals ja es poden obtenir els esforços als extrems de les barres de l'Estat II, multiplicant aquestes per els vectors de desplaçaments dels seus nusos:

$$[k] \cdot \{d\} = \{P_{II}\}$$

S'enllacen els desplaçaments de cada nus i es calculen els esforços de l'estat II als extrems de les barres per a cada combinació d'hipòtesis:

{d}_a: CÀLCUL MATRICIAL!AA183

{d}_b: CÀLCUL MATRICIAL!AA191

{d}_c: CÀLCUL MATRICIAL!AA199

{d}_d: CÀLCUL MATRICIAL!AA207

{d} DESPLAÇAMENTS

ELU1	ELU2	ELU3	ELU4
0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
1,2E-02	9,5E-03	-2,4E-03	-2,5E-03
-1,6E-04	-2,2E-04	-1,8E-04	-2,4E-04
-1,6E-03	-1,8E-03	-1,1E-03	-1,0E-03

{P_a}: CÀLCUL MATRICIAL!AR185

{P_b}: CÀLCUL MATRICIAL!AR193

{P_c}: CÀLCUL MATRICIAL!AR201

{P_d}: CÀLCUL MATRICIAL!AR209

ELU1	
{f _a }	f _{pA} 75
	f _{pyA} 13
	f _{pMA} 90
	f _{pB} -75
	f _{pyB} -13
	f _{pMB} 24

La suma de les reaccions obtingudes a l'estat I i els esforços obtinguts a l'estat II corresponen als esforços sol·licitants als extrems de les barres de 1er ordre. Al sumar els dos estats desapareixen les forces d'encastament perfecte que s'ha introduït als nusos de les barres durant el procediment del l'estat I.

$$\{R_I\} + \{P_{II}\} = \{P\}$$

On:

- {P}** Esforços de primer ordre.
- {R_I}** Reaccions de l'estat I
- {P_{II}}** Esforços de l'estat II

Es realitza la suma de cada esforç F_x, F_y i M per a cada nus i cada hipòtesis dels estats I i II, per així obtenir els esforços totals a comprovar:

Barra a: dintells!AF144

Barra b: dintells!AF151

Barra c: dintells!AF158

Barra d: dintells!AF165

ELU Ø1		
A	'r _x A	117,8
	'r _y A	31,5
	'r _M A	90,5
	'r _x B	-72,5
	'r _y B	29,3
	'r _M B	-79,9

II.7.2.2.- ANÀLISI DE SEGON ORDRE:

En el cas de les estructures translacionals, o no ariostrades, en les que els desplaçaments tenen una influència substancial en els esforços, s'ha d'utilitzar un mètode de càlcul que inclogui efectes no lineals i consideri les imperfeccions inicials, o les seves accions equivalents, substitutòries de les desviacions geomètriques de fabricació i muntatge, de les tensions residuals, de les deformacions inicials, variacions locals del límit elàstic...

Una forma d'avaluar la influència dels desplaçaments en la distribució d'esforços i per tant, de caracteritzar la condició de translacionalitat, aplicable a estructures de pòrtic pla, consisteix en realitzar un primer anàlisi en règim elàstic lineal y obtenir, per a cada planta el coeficient:

$$r = \frac{V_{Ed}}{H_{Ed}} \cdot \frac{\delta_{H,d}}{h}$$

On:

H_{Ed} : Valor de càlcul de les cargues horitzontals totals a la planta considerada y en totes les superiors. Coincideix en el tallant total a la base dels pilars.

V_{Ed} : Valor de càlcul de les cargues verticals totals a la planta considerada y en totes les superiors. Coincideix en el axil total a la base dels pilars.

h : Altura de la planta

$\delta_{H,d}$: desplaçament horitzontal relatiu de la planta

Si el valor del coeficient r es superior a 0,1 l'estructura s'ha de considerar translacional i , en l'anàlisi global de l'estructura s'hauran de considerar els efectes dels desplaçaments .

Degut a això s'haurà de realitzar un anàlisi de segon ordre, amb l'ajuda de models numèrics que incloguin l'efecte dels esforços en la rigidesa de l'estructura.

El mètode utilitzat és el descrit per Enrique et al.(1994), com descriu: L'objectiu del càlcul de segon ordre consisteix en tenir en compte els efectes de l'augment d'esforços o el que es el mateix: tenir en compte el treball de les forces exteriors degudes a les deformacions per elles produïdes. De la major o menor importància dels efectes poden dependre l'estabilitat de l'estructura.

Realitzar un anàlisi de segon ordre significa tenir en compte que les deformacions amb les cargues exteriors, provoquen nous esforços. Per considerar això, ens presenta l' equació matricial següent:

$$\{P\} = ([K]-[G_N]) \cdot \{D\}$$

On:

$\{P\}$: vector d'esforços

$[K]$: Matriu de rigidesa de la barra

$\{D\}$ vector de desplaçaments

$[G_N]$: matriu geomètrica (Fig II.7.10)

$$[G_N] = \frac{N}{I} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Fig II.7.10: Representació d'una matriu geomètrica

On:

N: Axil de la barra

I: Longitud de la barra

II.7.2.2.- PROCEDIMENT ITERATIU:

S'utilitza un mètode iteratiu (Fig II.7.11), que es comença amb el càlcul de primer ordre ja descrit i, se segueix amb repeticions del càlcul ara presentat, introduint els resultats anteriors de les deformacions que provoquen canvis en les matrius de rigidesa de les barres degut al moviment dels nusos.

Per a realitzar aquest càlcul s'utilitzarà una macro amb Visual Basic per tal de facilitar i agilitzar el càlcul. Es podrà escollir el nombre d'iteracions a realitzar, tot i que, a partir de 4-5 iteracions els valors resultants pràcticament invariables.

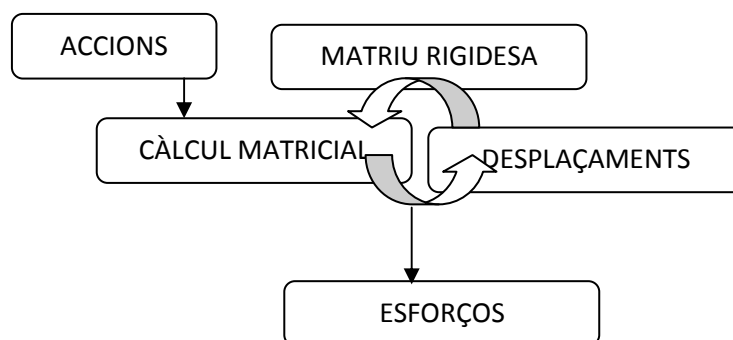


Fig II.7.11: Del procés iteratiu en el càlcul de segon ordre.

Per escollir el nombre d'iteracions que realitzarà la rutina s'introdueix el valor a:
Iteracions:

Nº Iteracions : DINTELLS!T23

4 nº iteracions

Tot el càlcul es realitzarà al full igual que en el càlcul matricial de primer ordre, on s'introduiran els canvis en les matrius de rigidesa degut als desplaçaments provocats en el càlcul anterior. Es realitzaran totes les iteracions combinació a combinació fins a completar les 14 dels ELUs. Només es realitza el càlcul dels ELUs ja que en els ELS es consideren els efectes de segon ordre.

Degut a que els valors dels resultats dins del càlcul matricial depenen dels desplaçaments inicials, la rutina variarà aquests per a cada combinació, i iteració. Per tant, s'han de guardar els valors dels desplaçaments i els esforços per obtenir els reals sense que el canvi constant dels desplaçaments els faci variar de valor.

Per tant, es realitzaran els càlculs per a cada combinació per separat. Així, s'estableix una cel·la per definir la combinació a realitzar i es faran totes les operacions d'aquesta i, es guardaran els resultats obtinguts. Un cop la combinació està totalment calculada es passa a la següent i, així, successivament.

Cel·la combinació: CÀLCUL MATRICIAL2!F1

ELU 14

Per obtenir aquests valors es copiaran i enganxaran en taules separades del càlcul matricial.

Els desplaçaments provocaran canvis en les matrius de rigidesa degut al canvi d'angles dels locals respecte dels globals, per tant, es crearà unes taules per a cada barra, on introduint els desplaçaments ens generin el sin i cos real en cada situació:

DESPLAÇAMENTS	B	C	PUNT FINAL	B	C
X	-0,0204197	-4,635E-06		-0,0204197	14,999995
Y	-0,0005298	-0,1722218		8,9994702	10,827778

Es guardaran per a cada combinació:

Desplaçaments: es guardaran i s'enllacen a les taules per variar les matrius de rigidesa i seran substituïts a cada iteració.

Desplaçaments guardats: CÀLCUL MATRICIAL2!R144

{d_a}: CÀLCUL MATRICIAL2!R146

{d_b}: : CÀLCUL MATRICIAL2!R149

{d_c}: CÀLCUL MATRICIAL2!R152

{d_d}: CÀLCUL MATRICIAL2!R155

DESPLAÇAMENTS guardats		
	1	2
D _x A	0	0
D _y A	0	0
M _A	0	0
D _x B	-0,01081931	0,00701
D _y B	-0,00038117	#####
M _B	-0,00597938	-0,0051
D _x C	0,00591376	0,0239
D _y C	-0,13863654	-0,1400
M _C	-0,00082036	0,0023
D _x D	0,02264320	0,04076
D _y D	-0,00043597	-0,0005
M _D	0,00640440	0,0033
D _x E	0	0
D _y E	0	0
M _E	0	0

Esforços en extrems de barres: Es guardaran els esforços per ser enllaçats i comprovats a:

ESFORÇOS EN EXTREMS DE BARRES ESTAT II 2º ORDRE: CÀLCUL MATRICIAL2!BI181

{P_{IIa}}: CÀLCUL MATRICIAL2!BH185

{P_{IIb}}: CÀLCUL MATRICIAL2!BH193

{P_{IIc}}: CÀLCUL MATRICIAL2!BH201

{P_{II d}}: CÀLCUL MATRICIAL2!BH209

ESFORÇOS EN EXTREMS DE BARRS ESTAT II 2^o ORDRE

	ELU 1	ELU 2	ELU 3	ELU 4	ELU 5	ELU 6	ELU 7	ELU 8	ELU 9
r _x A	153	186	144	217	136	169	127	45	39
r _y A	-83	-75	-90	-134	-72	-64	-79	-4	9
r _M A	-285	-202	-320	-476	-244	-162	-279	2	138
r _x B	-153	-186	-144	-217	-136	-169	-127	-45	-39
r _y B	83	75	90	134	72	64	79	4	-9
r _M B	-463	-475	-431	-732	-339	-411	-428	-39	-53

Un cop es realitza la rutina de càlcul s'obté una taula idèntica a la obtinguda en el càlcul del primer ordre. Dels esforços calculats es sumen amb els de l'estat I i s'obtenen els totals.

{pt_a}: dintells!AX144

{pt_b}: dintells!AX151

{pt_c}: dintells!AX158

{pt_d}: dintells!AX165

		ELU 01
A	r _x A	117,8
	r _y A	31,5
	r _M A	90,5
	r _x B	-72,5
	r _y B	29,3
	r _M B	-79,9

II.7.2.2.3.RUTINA 2^o ORDRE:

Private Sub CommandButton2_Click()

Dim i, j, m, no, l, p, ter, r, w, q, dima, dimb, dimc, dimd, dime, k As Integer

no = Sheets("dintells").Range("t23")

er = 1

w = 1

While w <= 14

Sheets("càlcul matricial2").Range("f1") = w

While er <= no

r = 1

q = 1

While q <= 15

Sheets("càlcul matricial2").Range("s146:af160").Cells(q, w) = Sheets("càlcul matricial2").Range("c146:p160").Cells(q, w)

Sheets("càlcul matricial2").Range("s163:af177").Cells(q, w) = Sheets("càlcul matricial2").Range("c163:p177").Cells(q, w)

q = q + 1

```

Wend

While r < 28
Sheets("càlcul matricial2").Range("bi184:bv210").Cells(r, w) = Sheets("càlcul
matricial2").Range("aq184:bd210").Cells(r, w)
    r = r + 1
Wend
er = er + 1
Wend
er = 1
w = w + 1
Wend
Sheets("dintells").Range("t24") = 2
MsgBox "CÀLCULS REALITZATS"

End Sub

```

II.7.3.-DIMENSIONAT DE PÒRTICS:

El dimensionament dels pòrtics resulta més complex que el de les corretges, ja que, en ell intervenen 4 elements, això, provoca que un canvi de perfil d'un element provoca canvis tant en les sol·licitacions del propi element com en les dels altres. Aquest fet fa que al realitzar les comprovacions no es pugui assegurar que la primera combinació que resulti correcte per a totes les comprovacions sigui la més òptima, ja que en la majoria de casos es poden obtenir un gran nombre de combinacions correctes, però només un és l'òptima.

II.7.3.1.- DIMENSIONAT MANUAL:

S'aconsella realitzar el dimensionament manual un cop ja s'ha realitzat el dimensionament automàtic, ja que aquest serveix de guia per el manual.

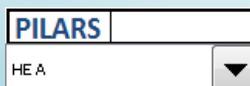
Per a realitzar el dimensionat manual s'ha de tenir activada la casella MANUAL.

Casella de verificació MANUAL: dintells!k5



El primer pas és seleccionar la sèrie de perfil per a cada element, utilitzant el quadre combinat de cada element i seguidament triat el model desitjat per a cada element amb el quadre combinat respectiu.

Quadre combinat SERIE PILARS:dintells!o4



PILARS	HE 100 A	▼
---------------	----------	---

Quadre combinat SERIE LLINDA:dintells!t4

LLINDES	IPÉ	▼
----------------	-----	---

Quadre combinat MODEL LLINDES:dintells!v3

LLINDES?	HE 120 x 131.	▲
-----------------	---------------	---

II.7.3.2.- DIMENSIONAMENT AUTOMÀTIC DE PÒRTICS:

Per obtenir la combinació de llandes i pilars òptima, o sigui, la més lleugera en pes total, el que es realitza és la comprovació de totes les combinacions entre dues famílies de perfils, una per els llandes i l'altra per els pilars. Un cop realitzades totes les combinacions es pot obtenir la més lleugera amb unes comprovacions correctes.

Per a realitzar aquesta sèrie de combinacions s'ha escrit una subrutina en Visual Basic que realitza en canvi successiu de perfils i memoritza les combinacions correctes més lleugeres.

Per tal de realitzar la subrutina es necessiten unes cel·les que quedaran ocultes per l'usuari però que són de vital importància per a realitzar les iteracions i obtenir els resultats: Un cop seleccionades les famílies de perfils a avaluar en la iteració s'obtenen els valors de referència de les series de perfils. Aquests valors no són més que el valor que té cada perfil dins la base de dades.

Valor de referència inicial per els pilars: dintells!F7

Valor de referència final per els pilars: dintells!G7

Valor de referència inicial per els llandes: dintells!F8

Valor de referència final per els llandes: dintells!G8

Valor d'acceptació de les comprovacions dels ELUs als llandes: dintells!K8 . Valor de 10 correcte i valor de 0 incorrecte.

Valor d'acceptació de les comprovacions dels ELUs als pòrtics: dintells!K9. Suma dels valors d'acceptació de llandes i pòrtics.

Valor d'acceptació de les comprovacions dels ELSs als desplaçaments horitzontals: dintells!S21 . Valor de 10 correcte i valor d'0 incorrecte.

Valor d'acceptació de les comprovacions dels ELUs als pilars: dintells!K7 . Valor de 2 correcte i valor d'1 incorrecte.

Valor d'acceptació de les comprovacions dels ELUs als llandes: dintells!K8 . Valor de 10 correcte i valor de 0 incorrecte.

Valor d'acceptació de les comprovacions

dels ELUs als pòrtics: dintells!K9. Suma dels valors d'acceptació de llindes i pòrtics.

Valor d'acceptació de les comprovacions dels ELSs als desplaçaments horitzontals: dintells!S21. Valor de 10 correcte i valor d'0 incorrecte.

Valor d'acceptació de les comprovacions dels ELSs als desplaçaments verticals: dintells!S22. Valor de 2 correcte i valor d'1 incorrecte.

Valor d'acceptació de les comprovacions dels ELSs als pòrtics: dintells!S23. Suma dels valors d'acceptació de llindes i pòrtics.

Pes total del pòrtic en la combinació comprovada: Dintells!K10

Pes lineal del pòrtic en la combinació comprovada: Dintells!K11

Per tal d'executar la subrutina és indispensable tenir desactivada la casella de verificació MANUAL:

Casella de verificació MANUAL: dintells!K5

MANUAL

Els resultats que s'obtenen són:

Els perfils indicats al final de l'optimització dins el full de DINTELLS en estat "no manual", seran els més lleugers de totes les combinacions realitzades. Així, doncs, s'observaran els resultats de totes les comprovacions amb el seu rendiment corresponent, les hipòtesis que han resultat ser més desfavorables i els pesos tant totals com per metre lineal.

També es genera una llista amb les 5 combinacions més lleugeres. Això, es degut a que en alguns casos pot haver-hi poca diferència entre diferents combinacions i, es possible que l'òptima no sigui clarament millor que les altres.

A la llista es podrà observar tant els perfils de les combinacions com els pesos:

MILLORS COMBINACIONS: dintells!D9

MILLORS COMBINACIONS:	PILAR	DINTELL	Pes (Kg)
	HE 450 A	HE 600 A	6962
	HE 500 A	HE 600 A	7134
	HE 450 A	HE 650 A	7323
	HE 500 A	HE 650 A	7495
	HE 400 A	HE 700 A	7571

Es crearan unes matrius de resultats on de manera gràfica es podran observar els resultats de totes les combinacions possibles en diferents colors depenent del compliment o no de les comprovacions:

Matriu ELU (Fig II.7.12): Es podrà observar la matriu en quatre colors diferents : els resultats de les combinacions que compleixin amb totes les comprovacions, les que només compleixin amb les comprovacions dels llindes, les que només compleixin amb les dels pilars i les que no compleixen ni amb llindes ni amb pilars.

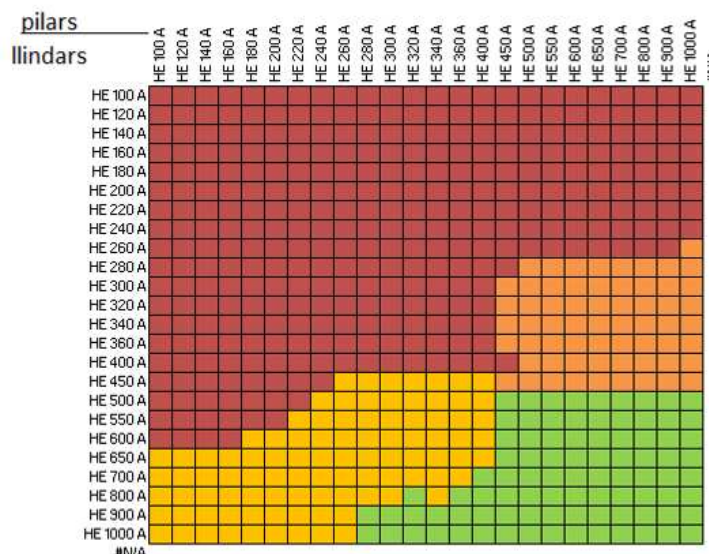


Fig II.7.12: Exemple de matriu de resultats ELU

Matriu ELS (Fig II.7.13):: Es podrà observar la matriu en quatre colors diferents: els resultats que compleixen en desplaçament horitzontal i vertical, les que compleixen en desplaçament vertical o horitzontal i les que no compleixen en cap dels dos desplaçaments.

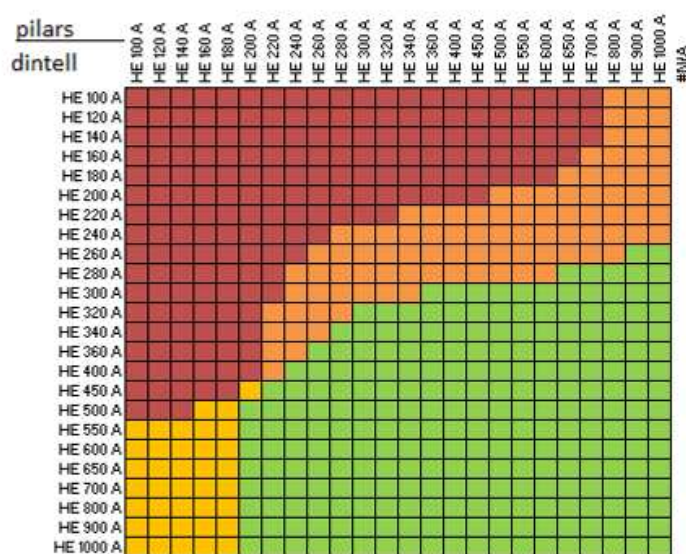


Fig II.7.13: Exemple de matriu de resultats ELS

Matriu TOTALS (Fig II.7.14):: Es podrà observar la matriu amb dos colors diferents: Les que compleixen amb les sol·licitacions dels ELU i ELS i les que no compleixen amb algun dels dos estats límits.

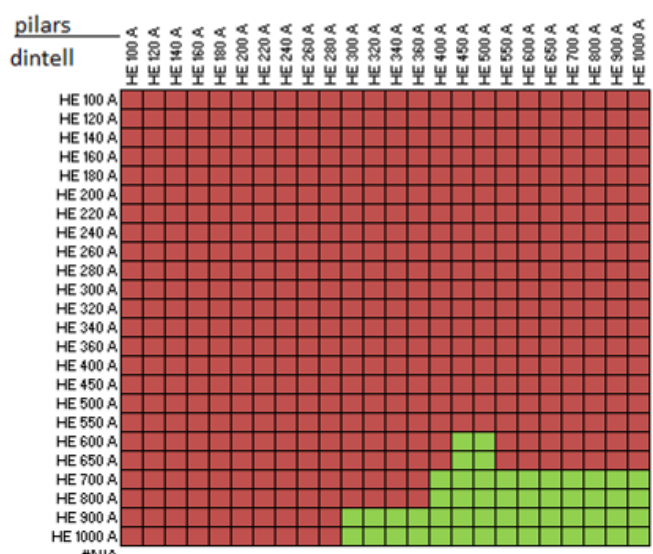


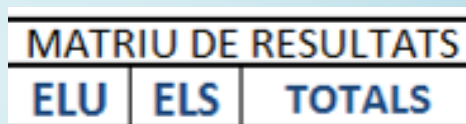
Fig II.7.14: Exemple de matriu de resultats totals

Les matrius es troben allunyades de la pantalla inicial de dimensionament dels pòrtics i es creen hipervincles per observar-les:

Hipervincle MATRIU ELU: dintells!A19

Hipervincle MATRIU ELS: dintells!B19

Hipervincle MATRIU TOTALS: dintells!C19

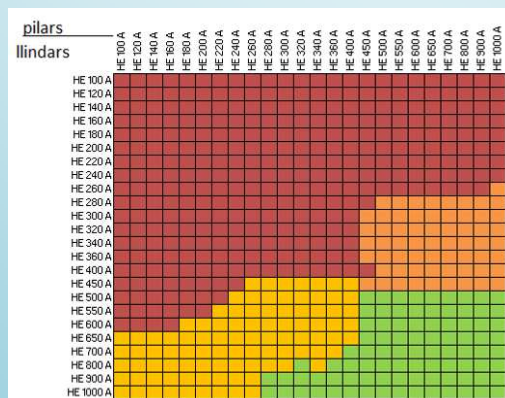


MATRIU ELU: dintells!GY1000

MATRIU ELS: dintells!GY1132





MATRIU TOTALS: dintells!GY1262

A les matrius s'organitzen els perfils de manera que cada fila correspon a un perfil diferent de llinda i, cada columna, a un perfil de pilar. S'indiquen a la primera fila i primera columna el perfil comprovat en cada cas:







Els colors vénen determinats per el valor d'acceptació en cada cas i utilitzant format condicional:



Matriu ELU:

-  NO compleix en llinda i pilar
-  NO compleix en pilar i compleix en llinda
-  NO compleix en llindes i compleix en pilar
-  Correcte en llinda i pilar

Matriu ELS:

-  NO compleix en desplaçament horitzontal ni vertical.
-  NO compleix en desplaçament horitzontal i compleix en desplaçament vertical.
-  NO compleix en desplaçament vertical i compleix en desplaçament horitzontal.
-  Compleix en desplaçament horitzontal ni vertical.

Matriu TOTALS:

-  NO compleix en alguna de les comprovacions.
-  Compleix en totes les comprovacions.

II.7.3.2.1.-RUTINA: DIMENSIONAT DE PÒRTICS

Private Sub CommandButton1_Click()

Dim i, j, m, no, l, p, ter, r, w, q, dima, dimb, dimc, dimd, dime, k As Integer

m = Sheets("dintells").Range("f7")

j = Sheets("dintells").Range("g7")

k = Sheets("dintells").Range("f8")

l = Sheets("dintells").Range("g8")

Sheets("dintells").Range("hc1003:lz1130").ClearContents

Sheets("dintells").Range("t24") = 1

Sheets("dintells").Range("gv1003:gx1500").ClearContents

Sheets("càlcul matricial2").Range("s146:af160").ClearContents

Sheets("càlcul matricial2").Range("bi184:bv210").ClearContents

Sheets("dintells").Range("hc1133:lz1256").ClearContents

Sheets("dintells").Range("hc1263:lz1386").ClearContents

n = 1

v = 1

a = 1

b = 1

dima = 100000000

```
dimb = 100000000
dimc = 100000000
dimd = 100000000
dime = 100000000
num = 1
```

```
While m <= j
a = 1
k = Range("f8")
Range("i7") = m
```

```
While k <= l
Sheets("dintells").Range("i8") = k
```

```
If Sheets("dintells").Range("f6") = 1 Then
    pes = Sheets("dintells").Range("k10")
End If
If Sheets("dintells").Range("f6") = 2 Then
    pes = Sheets("dintells").Range("k11")
End If
If Sheets("dintells").Range("j13") = 24 Then
    Sheets("dintells").Range("gv1003:gx1500").Cells(num, 1) = m
    Sheets("dintells").Range("gv1003:gx1500").Cells(num, 2) = k
    Sheets("dintells").Range("gv1003:gx1500").Cells(num, 3) = pes
    num = num + 1
End If
```

```
If Sheets("dintells").Range("j13") = 24 And pes < dima Then
    dime = dimd
    dimd = dimc
    dimc = dimb
    dimb = dima
    dima = pes
    pilare = pilard
    pilard = pilarc
    pilarc = pilarb
    pilarb = pilara
    dintelle = dintelld
    dintelld = dintellc
    dintellc = dintellb
    dintellb = dintella
    pilara = m
    dintella = k
```

```
Else
    If Sheets("dintells").Range("j13") = 24 And pes < dimb Then
        dime = dimd
        dimd = dimc
```

```

        dimc = dimb
            dimb = pes
        pilare = pilard
        pilard = pilarc
        pilarc = pilarb
        dintelle = dintelld
        dintelld = dintellc
        dintellc = dintellb
        pilarb = m
            dintellb = k
    Else
        If Sheets("dintells").Range("j13") = 24 And pes < dimc Then
            dime = dimd
            dimd = dimc
            dimc = pes
            pilare = pilard
            pilard = pilarc
            dintelle = dintelld
            dintelld = dintellc
                pilarc = m
                dintellc = k
            Else
                If Sheets("dintells").Range("j13") = 24 And pes < dimd
                    dime = dimd
                    dimd = pes
                    pilare = pilard
                    dintelle = dintelld
                pilard = m
                    dintelld = k
                Else
                    If Sheets("dintells").Range("j13") = 24 And pes <
dime Then
                        dime = pes
                        pilare = m
                        dintelle = k
                    End If
                End If
            End If
        End If
    End If
End If
End If
End If

Sheets("dintells").Range("hc1003:lz1150").Cells(a, b) = Sheets("dintells").Range("k9")
Sheets("dintells").Range("hc1133:lz1256").Cells(a, b) = Sheets("dintells").Range("s23")
Sheets("dintells").Range("hc1263:lz1386").Cells(a, b) = Sheets("dintells").Range("j13")

k = k + 1
```

```

a = a + 1
  Wend
b = b + 1
m = m + 1
Wend
Sheets("dintells").Range("i7") = pilara
  Sheets("dintells").Range("i8") = dintella
Sheets("dintells").Range("E10") = pilara
  Sheets("dintells").Range("F10") = dintella
  Sheets("dintells").Range("i10") = dima
  Sheets("dintells").Range("E11") = pilarb
  Sheets("dintells").Range("F11") = dintellb
  Sheets("dintells").Range("i11") = dimb
  Sheets("dintells").Range("E12") = pilarc
  Sheets("dintells").Range("F12") = dintellc
  Sheets("dintells").Range("i12") = dimc
  Sheets("dintells").Range("E13") = pilard
  Sheets("dintells").Range("F13") = dintelld
  Sheets("dintells").Range("i13") = dimd
  Sheets("dintells").Range("E14") = pilare
  Sheets("dintells").Range("F14") = dintelle
  Sheets("dintells").Range("i14") = dime
If Sheets("dintells").Range("u22") = 2 Then
  no = Sheets("dintells").Range("t23")
  er = 1
  w = 1
  While w <= 14
    Sheets("càlcul matricial2").Range("f1") = w
    While er <= no
      r = 1
      q = 1
      While q <= 15
        Sheets("càlcul matricial2").Range("s146:af160").Cells(q, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("c146:p160").Cells(q, w)
        Sheets("càlcul matricial2").Range("s163:af177").Cells(q, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("c163:p177").Cells(q, w)
        q = q + 1
      Wend
      While r < 28
        Sheets("càlcul matricial2").Range("bi184:bv210").Cells(r, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("aq184:bd210").Cells(r, w)
        r = r + 1
      Wend
      er = er + 1
    Wend
    er = 1
    w = w + 1
  
```



```
Wend
Sheets("dintells").Range("t22") = 2
End If
If Sheets("dintells").Range("j13") < 24 Then
    Sheets("dintells").Range("i7") = pilarb
    Sheets("dintells").Range("i8") = dintellb
If Sheets("dintells").Range("u22") = 2 Then
    Sheets("dintells").Range("t22") = 1
    no = Sheets("dintells").Range("t23")
    er = 1
    w = 1
    While w <= 14
        Sheets("càlcul matricial2").Range("f1") = w
        While er <= no
            r = 1
            q = 1
            While q <= 15
                Sheets("càlcul matricial2").Range("s146:af160").Cells(q, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("c146:p160").Cells(q, w)
                Sheets("càlcul matricial2").Range("s163:af177").Cells(q, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("c163:p177").Cells(q, w)
                q = q + 1
            Wend
            While r < 28
                Sheets("càlcul matricial2").Range("bi184:bv210").Cells(r, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("aq184:bd210").Cells(r, w)
                r = r + 1
            Wend
            er = er + 1
        Wend
        er = 1
        w = w + 1
    Wend
    Sheets("dintells").Range("t22") = 2
End If
End If
If Sheets("dintells").Range("j13") < 24 Then

Sheets("dintells").Range("i7") = pilarc
Sheets("dintells").Range("i8") = dintellc
If Sheets("dintells").Range("u22") = 2 Then
    Sheets("dintells").Range("t24") = 1
    no = Sheets("dintells").Range("t23")
    er = 1
    w = 1
    While w <= 14
        Sheets("càlcul matricial2").Range("f1") = w
```

```

While er <= no
  r = 1
  q = 1
  While q <= 15
    Sheets("càlcul matricial2").Range("s146:af160").Cells(q, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("c146:p160").Cells(q, w)
    Sheets("càlcul matricial2").Range("s163:af177").Cells(q, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("c163:p177").Cells(q, w)
    q = q + 1
  Wend
  While r < 28
    Sheets("càlcul matricial2").Range("bi184:bv210").Cells(r, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("aq184:bd210").Cells(r, w)
    r = r + 1
  Wend
  er = er + 1
Wend
er = 1
w = w + 1
Wend
Sheets("dintells").Range("t24") = 2
End If
End If
If Sheets("dintells").Range("j13") < 24 Then
Sheets("dintells").Range("i7") = pilard
Sheets("dintells").Range("i8") = dintellid
If Sheets("dintells").Range("u22") = 2 Then
Sheets("dintells").Range("t24") = 1
  no = Sheets("dintells").Range("t23")
  er = 1
  w = 1
  While w <= 14
    Sheets("càlcul matricial2").Range("f1") = w
    While er <= no
      r = 1
      q = 1
      While q <= 15
        Sheets("càlcul matricial2").Range("s146:af160").Cells(q, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("c146:p160").Cells(q, w)
        Sheets("càlcul matricial2").Range("s163:af177").Cells(q, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("c163:p177").Cells(q, w)
        q = q + 1
      Wend
      While r < 28
        Sheets("càlcul matricial2").Range("bi184:bv210").Cells(r, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("aq184:bd210").Cells(r, w)
        r = r + 1

```

```
Wend
er = er + 1
Wend
er = 1
w = w + 1
Wend
Sheets("dintells").Range("t24") = 2
End If
End If
If Sheets("dintells").Range("j13") < 24 Then
Sheets("dintells").Range("i7") = pilare
Sheets("dintells").Range("i8") = dintelle
If Sheets("dintells").Range("u22") = 2 Then
Sheets("dintells").Range("t24") = 1
no = Sheets("dintells").Range("t23")
er = 1
w = 1
While w <= 14
Sheets("càlcul matricial2").Range("f1") = w
While er <= no
r = 1
q = 1
While q <= 15
Sheets("càlcul matricial2").Range("s146:af160").Cells(q, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("c146:p160").Cells(q, w)
Sheets("càlcul matricial2").Range("s163:af177").Cells(q, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("c163:p177").Cells(q, w)
q = q + 1
Wend
While r < 28
Sheets("càlcul matricial2").Range("bi184:bv210").Cells(r, w) =
Sheets("càlcul matricial2").Range("aq184:bd210").Cells(r, w)
r = r + 1
Wend
er = er + 1
Wend
er = 1
w = w + 1
Wend
Sheets("dintells").Range("t24") = 2
End If
End If
MsgBox "CÀLCULS REALITZATS"
end Sub
```

II.8.-OPTIMITZACIÓ ESTRUCTURES:

Com a últim pas a l'hora d'optimitzar estructures i, per tal de poder realitzar tots els passos de dimensionament automàtic i agilitzar les operacions, s'ha creat una opció per tal d'optimitzar estructures.

Aquest procediment consisteix en una rutina de Visual basic que executa els procediments de dimensionat i optimització de les corretges, tant de coberta com laterals; així, com dels pòrtics, guardant els resultats obtinguts en repetides ocasions, cada una amb un nombre de pòrtics diferent per tal de trobar el millor disseny estructural.

Per a realitzar aquest procediment és necessari primer escollir totes les opcions de disseny:

Dimensions com la longitud o les alçades dels pilars i clau

Tancaments

Localització de la nau

Tipus d'acer de cada element

Unions entre les corretges o l'ús de tirantets.

Tipus de pòrtic a utilitzar

S'escull el nombre mínim i màxim de pòrtics que es vol utilitzar i, també, si es volen estudiar diferents llums per a l'estructura, indicant també la llum mínima i màxima com l'augment successiu que es fer en l'estudi.

Aquesta rutina permet obtenir una sèrie de resultats finals on l'usuari pot analitzar i escollir quina és la configuració en nombre de pòrtics que considera l'òptima davant les necessitats funcionals de l'estructura.

Les dades que es guardaran en forma de taula a el full del llibre HOJA2 (Fig II.8.1) per un posterior anàlisi són:

-Llum (m)

-Nº de pòrtics i separació entre ells.

-Nº de corretges òptim , perfil i pes total d'elles. Tant de coberta com laterals

-Perfils òptims de pilar i llinda per a aquesta configuració de nº de pòrtics.

- Pes total de cada pòrtic.

llum	separació portics	CORRETGES			CORRETGES LATERALS			PÒRTICS			Nº portics
		Nº	PERFIL	Kg	Nº	PERFIL	Kg	PILAR	DINTELL	Kg	

Fig II.8.1: Visat de la taula de sortida de dades de l'estudi a HOJA2.

L'opció d'optimització d'estructures es troba dins de la full de DIMENSIONS.
 S'ha d'escollir abans les opcions de disseny de tots els elements.
 S'escullen els valors mínims i màxims de pòrtics que es volen realitzar.
 Si es vol realitzar l'estudi amb diferents llums també es pot introduir les dades indicant quin és el mínim i màxim ,així com l'augment successiu de llums en cada cas.

Llum mínima : DIMENSIONS!C21

Llum màxima: DIMENSIONS!D21

Augment llum : DIMENSIONS!E21

Nº de pòrtics mínim : DIMENSIONS!C22

Nº de pòrtics màxim : DIMENSIONS!D22

Augment nº pòrtics : DIMENSIONS!E22

OPTIMITZACIÓ D'ESTRUCTURES			
	MIN	MAX	AUGMENT
LLUM	25	25	0
Nº PORTICS	9	22	1

Per iniciar els càlculs s'ha de fer clic al botó

OPTIMITZA: DIMENSIONS!F21

OPTIMITZA

II.8.1.-RUTINA OPTIMITZACIÓ D'ESTRUCTURES:

```
Private Sub CommandButton1_Click()
```

```
Dim i, j, m, n, no, l, p, ter, r, w, q, dima, dimb, dimc, dimd, limit, dime, AMPLADA,
LIMITAMPLADA, AUGMENTAMPLADA, FILA, PORTICS, maxPORTICS,
AUGMENTPORTICS, K As Integer
```

```
Sheets("corretges").Range("e16:h33").ClearContents
```

```
AMPLADA = Sheets("dimensions").Range("DIMENSIONS!C21")
LIMITAMPLADA = Sheets("dimensions").Range("DIMENSIONS!D21")
AUGMENTAMPLADA = Sheets("dimensions").Range("DIMENSIONS!E21")
FILA = 1
PORTICS = Sheets("dimensions").Range("DIMENSIONS!C22")
maxPORTICS = Sheets("dimensions").Range("DIMENSIONS!D22")
AUGMENTPORTICS = Sheets("dimensions").Range("DIMENSIONS!E22")
```

```
While AMPLADA < LIMITAMPLADA
```

```

Sheets("dimensions").Range("DIMENSIONS!C6") = AMPLADA

Sheets("hoja2").Range("HOJA2!A4:T1000").Cells(FILA, 1) = AMPLADA
Sheets("dimensions").Range("DIMENSIONS!C14") = PORTICS

While PORTICS < maxPORTICS

Sheets("dimensions").Range("DIMENSIONS!C14") = PORTICS
Sheets("hoja2").Range("HOJA2!A4:T1000").Cells(FILA, 2) =
Sheets("dimensions").Range("DIMENSIONS!C15")
Sheets("hoja2").Range("HOJA2!A4:T1000").Cells(FILA, 12) =
Sheets("dimensions").Range("DIMENSIONS!C14")
    i = Sheets("corretges").Range("corretges!d10")
    j = Sheets("corretges").Range("corretges!e10")
PES = 1000000000

m = i
n = 1
Z = 1
corretges = Sheets("corretges").Range("corretges!f5")
limit = Sheets("corretges").Range("corretges!f6")
corretges2 = Sheets("corretges").Range("corretges!f5")
While corretges < limit And Z < limit
Sheets("corretges").Range("corretges!e5") = corretges

    While n < 2 And m <= j
        Sheets("corretges").Range("corretges!e9") = m
        n = Sheets("corretges").Range("corretges!g9")
        m = m + 1
    Wend

If PES > Sheets("corretges").Range("corretges!g13") And
Sheets("corretges").Range("corretges!e6") < Sheets("corretges").Range("corretges!e7")
Then
noco = Sheets("corretges").Range("corretges!e5")
nope = Sheets("corretges").Range("corretges!e9")
PES = Sheets("corretges").Range("corretges!g13")

End If
corretges = corretges + 1
m = i
n = 1

Wend

Sheets("corretges").Range("corretges!e9") = nope
Sheets("corretges").Range("corretges!e5") = noco

```

```

Sheets("hoja2").Range("HOJA2!A4:T1000").Cells(FILA, 4) =
Sheets("corretges").Range("CORRETGES!F10")
Sheets("hoja2").Range("HOJA2!A4:T1000").Cells(FILA, 3) =
Sheets("corretges").Range("CORRETGES!E5")
Sheets("hoja2").Range("HOJA2!A4:T1000").Cells(FILA, 5) =
Sheets("corretges").Range("CORRETGES!G13")

```

```

    i = Sheets("corretges2").Range("corretges2!d10")
    j = Sheets("corretges2").Range("corretges2!e10")
pes2 = 1000000000

```

```

m = i
n = 1
corretges = Sheets("corretges2").Range("corretges2!f5")
limit = Sheets("corretges2").Range("corretges2!f6")
Z = 1
corretges2 = Sheets("corretges2").Range("corretges2!f5")

```

```

While corretges < limit And Z < (limit)
Sheets("corretges2").Range("corretges2!e5") = corretges

```

```

    While n < 2 And m <= j
        Sheets("corretges2").Range("corretges2!e9") = m
        n = Sheets("corretges2").Range("corretges2!g9")
        m = m + 1
    Wend

```

```

If pes2 > Sheets("corretges2").Range("corretges2!g13") And
Sheets("corretges2").Range("corretges2!e6") <
Sheets("corretges2").Range("corretges2!e7") Then
noco2 = Sheets("corretges2").Range("corretges2!e5")
nope2 = Sheets("corretges2").Range("corretges2!e9")
pes2 = Sheets("corretges2").Range("corretges2!g13")
End If

```

```

    Z = Z + 1
    corretges = corretges + 1
m = i
n = 1
Wend

```

```

Sheets("corretges2").Range("corretges2!e9") = nope2
Sheets("corretges2").Range("corretges2!e5") = noco2
Sheets("hoja2").Range("HOJA2!A4:T1000").Cells(FILA, 7) =
Sheets("corretges2").Range("CORRETGES2!F10")

```

```
Sheets("hoja2").Range("HOJA2!A4:T1000").Cells(FILA, 6) =  
Sheets("corretges2").Range("CORRETGES2!E5")  
Sheets("hoja2").Range("HOJA2!A4:T1000").Cells(FILA, 8) =  
Sheets("corretges2").Range("CORRETGES2!G13")
```

```
Sheets("dintells").Range("E7") = 1  
Sheets("dintells").Range("E8") = 1
```

```
    m = Sheets("dintells").Range("f7")  
    j = Sheets("dintells").Range("g7")  
    K = Sheets("dintells").Range("f8")  
    l = Sheets("dintells").Range("g8")  
    p = Sheets("dintells").Range("k9")
```

```
Sheets("dintells").Range("t24") = 1
```

```
n = 1
```

```
v = 1
```

```
a = 1
```

```
b = 1
```

```
dima = 100000000
```

```
num = 1
```

```
While m <= j
```

```
    a = 1
```

```
    K = Sheets("dintells").Range("dintells!f8")
```

```
    Sheets("dintells").Range("dintells!i7") = m
```

```
While K <= l
```

```
    Sheets("dintells").Range("i8") = K
```

```
If Sheets("dintells").Range("f6") = 1 Then
```

```
    PES = Sheets("dintells").Range("k10")
```

```
End If
```

```
    If Sheets("dintells").Range("j13") = 24 And PES < dima Then
```

```
        dima = PES
```

```
        pilara = m
```

```
        dintella = K
```

```
End If
```

```
K = K + 1
```

```
a = a + 1
```

```
Wend
```

```
    b = b + 1
```

```
    m = m + 1
```

```
Wend
```



```
Sheets("dintells").Range("dintells!i7") = pilara
Sheets("dintells").Range("dintells!i8") = dintella
Sheets("hoja2").Range("HOJA2!A4:T1000").Cells(FILA, 9) =
Sheets("dintells").Range("dintells!p4")
Sheets("hoja2").Range("HOJA2!A4:T1000").Cells(FILA, 10) =
Sheets("dintells").Range("dintells!v4")
Sheets("hoja2").Range("HOJA2!A4:T1000").Cells(FILA, 11) = dima * PORTICS
```

```
FILA = FILA + 1
```

```
PORTICS = PORTICS + AUGMENTPORTICS
```

```
Wend
```

```
AMPLADA = AMPLADA + AUGMENTAMPLADA
```

```
Wend
```

```
End Sub
```

III. VALIDACIÓ DEL LLIBRE DE CÀLCUL

III.1.- VALIDACIÓ DELS RESULTATS DE LES SOL·LICITACIONS CALCULADES:

Els valors calculats resultants de les sol·licitacions a comprovar per a cada barra o element són el factor a validar més important ja que si aquestes no són correctes o suficientment acurades no podem considerar vàlids els resultats de dimensionament i optimització

Degut a que el càlcul dels esforços resultants es pot dur a terme per diferents mètodes, s'ha de comprovar que l'utilitza't per a programar el llibre de càlcul obté uns resultats vàlids per a realitzar la seva posterior comprovació. Sinó es realitza aquesta validació qualsevol dimensionament que es realitzés amb el llibre de càlcul perdria tota credibilitat o si més no, no es podria assegurar el seu correcte resultat.

Per tal de validar els càlculs realitzats per el llibre de càlcul, es compararan els resultats dels esforços obtinguts en una sèrie de casos, amb els obtinguts per el programa comercial WINEVA, del qual s'assumeixen els seus resultats com a correctes.

El programa WinEva està destinat al càlcul de les *deformacions elàstiques i dels esforços* produïts en una estructura de barres, sotmesa a unes determinades accions.

El mètode de càlcul d'esforços del programa WINEVA consisteix en crear per separat cada un dels elements i introduir les accions i les combinacions d'aquestes per obtenir els esforços i les fletxes que s'hi provoquen amb un perfil determinat.

III.1.1.- PROCEDIMENT DE VALIDACIÓ:

El procediment dut a terme per tal de realitzar la validació es la següent:

A) Obtenció dels resultats del Llibre de càlcul: Es realitzarà com a mínim un recull de resultats per a cada opció de variables, per tal d'obtenir la verificació de resultats en totes les opcions a escollir dins del llibre de càlcul.

- 1.- Disseny de la nau: Es designen unes dimensions de la nau a dimensionar.
- 2.- Situació de la nau: Es determina la situació on es trobarà la nau, per tal d'obtenir totes les accions que influiran en el càlcul.
- 3.- Càlcul de les corretges: S'escolliran les variables a considerar en cada cas i es realitzarà el dimensionament. Sempre realitzarem la comprovació de resultats amb elements dimensionats que compleixin amb totes les comprovacions.
- 4.- Recull de resultats: Es copiaran els resultats obtinguts en totes les combinacions, en aquest cas només es comprovarà el valor dels moments.
- 5.- Recull de les accions considerades: Es guarden les accions que ha utilitzat el llibre de càlcul per posteriorment utilitzar-les en el programa WinEva. Aquests resultats es guardaran amb un mínim de 5 dígitos per realitzar el càlcul el més acurat possible.

6.-Càlcul dels elements del pòrtic: S'escolliran les variables a considerar en cada cas i es realitzarà el dimensionat. Al igual que en les corretges sempre realitzarem la comprovació de resultats amb elements dimensionats que compleixin amb totes les comprovacions

7.- Recull de les accions considerades: Es guarden les accions que ha utilitzat el llibre de càlcul per posteriorment utilitzar-les en el programa WinEva. Aquests resultats es guardaran amb un mínim de 5 dígits per realitzar el càlcul el més acurat possible.

8.- Recull de resultats: Es copiaran els resultats obtinguts en totes les combinacions

B) Obtenció dels resultats del Wineva: Per a cada recull de resultats obtingut al llibre de càlcul es realitzarà un amb les mateixes consideracions al programa Wineva.

1.- Arxiu WinEva: Per facilitar el procés de canvi d'elements es crea un arxiu Wineva on es definiran les mateixes accions (pes propi, us, vent 1, 2 i 3 i neu) i combinacions d'hipòtesis que en el llibre de càlcul. A partir d'aquest arxiu es determinaran totes les sol·licitacions a validar.

2.- Definició dels elements: Es realitza d'introducció de les dades de l'element. Es crea un element amb les mateixes dimensions i característiques que el considerat al llibre de càlcul tan en tipus d'acer, unions i perfil.

3.- introducció de les accions: En cada cas s'introdueixen les accions guardades del càlcul en el llibre de càlcul.

4.- Càlcul i recull de resultats: es realitza el càlcul i es recullen els resultats obtinguts en cada cas.

C) Comparació de resultats: es realitza la comparació dels resultats obtinguts en les sol·licitacions en tots els casos. La comparació es realitza per tan per cent amb l'operació:

$$\frac{\text{esforç Full de càlcul} - \text{esforç WinEva}}{\text{esforç WinEva}} \times 100 = \% \text{ diferencial}$$

III.1.2.- RESULTATS OBTINGUTS:

III.1.2.1.-CORRETGES:

S'han comprovat els resultats en trams de 5 metres de longitud amb les següents accions en KN/m:

P. PROPI	ÚS	VENT 1	VENT 2	VENT 3	NEU
0,5295	0,6667	-2,9324	0,1631	-3,2525	0,9917

Amb la consideració de 1 tram amb extrems articulats:

	EXCELL	WINEVA	% DIFERENCIAL
	My,Ed KN.m	My,Ed KN.m	
ELU1	0,7851	0,7850	-0,01%
ELU2	9,6623	9,6620	0,00%
ELU3	1,8653	1,8650	-0,02%
ELU4	9,1119	9,1120	0,00%
ELU5	1,7460	1,7460	0,00%
ELU6	8,7013	8,7010	0,01%
ELU7	2,8262	2,8260	-0,01%
ELU8	11,1331	11,1320	0,00%
ELU9	6,2792	6,2780	0,00%
ELU10	12,9334	12,9330	0,00%
ELU11	14,9704	14,9700	0,00%
ELU12	2,4419	2,4400	0,00%
ELU13	16,7707	16,7700	0,00%
ELU14	8,1510	8,1500	0,00%

Taula III.2.1: Resultats amb la consideració d'1 tram.

Amb la consideració de 2 trams amb extrems articulats:

	EXCELL	WINEVA	% DIFERENCIAL
	My,Ed KN.m	My,Ed KN.m	
ELU1	0,7851	0,7850	-0,01%
ELU2	9,6623	9,6620	0,00%
ELU3	1,8653	1,8650	-0,02%
ELU4	9,1119	9,1120	0,00%
ELU5	1,7460	1,7460	0,00%
ELU6	8,7013	8,7020	0,01%
ELU7	2,8262	2,8260	-0,01%
ELU8	11,1331	11,1330	0,00%
ELU9	6,2792	6,2790	0,00%
ELU10	12,9334	12,9330	0,00%
ELU11	14,9704	14,9700	0,00%
ELU12	2,4419	2,4420	0,00%
ELU13	16,7707	16,7710	0,00%
ELU14	8,1510	8,1510	0,00%

Taula III.2.2: Resultats amb la consideració de 2 trams

Amb la consideració de 3 trams amb extrems articulats:

	EXCELL	WINEVA	% DIFERENCIAL
	My,Ed KN.m	My,Ed KN.m	
ELU1	0,6281	0,6280	-0,01%
ELU2	7,7298	7,7330	0,04%
ELU3	1,4922	1,4920	-0,02%
ELU4	7,2895	7,2900	0,01%
ELU5	1,3968	1,3970	0,01%
ELU6	6,9611	6,9610	0,00%
ELU7	2,2610	2,2610	0,00%
ELU8	8,9065	8,9060	-0,01%
ELU9	5,0233	5,0240	0,01%
ELU10	10,3468	10,3470	0,00%
ELU11	11,9763	11,9760	0,00%
ELU12	1,9535	1,9540	0,02%
ELU13	13,4166	13,4160	0,00%
ELU14	6,5208	6,5210	0,00%

Taula III.2.3: Resultats amb la consideració de 3 trams

Amb la consideració de 4 trams amb extrems articulats:

	EXCELL	WINEVA	% DIFERENCIAL
	My,Ed KN.m	My,Ed KN.m	
ELU1	0,6733	0,6730	-0,05%
ELU2	8,2864	8,2820	-0,05%
ELU3	1,5997	1,5990	-0,04%
ELU4	7,8144	7,8100	-0,06%
ELU5	1,4974	1,4960	-0,09%
ELU6	7,4623	7,4580	-0,06%
ELU7	2,4238	2,4220	-0,07%
ELU8	9,5478	9,5420	-0,06%
ELU9	5,3850	5,3820	-0,06%
ELU10	11,0917	11,0860	-0,05%
ELU11	12,8386	12,8320	-0,05%
ELU12	2,0942	2,0930	-0,06%
ELU13	14,3826	14,3750	-0,05%
ELU14	6,9903	6,9870	-0,05%

Taula III.2.4: Resultats amb la consideració de 4 trams

Amb la consideració de 5 trams amb extrems articulats:

	EXCELL	WINEVA	% DIFERENCIAL
	My,Ed KN.m	My,Ed KN.m	
ELU1	0,6607	0,6610	0,04%
ELU2	8,1318	8,1370	0,06%
ELU3	1,5698	1,5710	0,07%
ELU4	7,6686	7,6730	0,06%
ELU5	1,4695	1,4700	0,04%
ELU6	7,3230	7,3280	0,07%
ELU7	2,3786	2,3800	0,06%
ELU8	9,3696	9,3750	0,06%
ELU9	5,2846	5,2880	0,07%
ELU10	10,8848	10,8910	0,06%
ELU11	12,5991	12,6060	0,05%
ELU12	2,0551	2,0560	0,04%
ELU13	14,1142	14,1230	0,06%
ELU14	6,8599	6,8640	0,06%

Taula III.2.5: Resultats amb la consideració de 5 trams

Com es pot observar les variacions de resultats no superen en cap cas el 0.1% i per tant es consideren els càlculs correctes.

Ja que els valors dels moments depenen de les constants (taula III.2.6) d'hiperestaticitat s'ha realitzat correccions als seus valors per realitzar una major aproximació. Aquestes són les k1 definitives:

Nombre de trams	1	2	3	4	5	6
k	0,125	0,125	0,1	0,1072	0,1052	0,105

Taula III.2.6: Resultats amb la consideració de 5 trams

III.1.2.2.-PÒRTICS:

S'han revisat les sol·licitacions calculades per els tres tipus de pòrtics possibles:

Pòrtics tri articulats

Pòrtics biarticulats

Pòrtics rígids

A partir de les accions descrites anteriorment per a les corretges en KN/m

ÚS	VENT 1	VENT 2	VENT 3	NEU
0,6667	-2,9324	0,1631	-3,2525	0,9917

Els valors de les taules corresponen a:

'px : Axil (KN)

'py : Tallant (KN)

'pM: Moment (KN.m)

PÒRTICS TRIARTICULAT

		Resultat Excell	Resultat WinEva	% diferencial
BARRA A	'pxA	68,292	68,375	0,12%
	'pyA	30,115	30,259	0,48%
	'pMA			
	'pxB	-35,263	35,123	0,40%
	'pyB	43,140	43,366	0,52%
	'pMB	-223,817	225,678	0,82%
BARRA B	'pxB	44,847	45,234	0,85%
	'pyB	33,064	33,123	0,18%
	'pMB	223,817	225,678	0,82%
	'pxC	-40,709	40,365	0,85%
	'pyC	-0,933	0,926	0,71%
	'PMC			
BARRA C	'pxD	44,551	44,684	0,30%
	'pyD	-60,767	61,265	0,81%
	'PmD	-388,973	386,346	0,68%
	'pxC	-40,413	40,562	0,37%
	'pyC	-4,989	5,023	0,68%
	'PMC			
BARRA D	'pxE	95,946	95,56	0,40%
	'pyE	33,298	33,356	0,17%
	'PmE			
	'pxD	-62,916	63,025	0,17%
	'pyD	-41,461	41,365	0,23%
	'PMD	388,973	386,346	0,68%

Taula III.2.7: Resultats en pòrtics triarticulats

PÒRTICS BIARTICULAT

		Resultat Excell	Resultat WinEva	% diferencial
BARRA A	'pxA	79,213	79,243	0,04%
	'pyA	32,533	32,522	0,03%
	'pMA			
	'pxB	-46,184	46,195	0,02%
	'pyB	27,198	27,197	0,00%
	'pMB	-96,280	96,32	0,04%
BARRA B	'pxB	29,471	29,47	0,00%
	'pyB	44,768	44,78	0,03%
	'pMB	96,280	96,32	0,04%
	'pxC	-25,332	25,332	0,00%
	'pyC	-1,926	1,914	0,60%
	'PmC	137,479	137,43	0,04%
BARRA C	'pxD	29,152	29,153	0,00%
	'pyD	-83,232	83,219	0,02%
	'PmD	-256,958	257	0,02%
	'pxC	-25,014	25,014	0,00%
	'pyC	-4,443	4,432	0,25%
	'PmC	-137,479	137,43	0,04%
BARRA D	'pxE	117,613	117,619	0,01%
	'pyE	29,489	29,289	0,68%
	'PmE			
	'pxD	-84,584	84,571	0,02%
	'pyD	-24,959	24,961	0,01%
	'PmD	256,958	257	0,02%

Taula III.2.8: Resultats en pòrtics biarticulats

PÒRTIC RÍGID

		Resultat Excell	Resultat WinEva	% diferencial
BARRA A	'pxA	84,628	84,659	0,04%
	'pyA	-9,259	9,276	0,19%
	'pMA	-39,265	39,303	0,10%
	'pxB	-51,599	51,611	0,02%

	'pyB	39,585	39,588	0,01%
	'pMB	-156,111	156,157	0,03%

BARRA B	'pXB	42,112	42,117	0,01%
	'pyB	49,558	49,569	0,02%
	'pMB	156,111	156,157	0,03%
	'pXC	-37,974	37,978	0,01%
	'pyC	-6,715	6,704	0,17%
	'PmC	125,604	125,662	0,05%

BARRA C	'pXD	41,253	41,258	0,01%
	'pyD	-77,205	77,192	0,02%
	'PmD	-208,491	208,52	0,01%
	'pXC	-37,115	37,12	0,01%
	'pyC	-10,470	10,459	0,10%
	'PmC	-125,604	125,662	0,05%

BARRA D	'pXE	112,198	112,204	0,01%
	'pyE	51,667	51,68	0,02%
	'PmE	147,563	147,508	0,04%
	'pXD	-79,169	79,156	0,02%
	'pyD	-37,346	37,352	0,02%
	'PmD	208,491	208,52	0,01%

Taula III.2.9: Resultats en pòrtics rígids

El diferencial màxim entre les sol·licitacions calculades al llibre i les calculades amb el Wineva no supera en cap cas l'1%, sent el més exacte el pòrtic rígid i el que obté les desviacions més grans és el triarticulat degudament a les variacions que provoquen les majors deformacions de l'estructura.

Tot i això es donen com a bons els càlculs realitzats per el llibre de càlcul.

III.3.2.- COMPARACIÓ DE RESULTATS AMB EL PROGRAMA CYPE:

Un cop s'ha comprovat que el llibre de càlcul realitza el càlcul de les sol·licitacions de cada element en les diferents configuracions introduïdes correctament, es vol realitzar la comparació dels dimensionaments obtinguts amb un programa professional molt utilitzat dins de l'àmbit.

El programa escollit es el Cype Ingenieros on s'utilitzarà el Metal3D.

Aquest programa esta adaptat a la normativa del CTE igual que el llibre de càlcul realitzat. Per tant, si els resultats de dimensionament són els mateixos podrem considerar que el llibre de càlcul realitza uns dimensionaments correctes o fiables.

El dimensionament amb el llibre d'excel es realitzarà sense considerar els càlculs dels desplaçaments ja que es un punt que el Metal3D tampoc realitza.

III.3.3.- PROCEDIMENT DE COMPARACIÓ:

El procediment dut a terme per tal de realitzar la comparació és la **el** següent:

A) Obtenció dels resultats del llibre de càlcul: Es realitzarà com a mínim un recull de resultats per a cada opció de variables, per tal d'obtenir la verificació de resultats en totes les opcions a escollir dins del llibre de càlcul.

- 1.- Disseny de la nau: Es designen unes dimensions de la nau a dimensionar.
- 2.- Situació de la nau: Es determina la situació on es trobarà la nau, per tal d'obtenir totes les accions que influiran en el càlcul.
- 3.- Dimensionament de les corretges: Es realitzarà un dimensionament automàtic per obtenir el resultat òptim.
- 4.- Recull de resultats: Es copiaran els resultats obtinguts.
- 5.- Dimensionament dels elements del pòrtic: S'escolliran les variables a considerar en cada cas i es realitzarà el dimensionat
- 6.- Recull de resultats: Es copiaran els resultats obtinguts en totes les combinacions

B) Obtenció dels resultats del CYPE:

- 1.-Es crearà una nau amb les mateixes dimensions i situació de les calculades amb el llibre de càlcul
- 2.- Definició dels elements: Es realitza d'introducció de les dades de l'element. Ja que el programa no escull ni el número de corretges millor ni el número de pòrtics crearem la nau amb el mateix número d'elements.
- 3.- Càlcul i recull de resultats: es realitza el dimensionament i es recullen els resultats obtinguts en cada cas.

III.3.4.-ANÀLISI DELS RESULTATS:

Un cop analitzats els resultats podem considerar com a molt positius els resultats. Ja que en la gran majoria coincideixen exactament els perfils escollits per ambdós programés.

A continuació s'ofereixen alguns dels resultats obtinguts. En aquests casos els dimensionaments corresponen a naus amb les següents característiques:

- 25 metres de longitud
- 6 metres d'alçada de pilars
- 6 pòrtics amb una separació de 5 metres
- Localització a zona de vent IV C.
- Acció de la neu 0.6 KN/m^2
- Llums de 15, 20 i 25 metres.
- Acer S275JR

En el cas de les corretges la coincidència es del 100% i per tant considerem com a una eina realment eficaç per a el dimensionament i optimització de corretges tant de coberta com laterals.

Resultats a les corretges de coberta:

LLum	Nº de corretges	Separació	Perfil
15 metres	4	2,52	IPE 160
20 metres	5	2.51	IPE 160
25 metres	6	2.50	IPE 160

Taula III.3.1: Resultats en corretges de coberta

Resultats a les corretges laterals:

LLum	Nº de corretges	Separació	Perfil
15 metres	3	2,88	IPE 140
20 metres	3	2.88	IPE 140
25 metres	3	2.88	IPE 140

Taula III.3.2: Resultats en corretges laterals

Pel que fa al dimensionament dels pòrtics en tots els casos el dimensionat ofert per el programa Cype es troba dins de les 5 millors combinacions ofertes per el llibre de càlcul i en la gran majoria es combinació òptima.

A continuació s'ofereixen els resultats obtinguts en el dimensionament dels pòrtics. Corresponen a les 5 millors combinacions ofertes per el llibre i en color verd la combinació oferta per el Cype:

15 metres de llum:

	Pilar	Llinda
1	HE 240 A	IPE 400
2	HE 220 A	IPE 450
3	HE 260 A	IPE 400
4	HE 200 A	IPE 500
5	HE 240 A	IPE 450

20 metres de llum:

	Pilar	Llinda
1	IPE 550	HE 280 A
2	IPE 600	HE 240 A
3	IPE 550	HE 300 A
4	IPE 600	HE 260 A
5	IPE 750 x 137*	HE 200 A

25 metres de llum:

	Pilar	Llinda
1	HE 340 A	HE 400 A
2	HE 340 A	HE 450 A
3	HE 360 A	HE 450 A
4	HE 400 A	HE 450 A
5	HE 320 A	HE 500 A

Com es pot observar en els casos de 15 i 20 metres, el dimensionament coincideix exacte entre els dos programés, però en el darrer cas de 25 metres la opció òptima no coincideix, a la primera opció, però si a la segona. Si s'observen els resultats de les comprovacions de l'opció òptima oferta per el llibre de càlcul, el rendiment de la sol·licitació d' elements comprimits i flectats es troba al 0.998 i per tant està al límit de la seva capacitat.

En aquests casos s'optaria per escollir la segona opció ja que no és convenient obtenir uns rendiments tant alts.

IV.- OPTIMITZACIÓ D'ESTRUCTURES

IV.1.- ESTUDI REALITZAT:

Una vegada realitzada la validació dels càlculs de les sol·licitacions que realitza la fulla de càlcul es realitzen una sèrie de dimensionaments per tal d'observar les variacions en els resultats en diferents situacions. I així observar les limitacions o les variables que afecten més en el dimensionat d'estructures d'aquestes característiques

S'utilitzarà la rutina d'optimització d'estructures, que engloba els dimensionaments de les corretges i els pòrtics. Aquesta rutina dona com a resultats les dades de número de pòrtics de la nau, el perfil i número de corretges òptim i el dimensionament òptim dels pilars en cada cas.

A partir d'aquestes dades es pot observar l'evolució dels pesos dels elements i el total de l'estructura degut a la variació del nombre de pòrtics. I així la possibilitat d'establir el nombre de pòrtics òptim de l'estructura, sent aquest l'últim pas a l'hora d'optimitzar les estructures.

Es realitzarà el dimensionament de tots els elements (corretges, corretges laterals i pòrtics) per a naus de 80m de llargada.

Naus situades a la Zona IV C de l'acció de vent

Amb una acció de neu de 0.6 KN/m^2

Naus amb tancaments introduïts manualment 10 KN/m^2 amb un màxim de 3 metres de separació de corretges.

Tipus d'acer en tots els elements S275JR

Els nusos entre els elements del pòrtics seran tots rígids.

Altura de pilars: 6, 7, 8 i 9 m (4 altures diferents)

Llum: 10 ,12.5 ,15, 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5 , 30, 32.5 i 35 m (11 llums diferents)

48 naus amb dimensions diferents optimitzades

Nº de pòrtics: 8 a 22 pòrtics fent variar la separació de pòrtics des de 3,5m fins a 10m.) 15 possibilitats de numero de pòrtics per a cada nau.

720 opcions de disseny per a naus de 80 m de llarg.

Es realitzarà el dimensionament de les corretges utilitzant únicament els perfils IPE. I es definiran com a continues al llarg de la nau.

Per els pòrtics es realitzarà el dimensionat per a quatre possibilitats:

Perfils IPE per a pilars i llindas

Perfils HE per a pilars i llindas

Perfils IPE per a llindas i IPE per a pilars

Perfils HE per a llindas i HE per a pilars

Amb aquestes 4 combinacions podrem observar com es comporten els perfils en cada situació

En total es realitzaran un total de 2880 dimensionaments diferents segons configuracions de pòrtics i dimensions.

S'hauran de realitzar un total de 4624 comprovacions per obtenir cada una de les opcions de disseny dimensionades i en total s'hauran fet unes 3,3 milions de comprovacions.

IV.2.- RESULTATS:

A continuació es mostren els resultats obtinguts per a cada configuració.

H pilars (m)	Llum (m)	Num. Pòrtics	SEPARACIÓ PORTICS (m)	CORRETTGES IPE			CORRETTGES LATERALS IPE			PORTICS			PES ESTRUCTURA
				Nº	PERFIL	Kg	Nº	PERFIL	Kg	PILAR	LLINDA	PES PÒRTICS	
6	10	19	4,2	5	100	6480	3	120	4992	IPE 330	IPE 200	16609	28081
6	12,5	19	4,2	5	100	6480	3	120	4992	IPE 330	IPE 240	19842	31314
6	15	18	4,4	4	120	6656	3	140	6192	HE 240 AA	IPE 300	23254	36102
6	17,5	19	4,2	6	100	7776	3	120	4992	HE 260 AA	IPE 300	28135	40903
6	20	16	5,0	5	140	10320	3	140	6192	HE 260 A	IPE 360	33711	50223
6	22,5	16	5,0	7	120	11648	3	140	6192	HE 320 AA	IPE 400	40894	58734
6	25	19	4,2	7	120	11648	3	120	4992	HE 280 A	IPE 400	51908	68548
6	27,5	14	5,7	8	140	16512	3	160	7584	HE 450 AA	IPE 500	55753	79849
6	30	17	4,7	9	120	14976	3	140	6192	HE 450 AA	IPE 500	70947	92115
6	32,5	13	6,2	8	160	20224	4	140	8256	HE 550 AA	IPE 600	76089	104569
6	35	14	5,7	10	140	20640	3	160	7584	HE 600 AA	HE 600 AA	91386	119610
6	37,5	15	5,3	9	140	18576	3	160	7584	HE 500 A	HE 600 AA	107599	133759
7	10	17	4,7	4	120	6656	4	120	6656	IPE 400	IPE 220	21787	35099
7	12,5	17	4,7	4	120	6656	4	120	6656	IPE 400	IPE 270	25236	38548
7	15	18	4,4	4	120	6656	5	100	6480	IPE 400	IPE 300	30083	43219
7	17,5	20	4,0	6	100	7776	4	100	5184	HE 280 AA	IPE 300	33901	46861
7	20	20	4,0	6	100	7776	4	100	5184	HE 280 AA	IPE 330	39023	51983
7	22,5	16	5,0	7	120	11648	4	140	8256	HE 320 AA	IPE 400	43417	63321
7	25	20	4,0	8	100	10368	4	100	5184	HE 280 A	IPE 400	57712	73264
7	27,5	15	5,3	7	140	14448	4	140	8256	HE 450 AA	IPE 500	62661	85365
7	30	17	4,7	9	120	14976	4	120	6656	HE 450 AA	IPE 500	74536	96168
7	32,5	13	6,2	8	160	20224	4	160	10112	HE 600 AA	HE 550 AA	80296	110632

H pilars	Ilum	Num. Pòrtics	separació pòrtics	CORRETGES IPE			CORRETGES LATERALS IPE			PORTICS			PES ESTRUCTURA
				Nº	PERFIL	Kg	Nº	PERFIL	Kg	PILAR	LLINDA	PES PÒRTICS	
8	10	19	4,2	5	100	6480	5	100	6480	HE 320 AA	IPE 300	32834	45794
8	12,5	15	5,3	4	140	8256	4	140	8256	HE 340 AA	IPE 330	30509	47021
8	15	15	5,3	4	140	8256	4	140	8256	HE 360 AA	IPE 330	33623	50135
8	17,5	18	4,4	5	120	8320	4	120	6656	HE 340 AA	IPE 330	40732	55708
8	20	15	5,3	5	140	10320	4	140	8256	HE 340 AA	IPE 400	41835	60411
8	22,5	16	5,0	7	120	11648	4	140	8256	HE 340 AA	IPE 400	47218	67122
8	25	15	5,3	7	140	14448	4	140	8256	HE 400 AA	IPE 450	55089	77793
8	27,5	15	5,3	7	140	14448	4	140	8256	HE 450 AA	IPE 500	65851	88555
8	30	18	4,4	8	120	13312	4	120	6656	HE 450 AA	IPE 500	82465	102433
8	32,5	16	5,0	8	140	16512	4	140	8256	HE 550 AA	HE 500 AA	92204	116972
8	35	19	4,2	9	120	14976	5	100	6480	HE 550 AA	HE 500 AA	113788	135244
8	37,5	16	5,0	9	140	18576	4	140	8256	HE 500 A	HE 600 AA	124864	151696
9	10	15	5,3	4	140	8256	6	120	9984	HE 450 AA	IPE 270	34935	53175
9	12,5	15	5,3	4	140	8256	6	120	9984	HE 450 AA	IPE 300	37575	55815
9	15	14	5,7	4	160	10112	5	140	10320	HE 450 AA	IPE 330	38353	58785
9	17,5	14	5,7	5	140	10320	5	140	10320	HE 450 AA	IPE 360	42294	62934
9	20	15	5,3	5	140	10320	6	120	9984	HE 400 AA	IPE 400	48247	68551
9	22,5	17	4,7	6	120	9984	5	120	8320	HE 400 AA	IPE 400	57210	75514
9	25	16	5,0	6	140	12384	6	120	9984	HE 400 AA	IPE 450	61674	84042
9	27,5	15	5,3	7	140	14448	6	120	9984	HE 450 AA	IPE 500	69042	93474
9	30	18	4,4	8	120	13312	5	120	8320	HE 450 AA	IPE 500	86254	107886
9	32,5	14	5,7	9	140	18576	5	140	10320	HE 600 AA	HE 600 AA	93771	122667

IV.2.1.- CORRETGES DE COBERTA:

Realitzant el dimensionament de les corretges de coberta es pot observar que les seves limitacions solen ser sempre les mateixes:

El primer aspecte, i un dels més importants, és el tipus panell utilitzat com a tancament de la nau, ja que condiciona la separació màxima de corretges . Aquesta separació limita el número de corretges mínim i , per tant, les distàncies entre corretges que suposarien un pes inferior queden descartades. Tot i això, per altra banda, també es donen casos on afegint més corretges de les necessàries per respectar la separació màxima obtenim valors de pes total inferiors.

Això es pot observar en els resultats de dimensionament d'un cas on el límit màxim de separació de corretges era de 2,5m. Es poden observar els dos casos comentats:

On l'opció de col·locar 6 corretges és la de número més baix de corretges per respectar la separació màxima, aquesta és bastant superior al valor de pes de l'opció de col·locar 5 corretges que queda descartada. Però al mateix temps s'observa com amb la col·locació de dos corretges més fins a arribar a 8, obtenim un pes total inferior degut a que els perfils utilitzats són inferiors.

nº	Separació (m)	Perfil	Pes (Kg)
2	10,12	IPE 550	33920
3	5,06	IPE 400	31824
4	3,37	IPE 360	36544
5	2,53	IPE 300	33760
6	2,02	IPE 300	40512
7	1,69	IPE 270	40432
8	1,45	IPE 240	39296
9	1,27	IPE 240	44208
10	1,12	IPE 240	49120

Taula IV.1.1: Resultats en el dimensionat automàtic de les corretges

Les accions que afecten més i per associació, les combinacions més desfavorables en tots els casos comprovats, són aquelles en les que actua el vent de succió com acció variable principal i les accions permanents minorades per considerar-les favorables. Aquest fet es dona tant en els estats límits últims com en els de serveis. Això es degut el canvi de normativa del CTE en comparació amb les NBE anteriors pel que fa a les accions del vent ha estat la introducció d'una zonificació en coberta, per establir zones on el vent actua amb accions superiors a les que s'utilitzen per comprovar els elements portants.

Un altre aspecte a destacar són les fixacions en l'eix dèbil, aquestes fixacions que limiten els valors dels moments sol·licitants i les longitud de vincament resulten determinants en l'elecció d'un perfil o un altre. Ja que les comprovacions més desfavorables o que obtenen sempre un valor de rendiment més elevat són les de:

Vinclament per bolcada lateral.

Elements comprimits i flectats.

Flexió esviada.

Com es pot comprovar en aquest exemple:

RESULTATS			η	E.L.U.
<input checked="" type="checkbox"/>	Tracció ($N_{t,Rd}$) i compressió ($N_{c,Rd}$)	OK		
Flexió simple ($M_{o,Rd}$):	<input checked="" type="checkbox"/> fort	OK	0,66	ELU ó13_
	<input checked="" type="checkbox"/> dèbil	OK	0,05	ELU ó1_ELU ó2_ELU ó3_ELU ó4_
<input checked="" type="checkbox"/>	Flexió esviada	OK	0,67	ELU ó13_
<input checked="" type="checkbox"/>	Tracció /compressió excèntrica	OK	0,67	ELU ó13_
Tallant ($V_{o,Rd}$):	<input checked="" type="checkbox"/> fort	OK	0,09	ELU ó13_
	<input checked="" type="checkbox"/> dèbil	OK	0,01	ELU ó1_ELU ó2_ELU ó3_ELU ó4_
Flexió i tallant:	<input checked="" type="checkbox"/> fort	OK		
	<input checked="" type="checkbox"/> dèbil	OK		
Pendeig per flexió:	<input checked="" type="checkbox"/> fort	OK		
	<input checked="" type="checkbox"/> dèbil	OK		
Abolladura de l'anima per tallant		OK		
<input checked="" type="checkbox"/>	Pandeig per volcada lateral:	OK	1,00	ELU ó13_
<input checked="" type="checkbox"/>	Elementos comprimidos y flectados	OK	1,00	ELU ó13_
				E.L.S.
FLETXA	L / 250	OK	0,73	ELS ó18

Taula IV.1.2: Resultats de cada verificació de les corretges

Pel que fa a l'efecte de la separació de pòrtics, en tots els casos estudiats la tendència és sempre la mateixa, el pes total de les corretges augmenta linealment amb l'augment de la distància entre pòrtics (fig IV.1.1):.

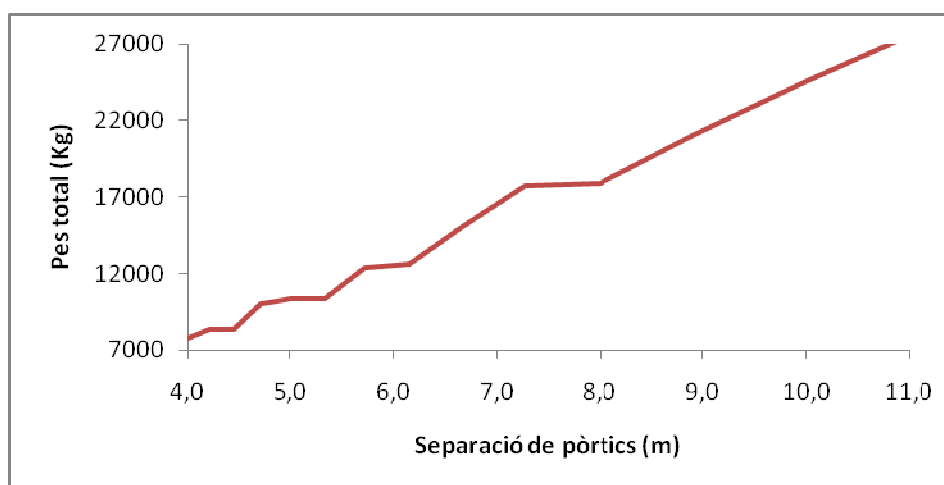


fig IV.1.1: Evolució del pes de les corretges segons la separació de pòrtics.

En aquest cas que es presenta es pot observar l'augment de pes total de les corretges respecte a la separació de pòrtics en una nau de 80 metres de llarg per 20 metres de llum.

Si s'observa l'efecte de l'altura de pilars (Fig IV.1.2 , Fig IV.1.3 i Fig IV.1.4) en el dimensionament de les corretges en les naus estudiats, sembla que el pes de les corretges en naus de llum petita <15m, el pes és més alt en pilars baixos de 6 metres respecte als més alts de 9 metres. En canvi en naus de llum gran >25m el pes és més alt en naus amb pilars més baixos. En canvi en naus de llum entre 15 i 25 metres no hi ha efecte amb el canvi de l'alçada dels pilars.

Això és degut al canvi en l'esbeltesa de la nau i, per tant, això afecte a la zona de màxima exposició al vent (ZONA F) on fa variar la seva àrea i ja que el valor del coeficient eòlic és diferent en àrees majors i menors de 10 m². Hi ha un canvi de valors.

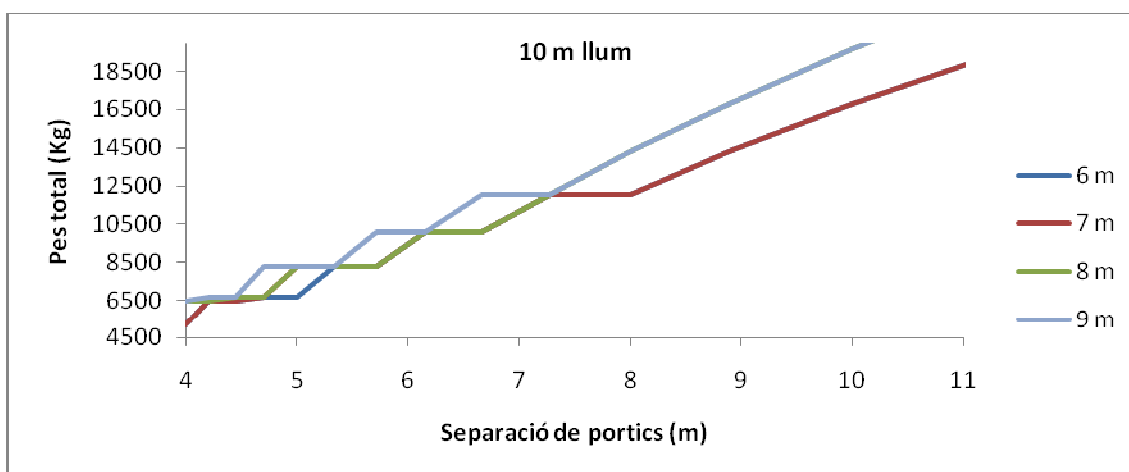


Fig IV.1.2: Comparació de l'evolució del pes de les corretges segons la separació de pòrtics.

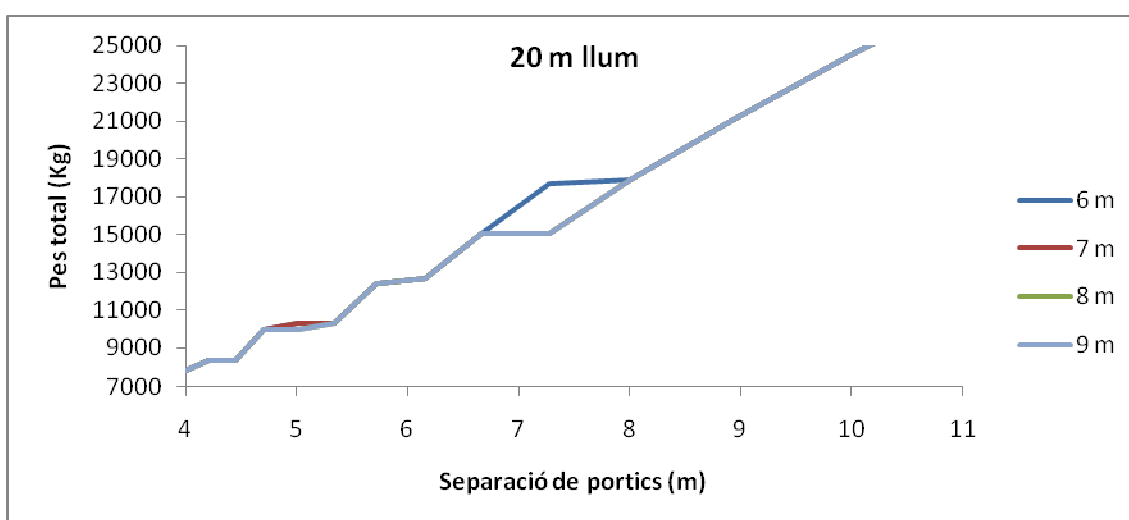


Fig IV.1.3: Comparació de l'evolució del pes de les corretges segons la separació de pòrtics

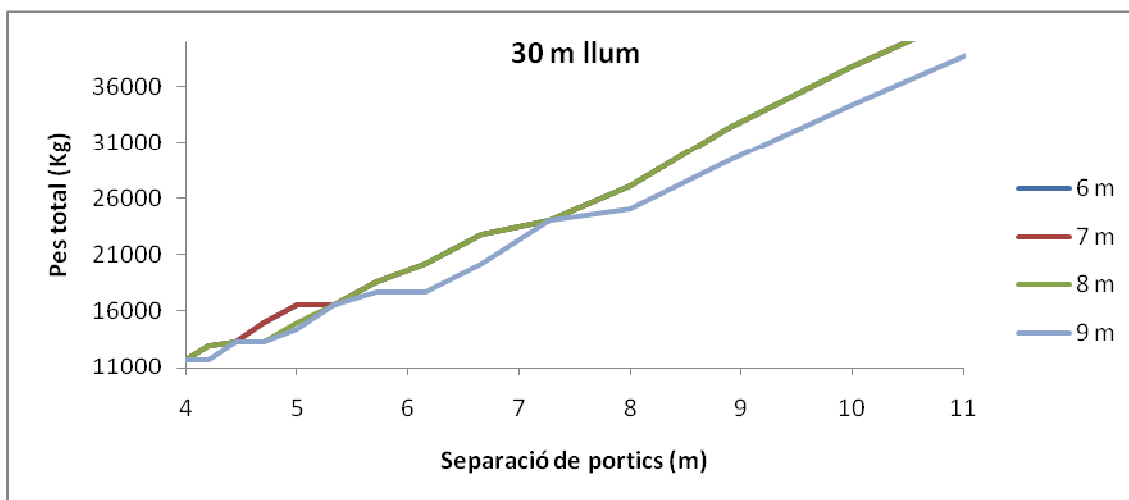


Fig IV.1.4: Comparació de l'evolució del pes de les corretges segons la separació de pòrtics

IV.2.2.-CORRETGES LATERALS:

El dimensionat de les corretges laterals ve determinat al igual que les corretges de coberta per l'acció del vent. Aquest però no es veu influenciat per l'amplada de la nau. Així per una mateixa alçada de pilars les corretges a utilitzar sempre seran les mateixes.

Pel que fa a l'efecte de la separació de pòrtics, (Fig IV.2.1) en tots els casos estudiats la tendència és sempre la mateixa, el pes total de les corretges augmenta linealment amb l'augment de la distància entre pòrtics. Com es pot observar en aquesta gràfica en el cas de naus de 9 metres de alçada de pilars :

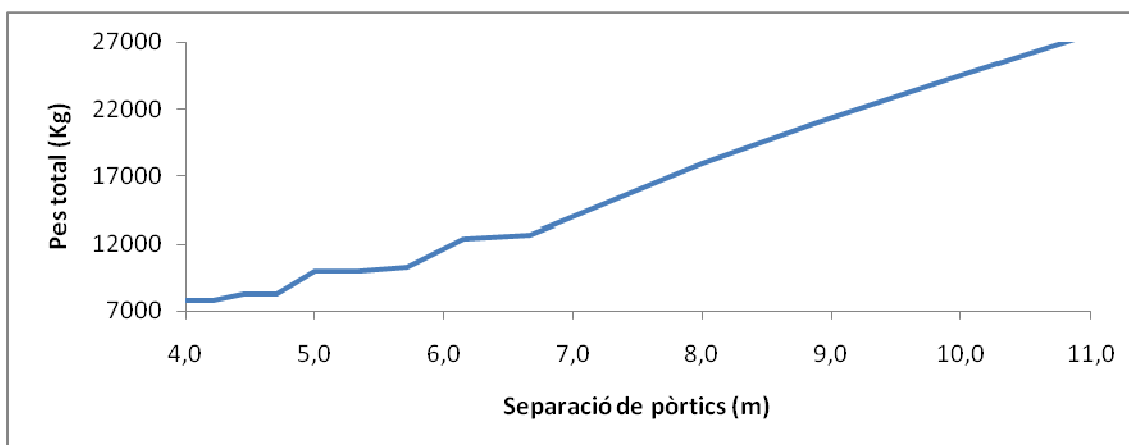


Fig IV.2.1: Comparació de l'evolució del pes de les corretges segons la separació de pòrtics

IV.2.3.-PÒRTICS:

En el dimensionament dels pòrtics intervenen més factors que en el de les corretges, ja que estan formats per quatre elements dos pilars i dos llindes.

IV.2.3.1.- LLINDES

Les accions més desfavorables o que són limitants en el dimensionament dels llindas són les càrregues verticals, ja que en les comprovacions les combinacions més desfavorables són sempre les que hi intervenen el pes propi, la sobrecàrrega d'ús i la neu.

Les comprovacions més desfavorables o que obtenen sempre un valor de rendiment més elevat són les de:

- Tracció i compressió excèntrica.
- Vinclament per bolcada lateral.
- Elements comprimits i flectats.

DINTELLS		IPÉ 450	η	classe
IPÉ		IPÉ 450	OK	1
Tracció ($N_{t,ed}$) i compressió ($N_{c,ed}$)		OK	0,02	ELU Ø4_ ELU Ø4_
Flexió simple ($M_{o,ed}$):	fort	OK	0,52	ELU Ø4_
	dèbil	OK		
Flexió esviada		OK	0,52	ELU Ø4_
Tracció /compressió excèntrica		OK	0,54	ELU Ø4_
Tallant ($V_{t,ed}$):	fort	OK	0,09	ELU Ø4_ ELU Ø4_
	dèbil	OK		
Flexió i tallant:	fort	OK		
	dèbil	OK		
Pandeig per flexió:	fort	OK	0,02	ELU Ø4_ ELU Ø4_
	dèbil	OK	0,02	ELU Ø4_ ELU Ø4_
Abolladura de l'anima per tallant		OK		
Pandeig per volcada lateral:		OK	0,58	ELU Ø4_
Elementos comprimidos y flectados		OK	0,60	ELU Ø4_
FLETXA	L/ 300	OK	0,38	ELS Ø10

Taula IV.2.1: Resultats de cada verificació de les corretges

IV.2.3.2.- PILARS:

En els pilars en canvi les sol·licitacions més desfavorables són en la gran majoria de casos les que predominen els vents en la seva ponderació.

Les comprovacions més desfavorables o que obtenen sempre un valor de rendiment més elevat són al igual que en els llindas:

Tracció i compressió excèntrica

Vinclament per bolcada lateral.

Elements comprimits i flectats.

PILARS		HE 400 AA	n	classe
HE	HE 400 AA	OK		2
Tracció ($N_{t,ax}$) i compressió ($N_{c,ax}$)		OK	0,04	ELU ϕ 4_
Flexió simple ($M_{y,Rd}$):	fort	OK	0,57	ELU ϕ 12_
	dèbil	OK		
Flexió esviada		OK	0,57	ELU ϕ 12_
Tracció i compressió excèntrica		OK	0,57	ELU ϕ 12_
Tallant ($V_{t,ax}$):	fort	OK	0,06	ELU ϕ 12_
	dèbil	OK		
Flexió i tallant:		fort	OK	
		dèbil	OK	
Pendeig per flexió:	fort	OK	0,05	ELU ϕ 4_
	dèbil	OK	0,05	ELU ϕ 4_
Abolladura de l'anima per tallant		ok		
Pandeig per volcada lateral:		OK	0,77	ELU ϕ 12_
Elementos comprimidos y flectados		OK	0,64	ELU ϕ 12_
FLETXA	L/ 300	OK	0,23	ELS ϕ 18

Taula IV.3.1: Resultats de cada verificació dels pilars

Les comprovacions de l'estructura en global i dels dos elements per separat, pilars i llindars tenen unes limitacions semblants, això s'observa en les matrius de resultats on, les zones de comprovacions correctes tenen la mateixa distribució com s'observa:

Comprovacions elements:

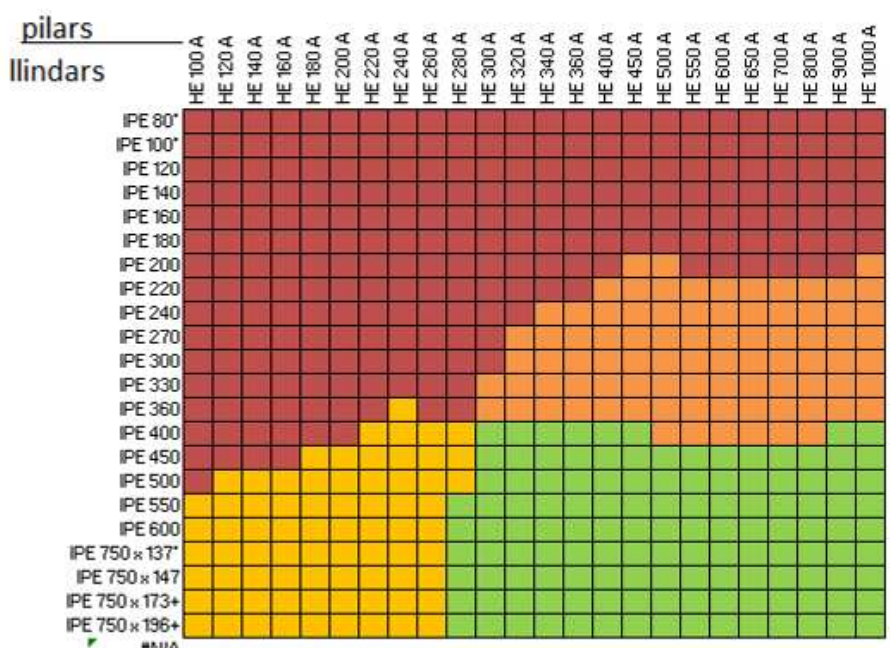


Fig IV.2.2: Matriu de resultats ELU.

Comprovacions estructura:

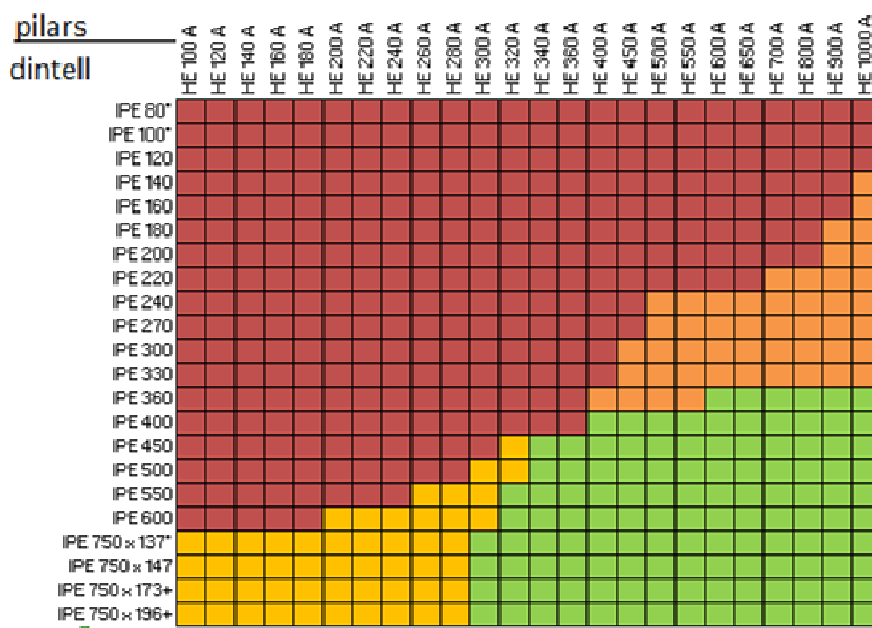


Fig IV.2.3: Matriu de resultats dels desplaçaments.

Total

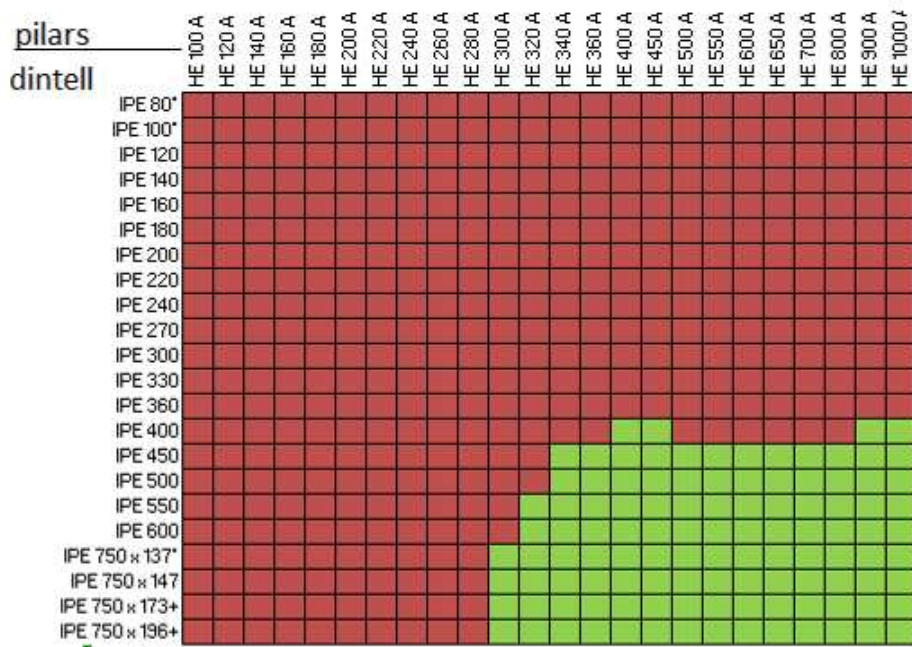


Fig IV.2.4: Matriu de resultats totals

Es pot observar com per una configuració de nau hi ha moltes possibles solucions, d'aquestes però se n'han d'extreure les més lleugeres ja que moltes d'aquestes obtenen uns rendiments molt reduïts degut a que els perfils estan sobredimensionats.

Per obtenir les combinacions més lleugeres (Taula IV.3.2) s'opta per separar les 5 que provoquen un pes més baix en total:

PILAR	LLINDAS	Pes (Kg)
HE 340 A	IPE 450	3461
HE 360 A	IPE 450	3587
HE 400 A	IPE 400	3592
HE 340 A	IPE 500	3726
HE 400 A	IPE 450	3821

Taula IV.3.2: Resultats de les 5 combinacions mes lleugeres

Es pot observar com en les combinacions de perfils més optimés hi ha canvis de perfil tant en els pilars com en les llindas. On es pot aconseguir una disminució del perfil d'un element augmentant l'altre. Ja que a part del pes total de l'estructura també és convenient aconseguir una homogeneïtat d'altures de perfil ja que així el muntatge resulta millor. Així doncs es pot observar com en l'exemple exposat, escollint la tercera millor opció segons el pes total, s'aconsegueix una mateixa longitud de perfils amb només un petit augment del pes total.

Comparant l'efecte de la separació de pòrtics, en el pes total de l'estructura portant, s'observa en tots els casos estudiats com l'augment de la separació de pòrtics provoca una disminució constant del pes total de l'estructura. Ja que l'augment de pes del pòrtics al augmentar la separació entre ells es compensa per la disminució del seu nombre. Com per exemple, en un cas de 20 metres d'amplada i 80 de llarg amb separacions de pòrtics 4 fins a 11 metres.

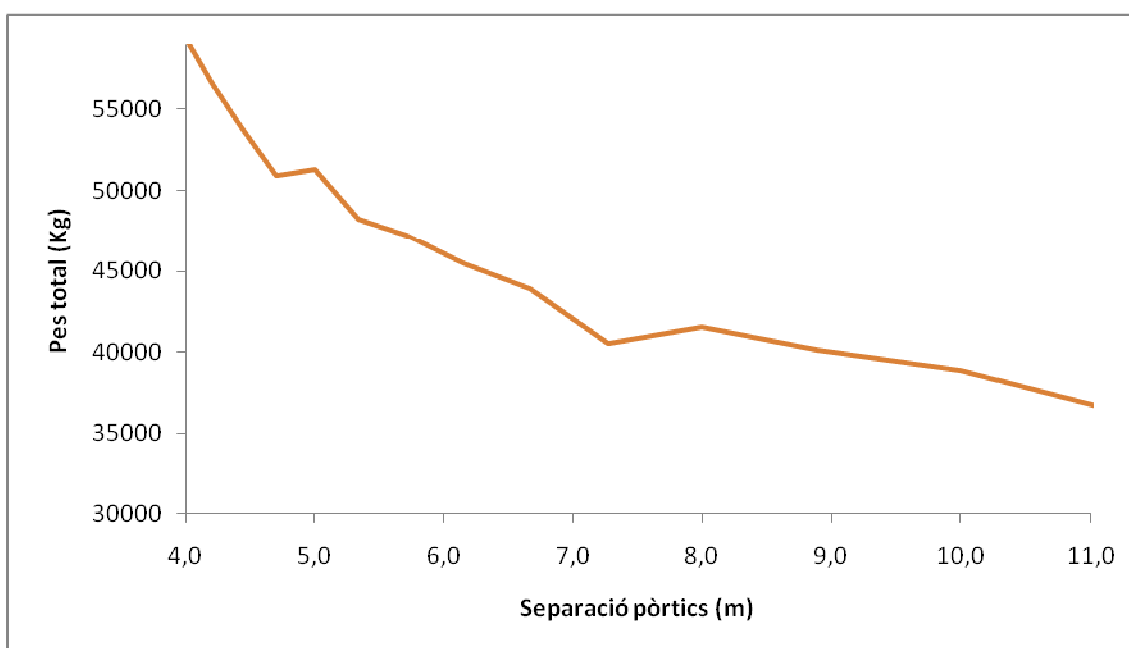


Fig IV.2.5: Evolució del pes dels pòrtics segons la separació de pòrtics

Pel que fa a les diferents combinacions de perfils en els llindas i els pòrtics hi ha una clara diferència entre l' utilització d'un o un altre en cada element segons la geometria de la planta i l'alçat de la nau:

En estructures de petita llum (<15m) i altura (<7m) la millor opció representa la combinació d'utilitzar perfils IPE en tots els elements.

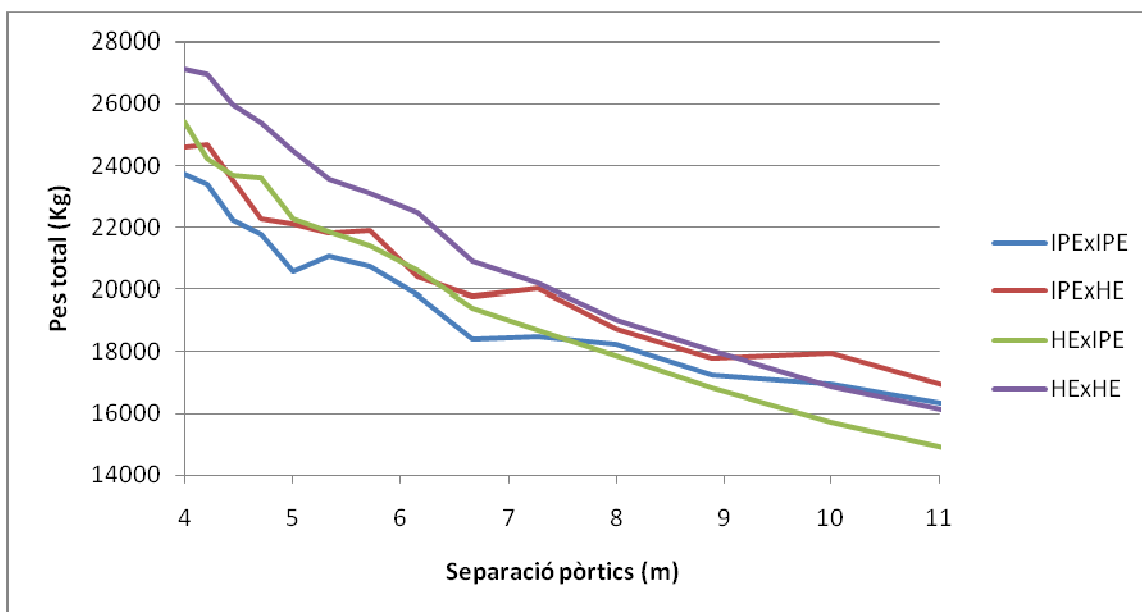


Fig IV.2.6: Comparació segons perfils de l'evolució del pes dels pòrtics segons la separació de pòrtics

Tot i això, la tendència és que en naus de dimensions normals, amb llums de més de 15 metres fins a llums de 25 metres la millor opció és la de utilitzar perfils IPE per els llindas i perfils HE per els pilars i en llums superiors als 27 metres passen a ser les combinacions de perfils HE en tots els elements.

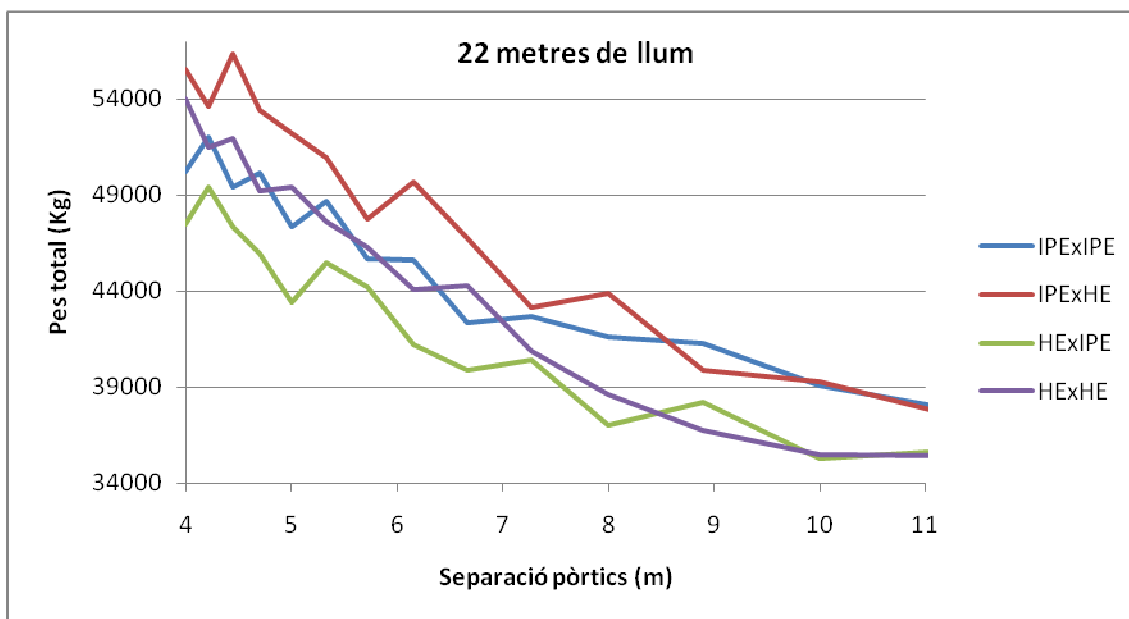


Fig IV.2.7: Comparació segons perfils de l'evolució del pes dels pòrtics segons la separació de pòrtics

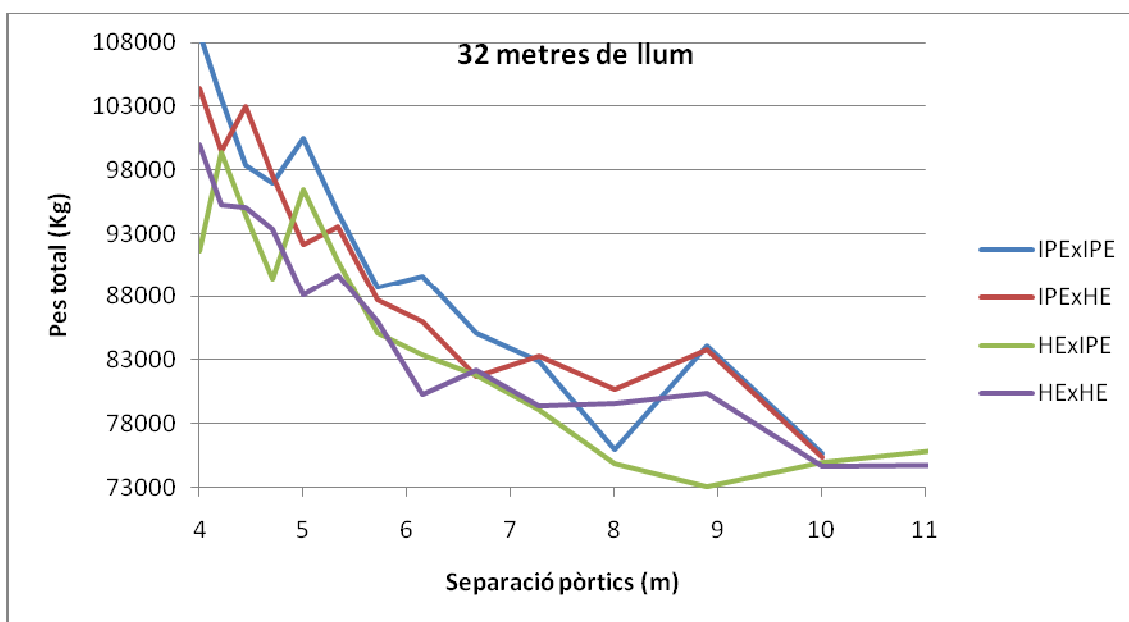
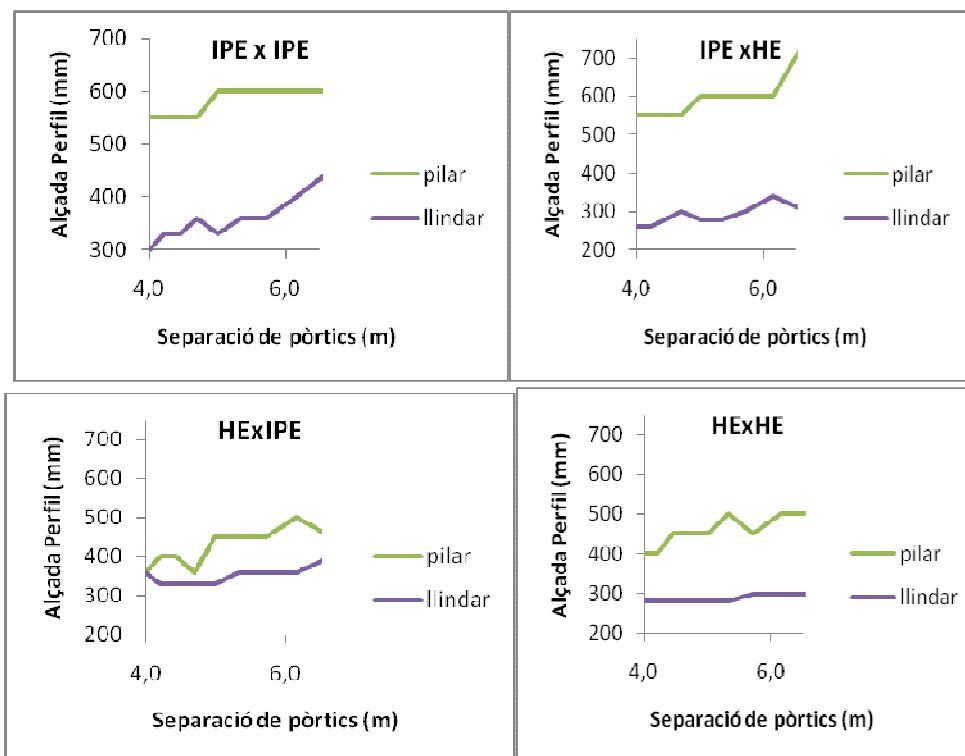


Fig IV.2.8: Comparació segons perfils de l'evolució del pes dels pòrtics segons la separació de pòrtics.

Per contra la combinació que mai es troba entre les millors opcions a utilitzar és la de perfils IPE per els pilars i HE per els llindas.

Observant també la diferencia de cantell dels perfils utilitzats de les combinacions més optimes en cada cas, observem també com la combinació IPE per llindas i HE per a pilars, s'obtenen unes alçades més homogènies que en la resta de combinacions: En aquest cas es representa el cantell de perfils de pilars i llindas en una nau de 80 metres de llarg per 17,5 metres de llum:



IV.2.4.- GLOBAL DE L' ESTRUCTURA:

Els resultats obtinguts en els pesos totals de l'estructura representen la suma en cada cas del pesos de les corretges de coberta, les corretges dels laterals i els pòrtics.

En tots els casos la tendència és sempre la mateixa (FigIV.2.9 , Fig IV.2.10 , Fig IV.211).,

De 4 a 6,5 metres de separació de pòrtics s'observa una zona de valors variables però sense cap tipus de tendència, o en alguns casos a formar una paràbola amb un mínim a l'altura del s 5 metres.

A partir dels 7 metres però la tendència és clarament ascendent amb una augment constant lineal.

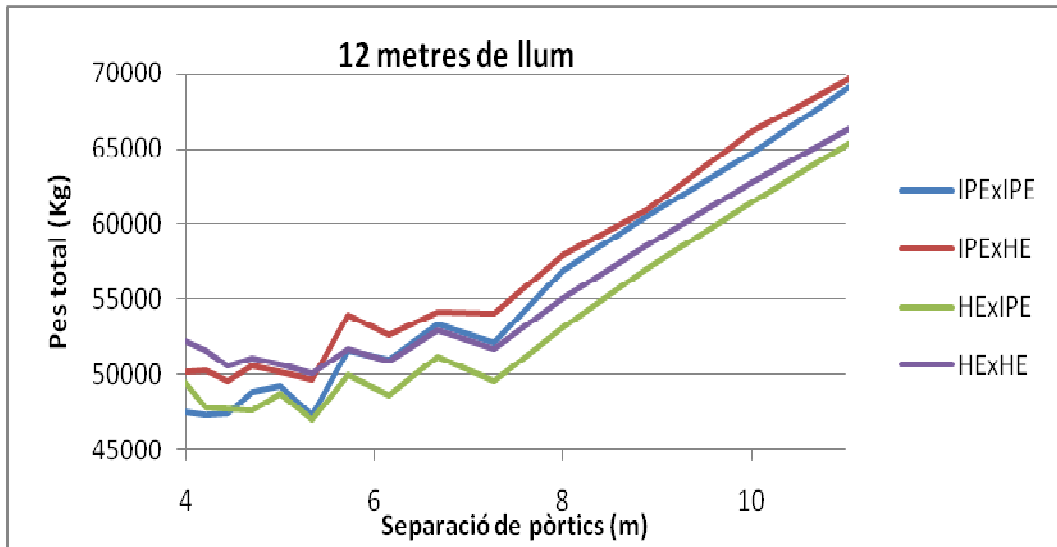


Fig IV.2.9: Comparació segons perfils de l'evolució del pes total de l'estructura segons la separació de pòrtics

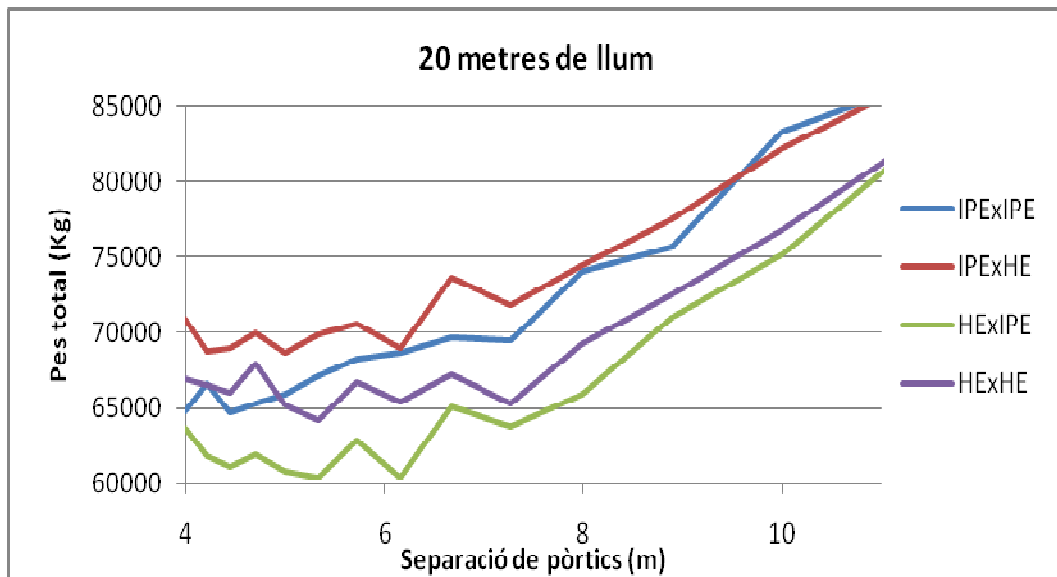


Fig IV.2.10: Comparació segons perfils de l'evolució del pes total de l'estructura segons la separació de pòrtics

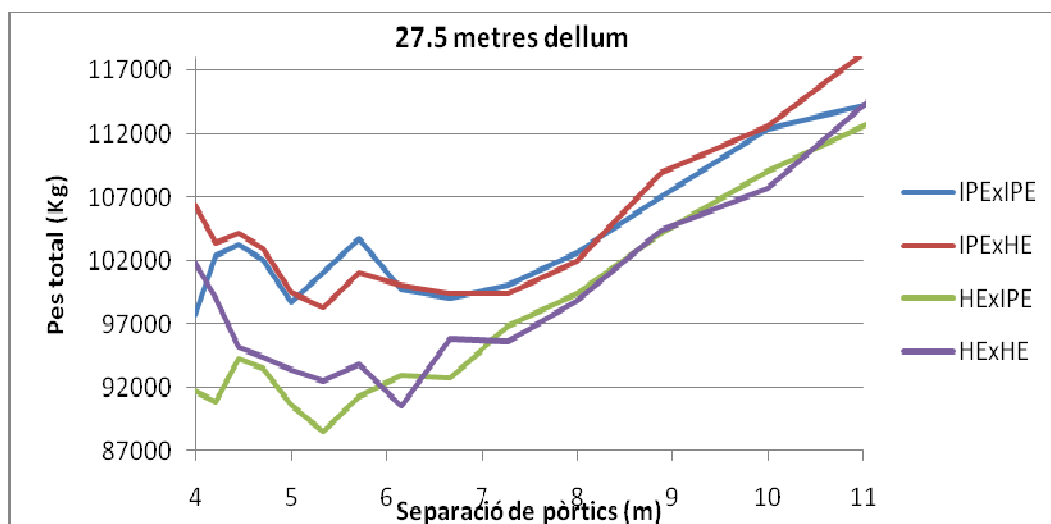


Fig IV.2.11: Comparació segons perfils de l'evolució del pes total de l'estructura segons la separació de pòrtics

V.- CONCLUSIONS

EL LLIBRE DE CÀLCUL:

El llibre de càlcul creat i provat obté uns càlculs reals i fiables de les sol·licitacions a que estarà sotmesa la nau a dimensionar i en dimensiona els elements seguint els límits de la normativa existent.

L'única manera d'obtenir una solució més propera a l'òptim és amb la comparació dels resultats de totes les possibles solucions. Un aspecte que està contemplat dins del llibre de càlcul creat però que no és utilitzat en els programes comercials contrastats.

S'ha creat una eina on es podran dur a terme comparacions de resultats a partir d'introduir variacions programades als factors de disseny de l'estructura.

Es per destacar l'avantatge de l'ús del programa Excel per dur a terme aquest treball, ja que tot el procés de càlcul, la sortida de resultats, o els criteris d'optimització o comparació poden ser fàcilment interpretats i modificats per part d'un usuari que desitgi ampliar o millorar el llibre.

L'OPTIMITZACIÓ DE NAUS:

La modulació dels elements com la separació de corretges i la separació de pòrtics és un factor determinant en l'obtenció d'una estructura pròxima a l'òptim.

La separació entre 4 i 6 metres resulta la millor en tots els casos provats i per tant si no es per necessitat expressa de l'usuari no es recomana realitzar naus porticades amb perfils d'ànima plena superiors a 7 metres.

També en les corretges, a part de la separació entre pòrtics, és important no fixar un valor de separació, sinó, només fixar un màxim degut a la limitació dels tancaments.

Sembla ser que per naus d'acer amb pòrtics d'ànima plena la millor combinació de perfils per els pilars i llindas en la majoria de casos és realitzar els llindas amb perfils IPE i els pilars amb perfils HE.

Tret de naus amb unes dimensions reduïdes, llum més petita de 15 metres i una alçada de pilars més petita de 7 metres on la millor opció sembla ser la de realitzar tota l'estructura amb perfils IPE. I per altra banda en naus de grans dimensions, amb llums de més de 25 metres la configuració ideal passa a ser la de realitzar l'estructura amb perfils HE.

El procés pràctic d'optimització s'ha realitzat a mode de prova del llibre de càlcul, i un cop obtinguts els resultats, podem observar que per aconseguir una aproximació més gran a l'òptim s'haurien de considerar més combinacions possibles, com per exemple, realitzar el dimensionat de les corretges utilitzant diferents series de perfils, ja que en alguns casos altres series actuaran més eficientment.

VI. BIBLIOGRAFIA

VI.1.- BIBLIOGRAFIA:

- 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).
- R. ARGÜELLES ALVAREZ R, R Y JM ARGÜELLES BUSTILLO, F ARRIAGA MARTITEGUI, JR ATIENA REALES. Estructuras de acero uniones y sistemas estructurales, segunda edición (2007)
- ITEA, Guía de diseño para edificios con estructura de acero, Instituto Técnico de la Estructura en Acero, San Sebastián *Tomo 9*, (1999).
- ENRIQUE HERNÁNDEZ MONTES, EDELMIRO RÚA ALVAREZ .Calculo en segundo orden, en la normativa europea .Revista de obras publicas. no 3.336.141. octubre (1994)
- IGLESIAS RODRÍGUEZ, JOSÉ MARÍA. Análisis matricial de estructuras de barras: Edicions de la Universitat de LLeida, DL (1996)

INDEX:

	Pag.
<u>I.- INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS:</u>	2
I.1.- INTRODUCCIÓ.....	3
I.2.- OBJECTIUS.....	6
<u>II.- EL LLIBRE DE CÀLCUL</u>	7
II.0.-INICI.....	8
II.0.1.- FORMATS DE L'APARTAT.....	8
II.0.2.- CREACIÓ I DESENVOLUPAMENT DEL LLIBRE DE CÀLCUL.....	8
II.0.2.1.- ESTRUCTURA DEL LLIBRE DE CÀLCUL.....	8
II.0.2.2.- INTRODUCCIÓ DE DADES DINS EL LLIBRE DE CÀLCUL.....	10
II.0.3 DIAGRAMA DE BLOCS DEL FUNCIONAMENT DEL LLIBRE DE CÀLCUL.....	11
II.0.3.1 INTRODUCCIÓ DINS DEL LLIBRE DE CÀLCUL.....	12
II.1.- DEFINICIÓ DE LA NAU:	18
II.1.1.- GEOMETRIA DE LA NAU.....	18
II.1.1.1.- DIMENSIONS EN PLANTA.....	18
II.1.1.2.- MÉSURES D'ALÇAT.....	19
II.1.1.3.- PÒRTICS.....	20
II.2.- ACCIONS.....	20
II.2.1.- PES PROPI.....	21
II.2.1.1.-TANCAMENTS.....	21
II.2.1.1.1.-TANCAMENTS DE COBERTA.....	22
II.2.1.1.2.-TANCAMENTS LATERALS.....	23
II.2.2.- SOBRECARGA D'ÚS.....	24
II.2.3.- ACCIÓ DEL VENT.....	24
II.2.4.- CARREGA DE NEU.....	31
II.3.- BASE DE DADES.....	33
II.4.- EXIGÈNCIES BÀSIQUES DE SEGURETAT ESTRUCTURAL.....	34
II.4.1.-VERIFICACIONS BASADES EN COEFICIENTS PARCIAIS.....	34
II.4.2.- CAPACITAT PORTANT.....	35
II.4.2.1.- COMBINACIONS: ELU.....	35
II.4.3.- APTITUD AL SERVEI.....	36
II.4.3.1.- COMBINACIONS: ELS.....	36
II.5.- COMPROVACIONS DELS ESTATS LÍMITS.....	37
II.5.1.-CARACTERÍSTIQUES DE LA BARRA.....	39
II.5.1.1.-LONGITUDS.....	39
II.5.1.2.-CARACTERÍSTIQUES MECÀNIQUES DE L'ACER.....	39
II.5.1.3.-SECCIÓ DEL PERFIL.....	40
II.5.2.- ESTATS LÍMIT ULTIMS.....	42

II.5.2.1.- ESFORÇOS SOL·LICITANTS.....	42
II.5.2.2.- CLASSIFICACIÓ DE SECCIONS.....	43
II.5.2.2.2 CLASSIFICACIÓ D'ÀNIMES.....	44
II.5.2.2.3 CLASSIFICACIÓ D'ALES.....	49
II.5.2.2.- RESISTENCIA DE SECCIONS.....	51
II.5.2.3.- RESISTÈNCIA DE LES BARRES.....	56
II.5.3.- ESTATS LÍMIT DE SERVEI.....	67
II.5.3.1.- FLETXES.....	67
II.5.3.2.- DESPLAÇAMENTS.....	70
II.5.3.2.1.- DESPLAÇAMENTS HORIZONTALS.....	70
II.5.2.2.2.- DESPLAÇAMENTS VERTICALS	71
II.6.- CORRETGES.....	72
II.6.1.- CONSIDERACIONS.....	72
II.6.2.- OPCIONS DE DISSENY.....	73
II.6.2.- CÀLCULS.....	74
II.6.2.1.- CALCUL DE SOL·LICITACIONS.....	74
II.6.2.2.- COMPROVACIONS.....	79
II.6.3.- DIMENSIONAT.....	81
II.6.3.1.- SELECCIÓ DEL PERFIL MANUAL.....	81
II.6.3.2.-DIMENSIONAMENT AUTOMÀTIC.....	81
II.6.3.2.1.- RUTINA OPTIMITZACIÓ DE LES CORRETGES.....	83
II.7.- PORTICS.....	85
II.7.1.- CONSIDERACIONS	85
II.7.2.- OPCIONS DE DISSENY.....	87
II.7.2.- CÀLCULS.....	89
II.7.2.1.- ANÀLISIS DE PRIMER ORDRE.....	89
II.7.2.1.1.-CÀLCUL MATRICIAL.....	91
II.7.2.2.- ANÀLISIS DE SEGON ORDRE.....	107
II.7.2.2.1.- PROCEDIMENT ITERATIU.....	109
II.7.2.2.2.-RUTINA SEGON ORDRE.....	111
II.7.3.-DIMENSIONAT DELS PÒRTICS.....	112
II.7.3.1.- DIMENSIONAT MANUAL.....	112
II.7.3.2.- DIMENSIONAMENT AUTOMÀTIC DE PÒRTICS.....	113
II.7.3.2.1.- RUTINA: OPTIMITZACIÓ DE PÒRTICS.....	117
II.8.- OPTIMITZACIÓ D'ESTRUCTURES.....	124
II.8.1.-RUTINA OPTIMITZACIÓ D'ESTRUCTURES.....	125
III.- VALIDACIÓ DEL LLIBRE DE CÀLCUL	130
III.1.- VALIDACIÓ DELS RESULTATS DE LES SOL·LICITACIONS CALCULADES	131
III.1.1.- PROCEDIMENT DE VALIDACIÓ.....	131
III.1.2.- RESULTATS OBTINGUTS.....	132
III.1.2.1.-CORRETGES.....	132

III.1.2.2.-PÒRTICS.....	135
III.2.- COMPARACIÓ DE RESULTATS AMB EL PROGRAMA CYPE.....	138
III.2.1.- PROCEDIMENT DE COMPARACIÓ.....	139
III.2.2.-ANÀLISI DELS RESULTATS.....	139
<u>IV.- OPTIMITZACIÓ D'ESTRUCTURES.....</u>	<u>142</u>
IV.1.- ESTUDI REALITZAT.....	143
IV.2.-RESULTATS.....	144
IV.2.1.- CORRETTGES DE COBERTA.....	147
IV.2.2.-CORRETTGES LATERALS.....	150
IV.2.3.-PÒRTICS.....	151
IV.2.3.1.-LLINDES.....	151
IV.2.3.2.-PILARS.....	151
IV.2.4.-GLOBAL DE L' ESTRUCTURA.....	157
<u>V.- CONCLUSIONS.....</u>	<u>160</u>
<u>VI.- BIBLIOGRAFIA.....</u>	<u>162</u>