

# CONSTRUCCIONS INDUSTRIALS

Christian Escrig Pérez

## TEMA 1: Introducció

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola d'Enginyeria de Terrassa

Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria



Attribution-Noncommercial 2.5

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/es/deed.ca>





## TEMA 1: INTRODUCCIÓ

### - DESCRIPCIÓ DE L'ASSIGNATURA

- Dades generals
- Objectius
- Requeriments previs
- Construcció Industrial: context en l'assignatura
- Programa
- Sistema d'avaluació
- Bibliografia

### - PREGUNTES I CONCLUSIONS

- Preguntes
- Conclusions



## TEMA 1: INTRODUCCIÓ

### - CONCEPTES BÀSICS D'ELASTICITAT I RESISTÈNCIA DE MATERIALS

- Definicions
- Diagrama tensió – deformació
- Tipologies de tensions



## DADES GENERALS

### *CONSTRUCCIONS INDUSTRIALS*

Professor: Christian Escrig Pérez

Adreça electrònica: [christian.escrig@upc.edu](mailto:christian.escrig@upc.edu)

Horari de consultes: DX, 15:00 – 18:00h i DJ, 15:00 – 17:00h.

Edifici TR45, Planta 1a, Dept. Resistència de Materials. Despatx 137.



### OBJECTIUS

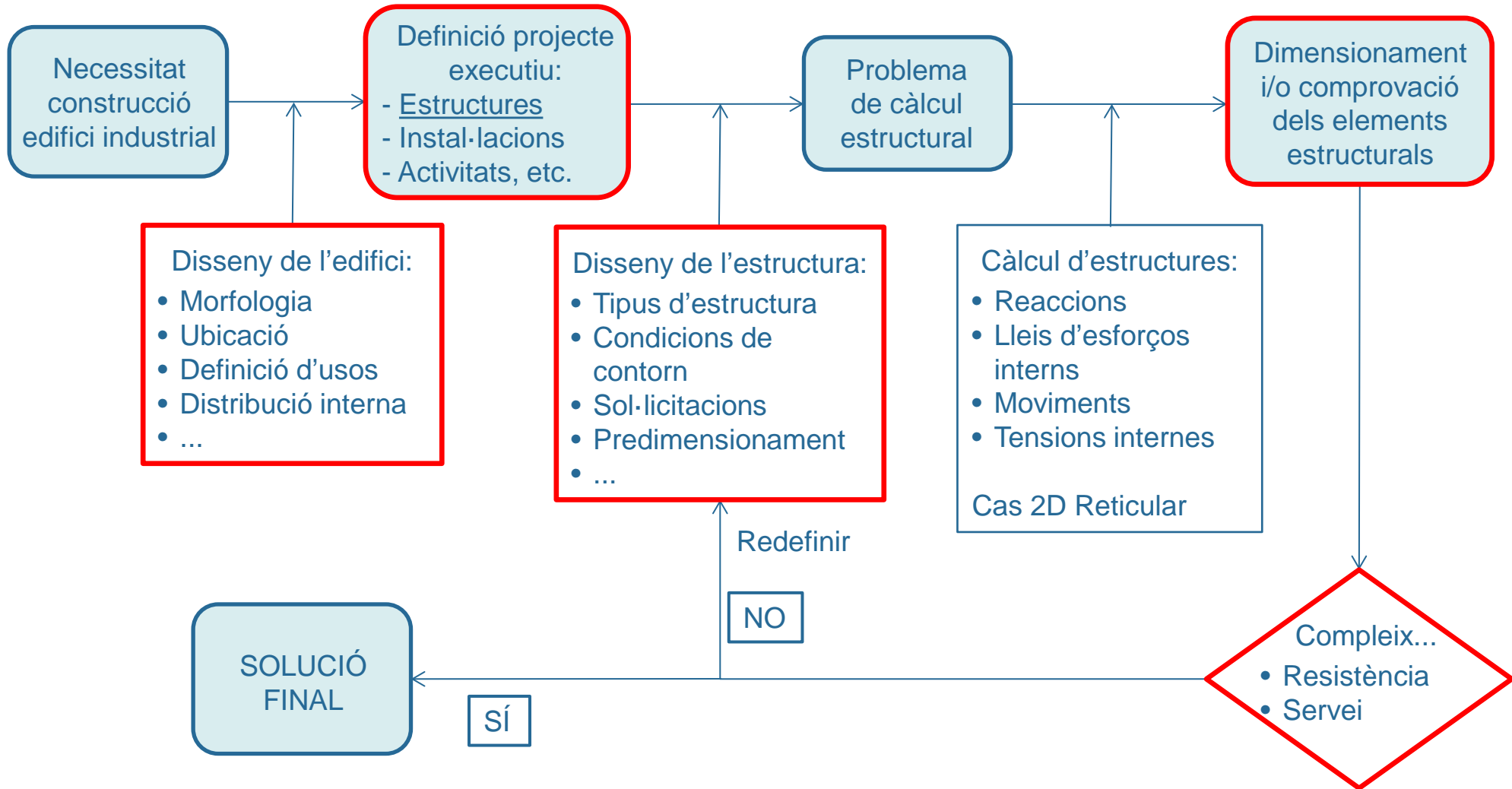
- **Enumerar i descriure** les diferents parts del procés d'execució d'un edifici industrial i les figures laborals que pot desenvolupar un enginyer en el mateix.
- **Dissenyar** l'estructura d'un edifici industrial. **Identificar i descriure** les diferents tipologies de pòrtics més habituals i els elements estructurals que els componen.
- **Dimensionar i/o comprovar tensionalment** els elements estructurals d'un edifici industrial (estructures metàl·liques) d'acord amb la normativa vigent. Ús de càlcul plàstic i consideració d'instabilitats.
- **Analitzar i interpretar** la documentació d'ús habitual per al dimensionament d'elements estructurals (normatives, promptuaris, ...).

### REQUERIMENTS PREVIS

- Haver cursat l'assignatura d'**Elasticitat i Resistència de Materials** i tenir clars els conceptes claus que s'hi descriuen.



### CONSTRUCCIÓ INDUSTRIAL: CONTEXT EN L'ASSIGNATURA





### PROGRAMA (1 de 5)

1. Introducció
  - Descripció de l'assignatura.
  - Preguntes i conclusions.
  - Conceptes bàsics d'Elasticitat i Resistència de Materials.
2. Disseny i execució d'un edifici industrial
  - Etapes del procés constructiu d'un edifici industrial.
  - L'enginyer en la construcció.
  - Normatives.
3. Urbanisme
  - Ordenació del territori.
  - Normatives urbanístiques.



### PROGRAMA (2 de 5)

4. Composició estructural d'un edifici industrial
  - Morfologia de l'edifici: tipus de coberta.
  - Tipologies de materials estructurals.
  - Descripció dels elements estructurals.
  - Tipologies de pòrtics.
  
5. Introducció a les estructures metàl·liques
  - Les estructures metàl·liques...
  - El material acer.
  - Procés de fabricació.
  
6. Projecte i càlcul d'estructures d'acer
  - Criteris de ruptura.
  - Bases de projecte.
  - Mètode dels estats límit.
  - Accions.
  - Materials.





### PROGRAMA (3 de 5)

#### 7. Estat Límit de Servei (ELS)

- Deformacions.

#### 8. Estat Límit Últim (ELU)

- Flexió simple. Conceptes bàsics de càlcul elàstic.
- Plasticitat.
- Classificació de seccions.
- Resistència de les seccions sotmeses a esforç axil o flector.
- Resistència de les seccions sotmeses a esforç tallant.
- Interacció d'esforços.

#### 9. Inestabilitats locals

- Vinclament



### PROGRAMA (4 de 5)

10. Dimensionament i comprovació d'elements estructurals

11. Estructures de formigó armat prefabricat

- Introducció.
- Definició.
- Evolució de la prefabricació.
- Marc actual.
- Comparativa de processos productius.
- Objectius a mig termini.
- Aplicacions representatives.
- Conclusions.



### PROGRAMA (5 de 5)

SETMANA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T1. Introducció	■	■												
T2. Disseny i execució d'un edifici industrial		■	■											
T3. Urbanisme				■	■									
T4. Composició estructural d'un edifici industrial		■	■											
T5. Introducció a les estructures metàl·liques			■	■	■									
T6. Projecte i càlcul d'estructures d'acer					■	■								
T7. Estat Límit de Servei (ELS)							■	■						
T8. Estat Límit Últim (ELU)							■	■	■	■		■		
T9. Inestabilitats											■			
T10. Dimensionament i comprovació d'elements estructurals													■	■
T11. Estructures de formigó armat prefabricat												■		

■ Grup Teoria  
■ Grup Problemes



### SISTEMA D'AVALUACIÓ

$$NF=0,50 \cdot N.T.E.+0,50 \cdot N.C.I. ; \quad N.C.I.=0,40 \cdot N.E.F. + 0,30 \cdot N.E.P. + 0,20 \cdot N.P. + 0,10 \cdot N.A.C.$$

On:

- N.E.F. és la qualificació obtinguda de l'**examen final**
- N.E.P. és la qualificació obtinguda de l'**examen parcial**
- N.P. és la qualificació obtinguda dels **2 problemes** proposats durant el curs
- N.A.C. és la qualificació obtinguda de les **activitats complementàries**

### Activitats Complementàries

- Activitats relacionades amb el temari en curs per a realitzar tant a l'aula com a casa.
- Durant el curs només es corregiran algunes activitats de forma aleatòria.
- **Només seran avaluades aquelles activitats entregades en el termini establert.**
- Si per motiu **justificat** un alumne no pot assistir algun dia a classe i vol recuperar les activitats, cal que avisi al professor **com a màxim el mateix dia.**
- Aquestes hauran de ser entregades abans de l'inici de la següent classe o en el termini acordat amb el professor.



### BIBLIOGRAFIA (1 de 2)

#### Bàsica

- Apunts de l'assignatura en format digital.

#### Complementària

- Argüelles Álvarez, R., Argüelles Bustillo, R., Arriaga, F. y Atienza, J.R. Estructuras de acero. Cálculo, Norma básica y Eurocódigo. Madrid, Ediciones Técnicas y Científicas Bellisco. 1999.
- Argüelles Álvarez, R. La Estructura Metálica Hoy (5 Tomos). Madrid, Librería Técnica Bellisco. 1983.
- Arnedo Pena, A. Naves Industriales con Acero. 2ª edició. Publicaciones Apta. 2009.
- Ensidesa. Manuales sobre la Construcción con Acero (3 Tomos). Madrid, Publicaciones ENSIDESA. Empresa Nacional de Siderurgia S.A. 1990.



### BIBLIOGRAFIA (2 de 2)

#### Normativa

- AENOR. UNE-EN 1990. Eurocódigo 0: Bases de proyecto. 1991.
- AENOR. UNE-EN 1993-1-1. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. 1993.
- Ministerio de Fomento. DB-SE. Seguridad Estructural. Madrid, 2006.
- Ministerio de Fomento. DB-SE-A. Acero. Madrid, 2006.
- Ministerio de Fomento. DB-SE-AE. Acciones en la edificación. Madrid, 2006.
- Ministerio de Fomento. EAE. Instrucción de Acero Estructural. Madrid, 27 de Mayo de 2011.

#### Promptuaris

- Arcelor. Vigas, perfiles y comerciales. Arcelor sections Commercial S.A. Arcelor group. Luxembourg. 2005.
- Ensidesa. Acero para estructuras de edificación, valores estáticos, estructuras elementales. Manuales para la construcción con acero. Tomo 2. Madrid, Publicaciones ENSIDESA. Empresa Nacional de Siderurgia S.A. 1990.



### PREGUNTES (1 de 2)

- Què és una estructura?
- A l'arquitectura i l'enginyeria, (...) és la disposició dels elements que sostenen una construcció, ja sigui edifici, pont, vaixell, avió, moble o altre anàloga (vikipèdia).
- Part de la construcció encarregada de garantir la funcionalitat, la seguretat i el confort dels agents que es relacionen amb la mateixa.
- Conjunt d'elements en equilibri que donen forma a l'edifici i que, tant en fase d'obra com de servei, són capaços de resistir les accions a que està sotmesa la construcció i transmetre-les al terreny.



### PREGUNTES (2 de 2)

- Quin és el percentatge sobre el total del cost d'un edifici industrial representa l'estructura (incloent fonamentacions)?
- En **condicions normals** (fonamentacions superficials i instal·lacions habituals), el **cost de l'estructura** representa entre el **30% i el 40% del pressupost** total d'execució.
- És l'estructura d'un edifici industrial un element que influeix directament en la productivitat, publicitat o millora del producte industrial?
- Generalment **no**. En canvi, altres elements de l'edifici industrial, com les **instal·lacions**, les **façanes**, etc., sí que hi poden influir.





## CONCLUSIONS

- El **dimensionament** i l'**execució** dels diferents elements estructurals d'un edifici està regulat per **normatives, codis**, etc.
- És **responsabilitat** dels diferents agents que intervenen en el disseny i execució d'un edifici **garantir** que aquest disposi dels **elements estructurals** necessaris per a **assegurar** la seva **integritat i funcionalitat**.
- La percepció que té un **promotor** d'un edifici industrial és que l'**estructura no representa una inversió rendible**, ja que representen uns **costos elevats** sobre el total de l'edifici que **no influeixen sobre la qualitat del producte final**.
- Un **projectista** ha de sintetitzar aquestes dues tendències: **dissenyar una estructura que garanteixi la integritat i funcionalitat de l'edifici**, i que a la vegada, representi el **mínim cost** en el conjunt de l'obra.



### DEFINICIONS

#### ***Tensió***

- Estat d'un cos sotmès a l'acció de forces externes oposades, o també...
- Esforç intern (reacció) que pateix un cos sotmès a l'aplicació d'una força externa que no li provoca cap acceleració.

#### ***Tensió mecànica ( $\sigma$ )***

- Força per unitat d'àrea en l'entorn d'un punt material sobre la superfície d'un cos.
- S'expressa en unitats de força dividit per unitats de superfície.

#### ***Deformació ( $\epsilon$ )***

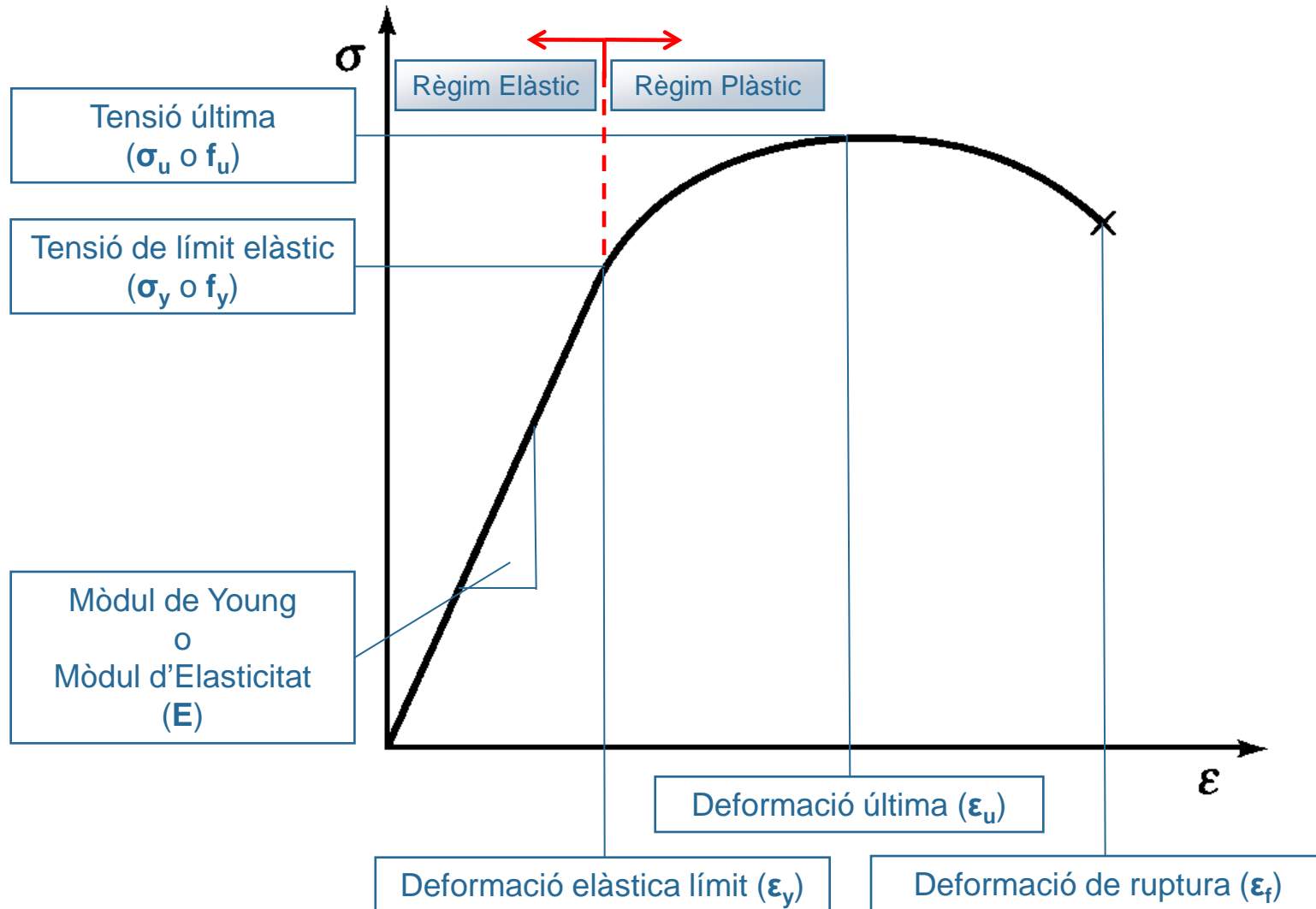
- Canvi de la mida i/o de la forma d'un cos degut a *esforços interns produïts per forces externes aplicades sobre ell mateix*.
- Magnitud adimensional.

#### ***Esforç ( $N, M, V, \dots$ )***

- Conjunt de forces i moments estàticament equivalents a la distribució de tensions sobre l'àrea de la secció.



### DIAGRAMA TENSIÓ – DEFORMACIÓ (1 de 4)





### DIAGRAMA TENSIÓ – DEFORMACIÓ (2 de 4)

#### ***Tensió de límit elàstic ( $\sigma_y$ o $f_y$ )***

- Tensió a partir de la qual, si es segueix augmentant la magnitud de força aplicada al cos, s'inicien les deformacions plàstiques del mateix.
- Punt habitual de disseny en el dimensionament d'estructures.

#### ***Deformació elàstica límit ( $\epsilon_y$ )***

- Màxima deformació elàstica permesa pel cos.
- Des d'aquest punt, si es segueix augmentant la magnitud de força aplicada al cos, les deformacions ocasionades esdevindran permanents.

#### ***Tensió última ( $\sigma_u$ o $f_u$ )***

- Tensió màxima que pot suportar un cos.

#### ***Deformació última ( $\epsilon_u$ )***

- Deformació del cos quan aquest suporta la tensió màxima.
- Està formada per una component elàstica ( $\epsilon_y$ ) i una component plàstica.



### DIAGRAMA TENSIÓ – DEFORMACIÓ (3 de 4)

#### *Deformació de ruptura ( $\epsilon_f$ )*

- Deformació que ha patit el cos en el moment de la seva ruptura.
- Està formada per una component elàstica ( $\epsilon_y$ ) i una component plàstica.

#### *Mòdul d'elasticitat lineal o mòdul de Young (E)*

- Propietat intrínseca del material que relaciona les tensions i les deformacions en règim elàstic, de la següent manera:  $\sigma = E \cdot \epsilon$
- Pendent de la recta que relaciona les tensions i les deformacions en règim elàstic.

#### *Règim elàstic*

- Zona lineal del diagrama tensió – deformació que finalitza en el punt de límit elàstic.
- Tot aquell cos que es mantingui en règim elàstic es capaç de recuperar la seva mida i/o de la forma inicial, sempre i quan, les forces externes a què estava sotmès esdevenen nul·les.

#### *Règim plàstic*

- Zona no lineal del diagrama tensió – deformació que s'inicia en el punt de límit elàstic.
- Les deformacions generades en el cos a partir d'aquest punt resulten permanents.

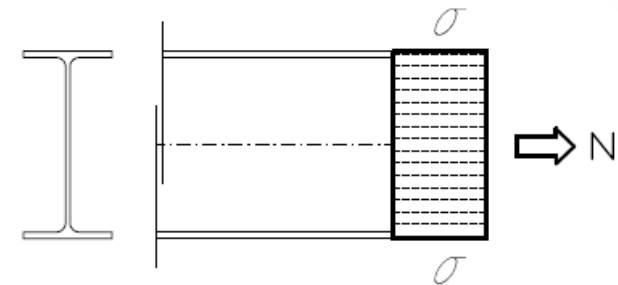
### DIAGRAMA TENSIÓ – DEFORMACIÓ (4 de 4)

#### *Tensions normals ( $\sigma$ )*

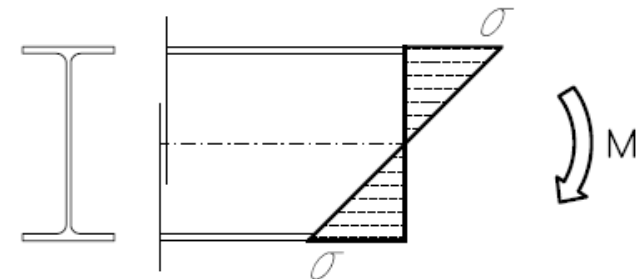
- Degudes als esforços normal i/o flector.
- Perpendiculars a la secció sotmesa a estudi.

#### *Tensions tangencials ( $\zeta$ )*

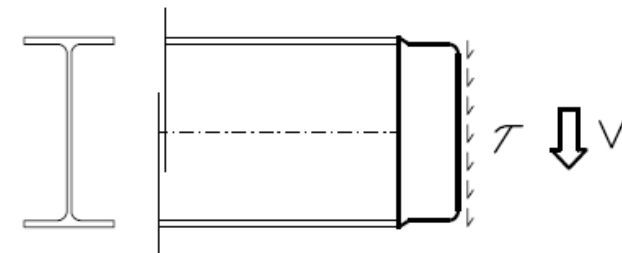
- Degudes als esforços tallant i/o torsor.
- Paral·leles a la secció sotmesa a estudi.



*Tensions normals  $\sigma$  provocades per un esforç normal  $N$*



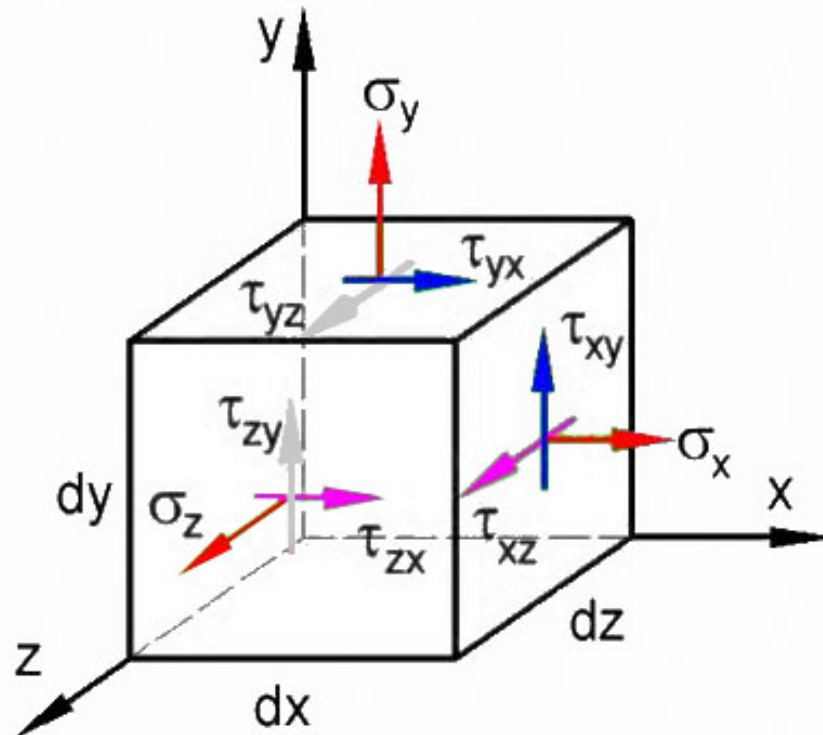
*Tensions normals  $\sigma$  provocades per un esforç flector  $M$*



*Tensions tangencials  $\zeta$  provocades per un esforç tallant  $V$*

### TIPOLOGIES DE TENSIONS

Anàlisi tridimensional de tensions:



$\sigma_i$ : Tensions normals

$\tau_{ij}$ : Tensions tangencials

# CONSTRUCCIONS INDUSTRIALS

Christian Escrig Pérez

## TEMA 2: Disseny i execució d'un edifici industrial

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola d'Enginyeria de Terrassa

Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria



Attribution-Noncommercial 2.5

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/es/deed.ca>





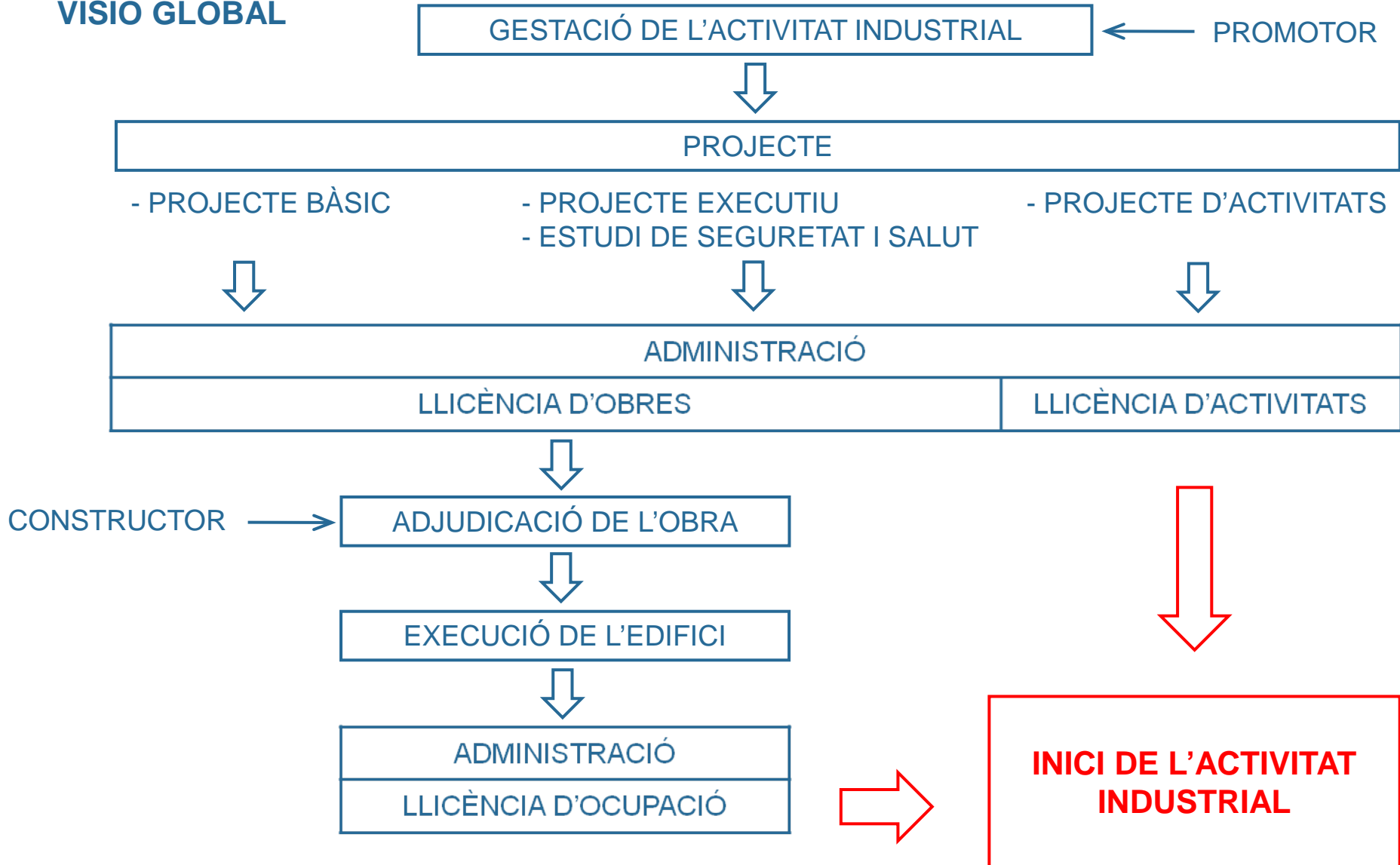


## TEMA 2: DISSENY I EXECUCIÓ D'UN EDIFICI INDUSTRIAL

- ETAPES DEL PROCÉS CONSTRUCTIU D'UN EDIFICI INDUSTRIAL
  - Visió global
  - Descripció d'etapes
  
- L'ENGINYER EN LA CONSTRUCCIÓ
  - Agents principals
  - Descripció de tasques
  
- NORMATIVES
  - Edificació general
  - Disseny i càlcul estructural
  - Disseny i càlcul d'instal·lacions



### VISIÓ GLOBAL





### DESCRIPCIÓ ETAPES (1 de 7)

#### *Etapa 0: Gestació de l'activitat industrial*

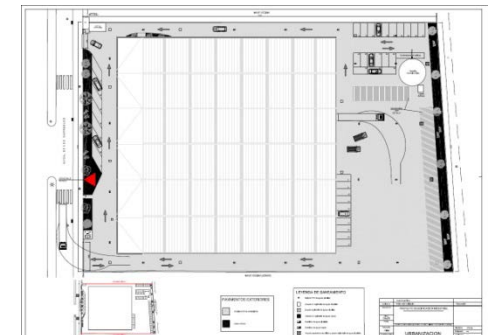
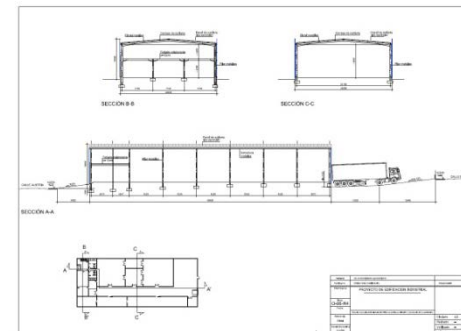
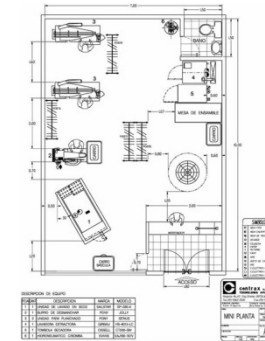
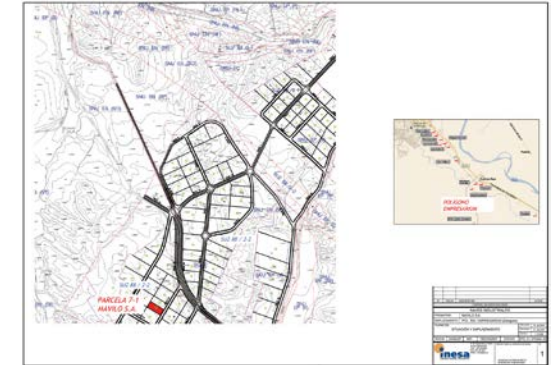
- Factors per a desenvolupar una promoció immobiliària industrial:
  - Necessitat productiva i/o d'espai.
  - Oportunitat de negoci. Amortització de la inversió.
  - Disponibilitat de capital o finançament.
- Idees inicials. Primers esbossos. Fase comercial.



### DESCRIPCIÓ ETAPES (2 de 7)

#### *Etapa 1: Projecte bàsic*

- Descripció de l'activitat industrial a realitzar.
- Justificació del compliment dels paràmetres urbanístics.
  - Situació i emplaçament.
  - Ocupació, edificabilitat i distàncies a límits.
  - Alçada reguladora.
  - Aparcament.
- Definició de la tipologia estructural de l'edifici.
- Definició dels tancaments: façana i coberta.
- Layout i urbanització.

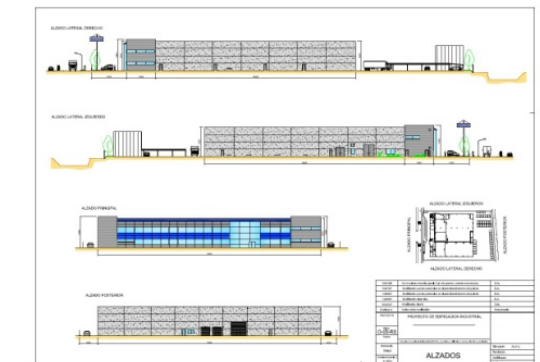
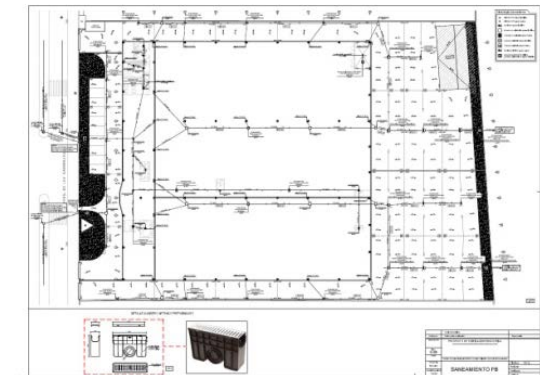
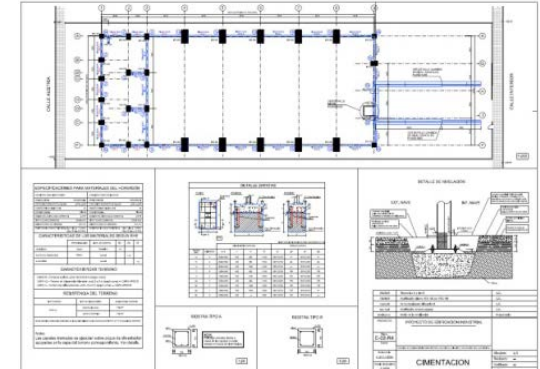




### DESCRIPCIÓ ETAPES (3 de 7)

#### *Etapa 1: Projecte executiu*

- Definició concreta i justificada dels elements estructurals de l'edifici.
- Descripció detallada dels elements constructius de l'edifici (façanes, coberta, tancaments interiors, urbanització, etc.).
- Definició concreta de l'obra civil (contenció de terres, paviments, sanejament, etc.).
- Replanteig exacte de l'edifici i la urbanització.
- Descripció general de les instal·lacions previstes.
- Justificació del compliment de les normatives vigents:
  - Código Técnico de la Edificación (CTE)
  - EHE-08, NSRE-02, Euro Codis, ...
  - RSCIEI, REBT, RITE, ...
- Estudi geotècnic.
- Plec de condicions.
- Amidaments i Pressupost.

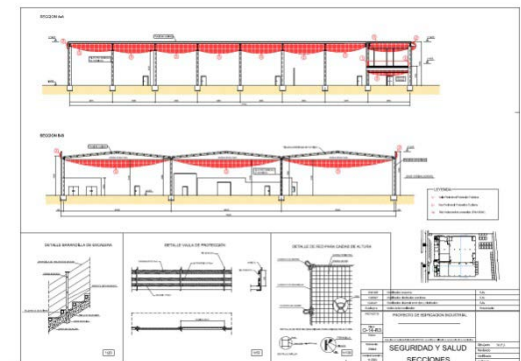
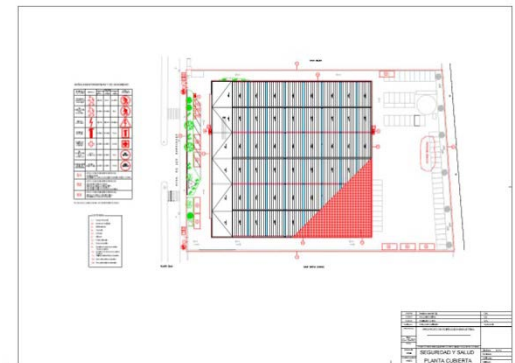
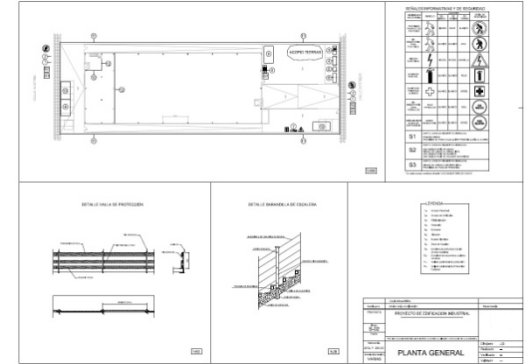




### DESCRIPCIÓ ETAPES (4 de 7)

#### *Etapa 1: Estudi de Seguretat i Salut*

- Identificació dels riscos en l'execució dels elements definits en el Projecte Executiu.
- Descripció de les mesures de prevenció i protecció necessàries per a realitzar l'obra en condicions de seguretat.
- Relació i avaluació dels riscos laborals que no es puguin evitar. Descripció de les mesures necessàries per a la seva reducció o control.
- Justificació de la Llei de Prevenció de Riscos Laborals.
- Plec de condicions.
- Amidaments i Pressupost.

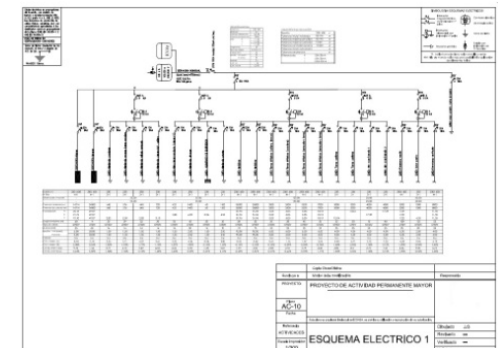
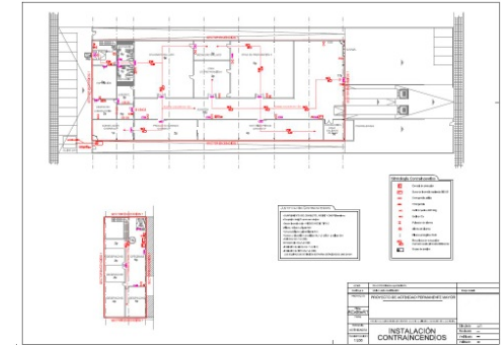




### DESCRIPCIÓ ETAPES (5 de 7)

#### *Etapa 1: Projecte d'activitats*

- Descripció de l'activitat industrial: matèries primeres, productes emmagatzemats, productes finals i processos productius.
- Previsió de l'activitat laboral: volum de treballadors, distribució dels torns de treball, aforament màxim i relació de la maquinària a utilitzar.
- Descripció general de l'edifici. Definició concreta i justificada de les instal·lacions necessàries per a dur a terme l'activitat industrial (aigua potable i acs, sanitàries, ventilació i clima, elèctriques i contra incendis).
- Mesures per a garantir la seguretat i el confort dels usuaris: accessibilitat, seguretat d'utilització, protecció contra el soroll
- Estudi dels residus generats i previsió del seu tractament.
- Plec de condicions.
- Amidaments i pressupost.





### DESCRIPCIÓ ETAPES (6 de 7)

#### *Etapa 2: Administració*

- Responsable de comprovar que els projectes contenen tota la documentació i informació necessària i que aquesta s'ajusta a les normatives en vigor.
- Exigeix que el projectista tingui una assegurança de responsabilitat, mitjançant el visat d'un col·legi professional o de contractació puntual.
- Estableix unes taxes en funció de les superfícies construïdes i del pressupost de l'obra.
- Dóna el vist-i-plau conforme l'execució de l'edifici s'ha dut a terme segons el que exposa el projecte.
- Concedeix la **Llicència d'Obres** quan considera que el projecte bàsic, el projecte executiu i l'estudi de seguretat i salut no presenten cap deficiència. Aquesta llicència permet al promotor iniciar les obres de l'edifici.
- Concedeix la **Llicència d'Ocupació** quan es donen per finalitzades les obres de l'edifici. Aquesta llicència permet al promotor ocupar l'edifici i dotar-lo d'equipaments.
- Concedeix la **Llicència d'Activitats** quan considera que el projecte d'activitats no presenta cap deficiència. Aquesta llicència permet al promotor iniciar l'activitat industrial.



### DESCRIPCIÓ ETAPES (7 de 7)

#### *Etapa 3: Execució edifici*

- Adjudicació de l'obra a una constructora.
- Execució de les diferents parts de l'edifici:
  - Moviment de terres.
  - Fonamentació.
  - Sanejament.
  - Estructura.
  - Tancaments exteriors.
  - Paviments.
  - Tancaments interiors i acabats.
  - Instal·lacions.
  - Urbanització.
- Control de l'obra. Control de la seguretat. Certificacions.





### DESCRIPCIÓ DE TASQUES (1 de 7)

#### *Promotor*

- Persona o entitat interessada en executar un edifici industrial. Pot ser representada per les següents figures:
  - Consell d'administració d'una empresa.
  - Grup d'inversors.
  - Empresari particular.
  - Administració
- Contracta als projectistes, a l'empresa constructora, a la direcció d'obra i al coordinador de seguretat i salut.
- Assumeix els costos de l'obra i les taxes imposades per l'Ajuntament.
- En el cas de vendre o llogar l'edifici, és responsable civil dels desperfectes d'execució durant un període d'1 a 10 anys, segons el tipus d'afectació.



### DESCRIPCIÓ DE TASQUES (2 de 7)

#### *Projectista*

- Enginyer o arquitecte.
- Desenvolupa els projectes d'acord amb les necessitats del client dins del marc de les normatives vigents.
- Gestiona els tràmits amb l'administració per a l'obtenció de les corresponents llicències.
- Valora els costos d'execució de l'edifici de forma orientativa, segons preus de bases de dades oficials.
- Té responsabilitat civil i penal en cas que l'edifici pateixi desperfectes d'execució que puguin afectar a terceres persones.



### DESCRIPCIÓ DE TASQUES (3 de 7)

#### *Constructor – Oficina Tècnica*

- Valora els costos reals d'execució de l'edifici contactant amb diferents proveïdors i realitzant comparatius.
- Oferta al promotor els serveis d'execució de l'edifici per tal de contractar l'obra durant el procés de licitació.
- En cas de contractació, pot proposar al promotor canvis en el projecte. Aquestes solucions alternatives no poden comprometre la seguretat ni disminuir la qualitat de l'edifici.



### DESCRIPCIÓ DE TASQUES (4 de 7)

#### *Constructor – Cap de producció*

- Gestiona l'execució de l'edifici segons els projectes executiu i d'activitats:
  - Executa les compres de material.
  - Subcontracta industrials.
  - Gestiona el calendari de l'obra.
  - Realitza les certificacions.
- Pot proposar millores respecte les solucions establertes en el projecte. Per a realitzar canvis és necessària l'aprovació de la direcció facultativa.
- Té responsabilitat civil i penal en cas d'accident durant l'execució de l'edifici.



### DESCRIPCIÓ DE TASQUES (5 de 7)

#### *Direcció facultativa*

- Enginyer o arquitecte.
- Representant tècnic del promotor. Porta el control de qualitat del procés d'execució de l'edifici:
  - Comprova que l'obra s'executi segons projecte.
  - Verifica la qualitat i traçabilitat dels productes instal·lats.
  - Negocia i decideix sobre els canvis proposats per l'oficina tècnica i el cap de producció.
  - Controla el calendari de l'obra.
  - Verifica i decideix sobre les certificacions.
- Té responsabilitat civil i penal en cas d'accident durant i després de l'execució de l'edifici.



### DESCRIPCIÓ DE TASQUES (6 de 7)

#### *Coordinador de seguretat i salut*

- Enginyer o arquitecte.
- Representant tècnic del promotor en matèria de seguretat laboral. Porta el control de l'obra amb els aspectes relacionats en la prevenció de riscos laborals:
  - Verifica que es duen a terme les mesures previstes a l'estudi de seguretat i salut.
  - Controla la documentació relativa al personal de l'obra i les tasques que tenen assignades.
  - Revisa la documentació de la maquinària utilitzada en tasques de construcció i comprova que tenen superats tots els controls de qualitat periòdics.
  - Informa a l'administració en cas d'incompliment de la Llei de Prevenció de Riscos Laborals.
- Té responsabilitat civil i penal en cas d'accident durant l'execució de l'edifici.



### DESCRIPCIÓ DE TASQUES (7 de 7)

#### *Tècnic de l'Ajuntament*

- Revisa que els projectes presentats s'ajustin al marc normatiu vigent.
- Emet les llicències d'obra, activitats i ocupació. Cadascuna d'elles són gravades amb les taxes corresponents.
- Verifica que els projectistes, la direcció facultativa i el coordinador de seguretat i salut són tècnics acreditats (enginyers o arquitectes) i tenen la corresponent assegurança de responsabilitat civil.
- Verifica que l'empresa constructora també disposi d'assegurança de responsabilitat civil.
- Controla que l'edifici s'hagi executat segons el projecte i, donat el cas, verifica els canvis acordats entre l'empresa constructora i la direcció facultativa.
- Té responsabilitat civil i penal en cas d'accident després de l'execució de l'edifici.





## EDIFICACIÓ GENERAL

***Codi Tècnic de la Edificació (CTE)*** -> <http://www.codigotecnico.org/web/>

Representa el marc normatiu que estableix les exigències que han de complir els edificis en relació amb els requisits bàsics de seguretat, qualitat i habitabilitat establerts en la Llei d'Ordenació de l'Edificació (LOE). Inclou els següents documents:

- Document Bàsic SE. Seguretat Estructural.
  - Document Bàsic SE-AE. Seguretat Estructural. Accions en l'Edificació.
  - Document Bàsic SE-A. Seguretat Estructural. Acer.
  - Document Bàsic SE-C. Seguretat Estructural. Fonaments.
  - Document Bàsic SE-F. Seguretat Estructural. Obra de fàbrica.
  - Document Bàsic SE-M. Seguretat Estructural. Fusta.
- Document Bàsic SI. Seguretat en cas d'Incendi.
- Document Bàsic SUA. Seguretat d'Utilització i Accessibilitat.
- Document Bàsic HS. Salubritat.
- Document Bàsic HR. Protecció en front el Soroll.
- Document Bàsic HE. Estalvi d'Energia.



## DISSENY I CÀLCUL ESTRUCTURAL (1 de 2)

**Eurocodis** -> <http://www.cen.eu/cen/Pages/default.aspx>

Són un conjunt de normes europees per a l'enginyeria estructural. Estan redactades pel Comitè Europeu de Normalització (CEN), tenen un caràcter d'aplicació voluntària i que pretenen unificar criteris i normatives en las matèries de disseny, càlcul y dimensionat d'estructures i elements prefabricats per a l'edificació. Inclou els següents documents:

- Eurocodi 0. Bases de disseny estructural.
- Eurocodi 1. Accions sobre les estructures.
- Eurocodi 2. Disseny d'estructures de formigó.
- Eurocodi 3. Disseny d'estructures metàl·liques.
- Eurocodi 4. Disseny d'estructures mixtes d'acer i formigó.
- Eurocodi 5. Disseny d'estructures de fusta.
- Eurocodi 6. Disseny d'estructures d'obra de fàbrica.
- Eurocodi 7. Disseny geotècnic.
- Eurocodi 8. Disseny sísmic d'estructures.
- Eurocodi 9. Disseny d'estructures d'alumini.



## DISSENY I CÀLCUL ESTRUCTURAL (2 de 2)

***Instrucció del formigó estructural EHE-08*** -> <http://www.fomento.es/...>

Normativa espanyola que té per objectiu regular el projecte, execució i control de les estructures de *formigó*, tant en obres d'edificació como d'enginyeria civil.

***Instrucció d'estructures d'acer EAE*** -> <http://www.fomento.es/...>

Normativa espanyola que té per objectiu regular el projecte, execució i control de les estructures d'*acer*, tant en obres d'edificació como d'enginyeria civil.

***Norma de Construcció Sismoresistent NCSE 02*** -> <http://www.fomento.es/...>

Normativa espanyola en la que s'estableixen les condicions tècniques que han de complir les estructures d'edificació, a fi que el seu comportament davant fenòmens sísmics, eviti conseqüències greus per a la salut i seguretat de les persones, eviti pèrdues econòmiques i propiciï la conservació dels serveis bàsics per a la societat en casos de terratrèmols d'intensitat elevada.



## DISSENY I CÀLCUL D'INSTAL·LACIONS

### ***Reglament de Seguretat Contra Incendis en Establiments Industrials RSCIEI***

Reglament espanyol que té per objectiu complementar el document DB-SI (seguretat en cas d'incendi) en el supòsit de projectar edificis industrials.

### ***Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en Edificis RITE*** -> <http://www.idae.es/...>

Reglament espanyol que estableix les condicions que han de complir les instal·lacions destinades a atendre la demanda de benestar tèrmic i higiene a través de les instal·lacions de calefacció, climatització i aigua calenta sanitària, per a aconseguir un us racional de l'energia. Complementa el document DB-HE (estalvi energètic)

### ***Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió*** -> <http://www.ffii.es/...>

Reglament espanyol que estableix les condicions tècniques i garanties que han de reunir les instal·lacions elèctriques connectades a una font de subministre en els límits de baixa tensió.

# CONSTRUCCIONS INDUSTRIALS

Christian Escrig Pérez

## TEMA 3: Urbanisme

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola d'Enginyeria de Terrassa

Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria



Attribution-Noncommercial 2.5

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/es/deed.ca>





### TEMA 3: URBANISME

#### - ORDENACIÓ DEL TERRITORI

- Conceptes generals
- Plans d'ordenació
- Classificació del sòl
- Qualificació del sòl

#### - NORMATIVES URBANÍSTIQUES

- Situació i emplaçament
- Ocupació i índex d'edificabilitat
- Separació mínima als límits de parcel·la
- Alçada màxima reguladora
- Número màxim de plantes
- Places mínimes d'estacionament



### CONCEPTES GENERALS

- Què és l'urbanisme?
- L'**urbanisme** és la disciplina que té com a objecte l'**estudi** i **ordenació** dels **sistemes urbans**.
- Forma en què s'**organitzen** i es **distribueixen** els **edificis** i altres infraestructures poblacionals en **entorns urbans**.
- Per regular l'**ordenació del territori**, s'estableixen unes **normatives urbanístiques d'obligat compliment** a l'hora de **dissenyar** i executar qualsevol **edifici** o **infraestructura urbana**.
- Aquestes **normatives urbanístiques** poden variar un funció del **pla d'ordenació** a què està subjecte la **parcel·la** on es vol executar l'edifici, així com per la **classificació** i la **qualificació** que es defineix en el pla.



### PLANS D'ORDENACIÓ (1 de 2)

Existeixen tres tipus de plans d'ordenació:

***Pla General Metropolità (PGM)*** -> <http://www3.amb.cat/normaurb2004/Docs/normes.htm>

De forma general, ordena urbanísticament el territori que integra l'Entitat Municipal Metropolitana de Barcelona.

Les municipis que hi no estiguin integrats, han de desenvolupar obligatòriament un Pla d'Ordenació Urbanística Municipal.

***Pla d'Ordenació Urbanística Municipal (POUM)*** -> <http://gmut.terrassa.org/...>

Constitueix l'instrument d'ordenació integral de tot el territori comprès dins del terme municipal de conformitat amb allò que disposa la legislació urbanística vigent.

L'objectiu fonamental del POUM és gestionar un desenvolupament urbanístic sostenible preservant els recursos naturals i de paisatge.

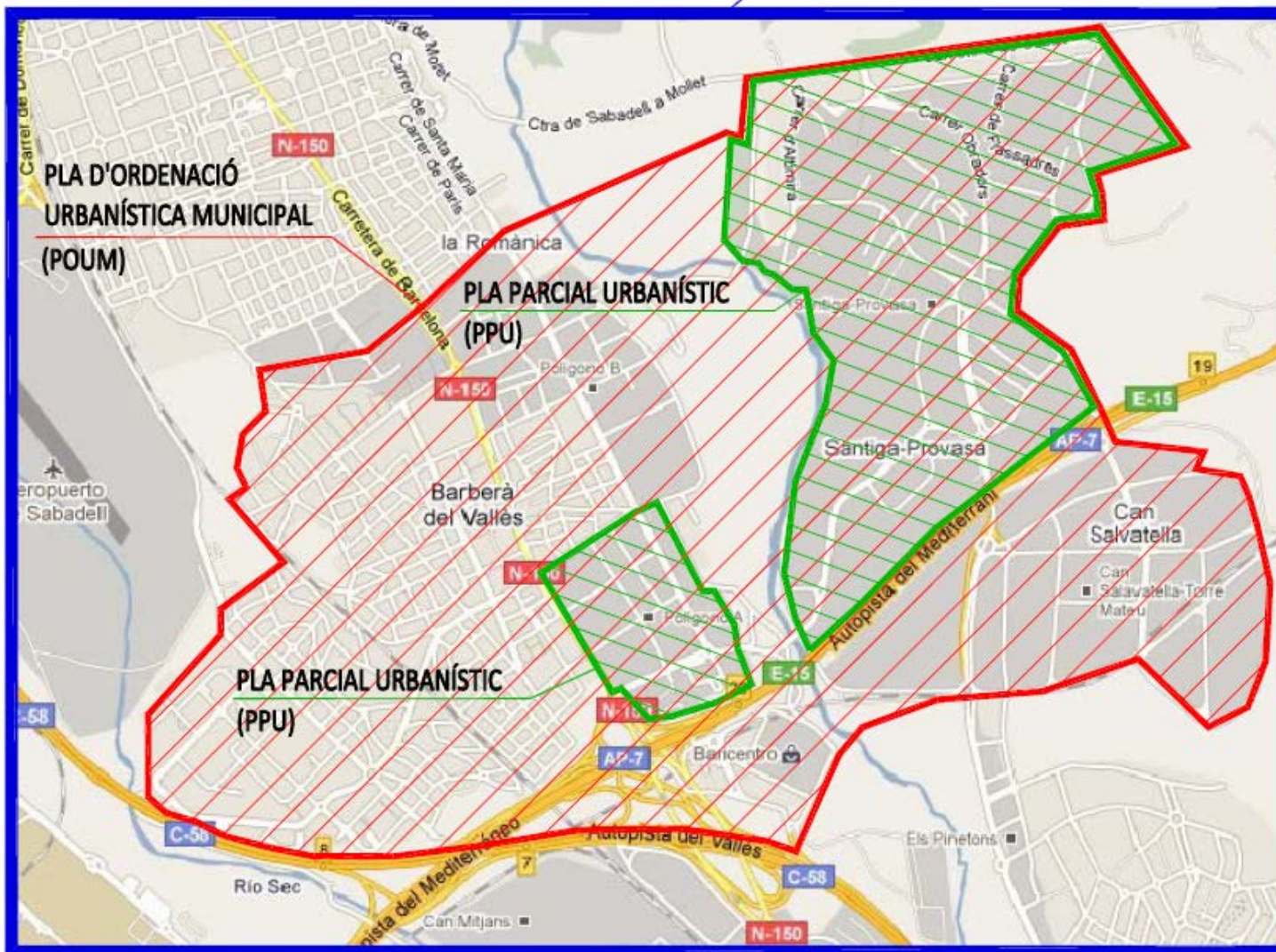
***Pla Parcial Urbanístic (PPU)*** -> <http://lasosi.terrassa.net/files/23-958-document/...>

Regula urbanísticament una zona concreta d'un municipi amb característiques especials (casc antic, polígon industrial, etc.).



### PLANS D'ORDENACIÓ (2 de 2)

PLA GENERAL METROPOLITÀ  
(PGM)





## CLASSIFICACIÓ DEL SÒL

Segons el Reglament de la Llei d'urbanisme (RLUC), el territori es classifica de la següent manera:

### ***Sòl urbà***

Són terrenys que han estat sotmesos al procés d'integració en el ***teixit urbà*** (tenen tots els serveis urbanístics bàsics) o bé són compresos en ***àrees consolidades per a l'edificació***.

El sòl urbà pot tenir diferents tipus de qualificacions que restringeixen el tipus de construcció que es pot executar en cada cas.

### ***Sòl urbanitzable***

Són terrenys que el pla d'ordenació urbanística municipal (POUM) corresponent considera necessaris i adequats per a garantir el creixement de la població i de l'activitat econòmica.

El sòl urbanitzable ha d'ésser proporcionat a les ***previsions de creixement*** de cada municipi i ha de permetre el desplegament de programes de sòl i d'habitatge.

### ***Sòl no urbanitzable***

Són terrenys que estan sotmesos a un ***règim d'especial de protecció*** com a conseqüència de la necessitat o la conveniència d'evitar la transformació dels terrenys per a protegir-ne l'interès natural, agrari, paisatgístic, forestal o d'un altre tipus.



### QUALIFICACIÓ DEL SÒL (1 de 3)

Segons el Reglament de la Llei d'urbanisme (RLUC), el territori es qualifica en *sistemes* o *zones*:

#### ***Sistemes***

Els sòls qualificats com a sistemes representen l'interès col·lectiu, estructuren el territori i asseguren el desenvolupament i funcionament urbà.

#### ***Zones***

Les zones corresponen a les superfícies de sòl destinades a l'ordenació de terreny susceptible d'un aprofitament privat.

La naturalesa de cada zona està en funció de la ***classe de sòl*** i ve determinada amb la definició dels paràmetres que regulen les condicions de parcel·lació, d'edificació i d'ús que s'exigeix de forma específica a cadascuna.



### QUALIFICACIÓ DEL SÒL (2 de 3)

#### Sistemes

Sistema portuari

- *Sector portuari*
- *Sector de l'entorn portuari*
- *Zona marítime-terrestre*

Sistema aeroportuari

Sistema ferroviari

Sistema de serveis tècnics

Sistema viari bàsic

- *Xarxa viària bàsica*
- *Vies cíviques*

Parcs i jardins urbans

- *Actuals de caràcter local*
- *De nova creació de caràcter local*
- *Actuals i de nova creació d'àmbit metropolità*

Equipaments comunitaris i dotacions

- *Actuals*
- *De nova creació de caràcter local*
- *Actuals i de nova creació d'àmbit metropolit*

Protecció de sistemes generals

Parcs forestals

- *De conservació*
- *De repoblació*
- *Reserva natural*

Cementiris comarcals





### QUALIFICACIÓ DEL SÒL (3 de 3)

#### Zones en sòl urbà

Centre direccional

Nucli antic

- *De substitució de l'edificació antiga*

- *Conservació del centre històric*

En densificació urbana

- *Intensiva*

- *Semiintensiva*

Remodelació física

- *Remodelació pública*

- *Remodelació privada*

Conservació de l'estructura urbana i edificatòria

Renovació urbana: rehabilitació

Renovació urbana: transformació de l'ús existent

Subjecta a ordenació volumètrica específica

#### Zones en sòl urbanitzable

Centre direccional

Desenvolupament urbà, Intensitat 1

Desenvolupament urbà, Intensitat 2

Desenvolupament urbà opcional, Intensitat 3

Desenvolupament industrial

Ordenació en edificació aïllada

Subzones plurifamiliars

- *Subzona I*

- *Subzona II*

- *Subzona III*

- *Subzona IV*

- *Subzona V*

Subzones unifamiliars

- *Subzona VI*

- *Subzona VII*

- *Subzona VIII*

- *Subzona IX*

Industrial

Verd privat protegit

#### Sòl no urbanitzable

Verd privat d'interès tradicional

Rústic protegit de valor agrícola

Lliure permanent

Àrees forestals

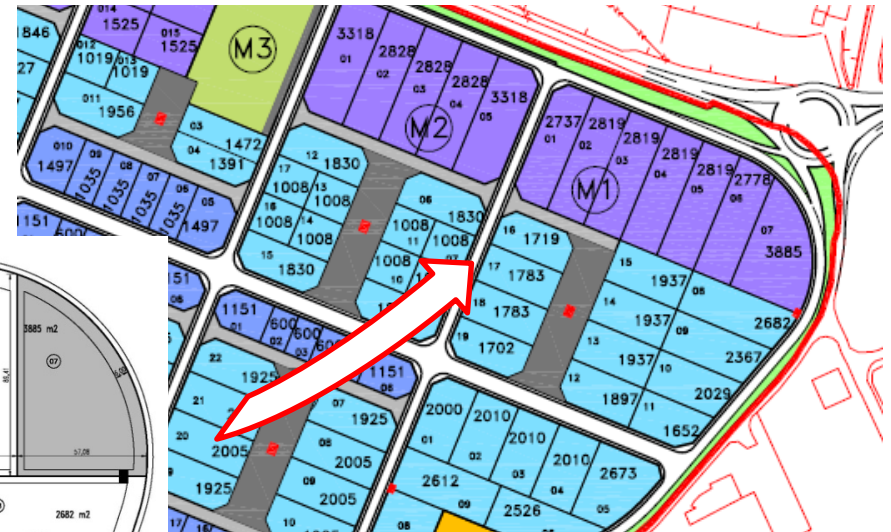
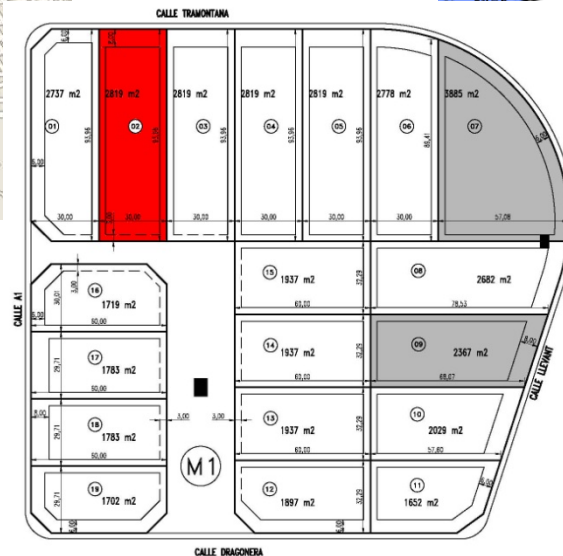
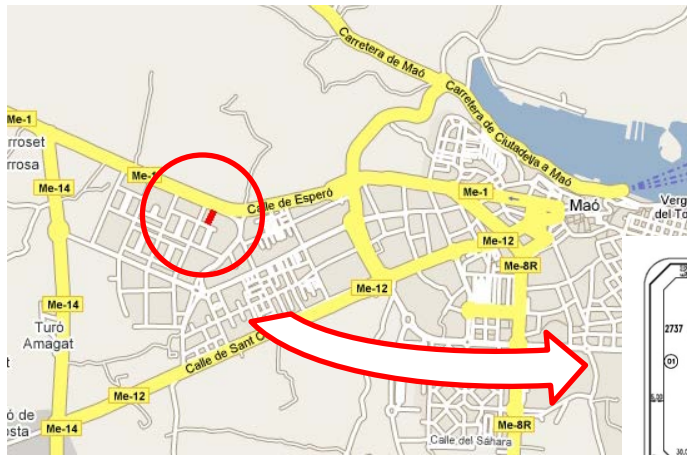


## INTRODUCCIÓ

- Per tal de **gestionar l'ordenació** dels entorns urbans és necessari establir una sèrie de **regles** que regulin les diferents variables arquitectòniques i urbanístiques.
- Aquestes regles tenen com a objectiu **uniformitzar** les edificacions incloses en zones d'un mateix sector o que tinguin la mateixa classe de sòl.
- Són normatives que defineixen **valors mínims i màxims** de les diferents variables a tenir en compte en el disseny de l'edifici i, habitualment, van referits a les característiques de la **parcel·la** (fracció de sòl edificable que es delimita amb la finalitat d'acotar l'execució i gestió de l'edificació de conjunt).
- Els aspectes urbanístics més habituals inclosos en els corresponents plans d'ordenació són l'**ocupació i l'índex d'edificabilitat, la separació mínima als límits de parcel·la, l'alçada màxima reguladora, el número màxim de plantes i les mínimes places d'estacionament.**

### SITUACIÓ I EMPLAÇAMENT

- Per tal de poder dissenyar l'edifici d'acord a les normatives urbanístiques és necessari definir la situació i emplaçament de la parcel·la per a saber a quin pla d'ordenació està subjecte.
- Habitualment, en el cas de projectar l'edifici en un polígon industrial recepcionat, la parcel·la estarà sotmesa a la regulació d'un pla parcial urbanístic (PPU).

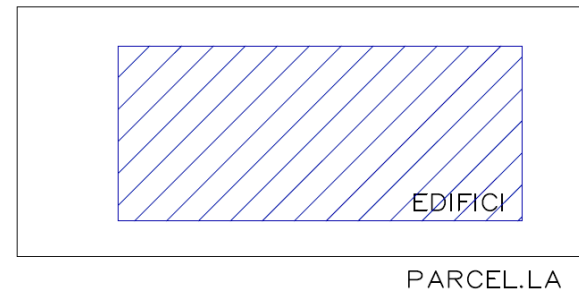




### OCUPACIÓ I ÍNDEX D'EDIFICABILITAT

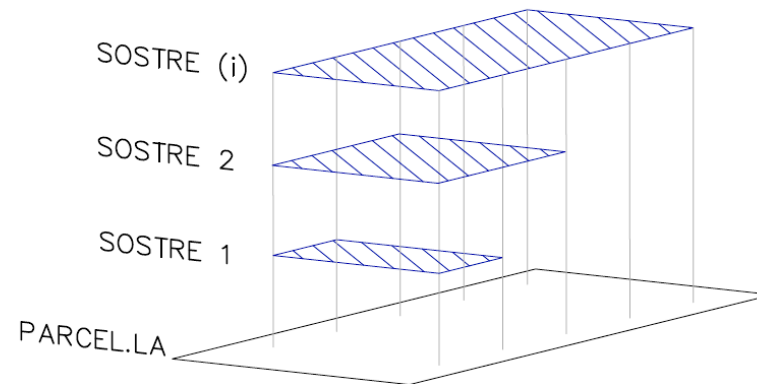
- L'ocupació de parcel·la és la relació que hi ha entre la màxima projecció en planta de l'edificació sobre el terreny i la superfície de la parcel·la.

Ocupació (%)



- L'índex d'edificabilitat és la relació entre el sostre màxim edificable en un sector i la superfície de sòl d'aquest sector. S'expressa en m<sup>2</sup> de sostre per m<sup>2</sup> de sòl.

$$IE = [\sum m^2st(i)/m^2sòl]$$

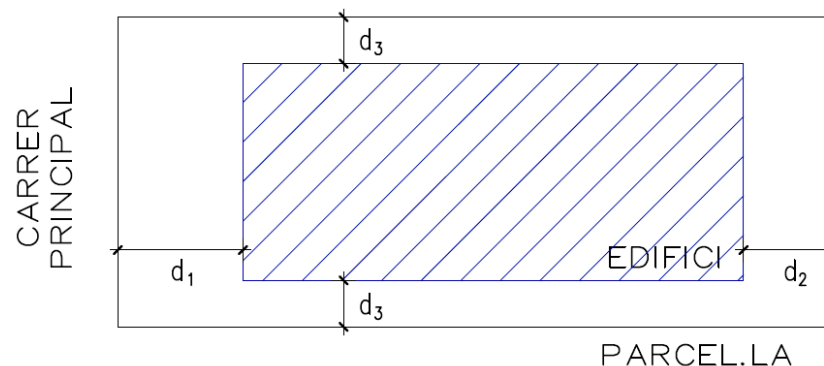






### SEPARACIÓ MÍNIMA ALS LÍMITS DE LA PARCEL·LA

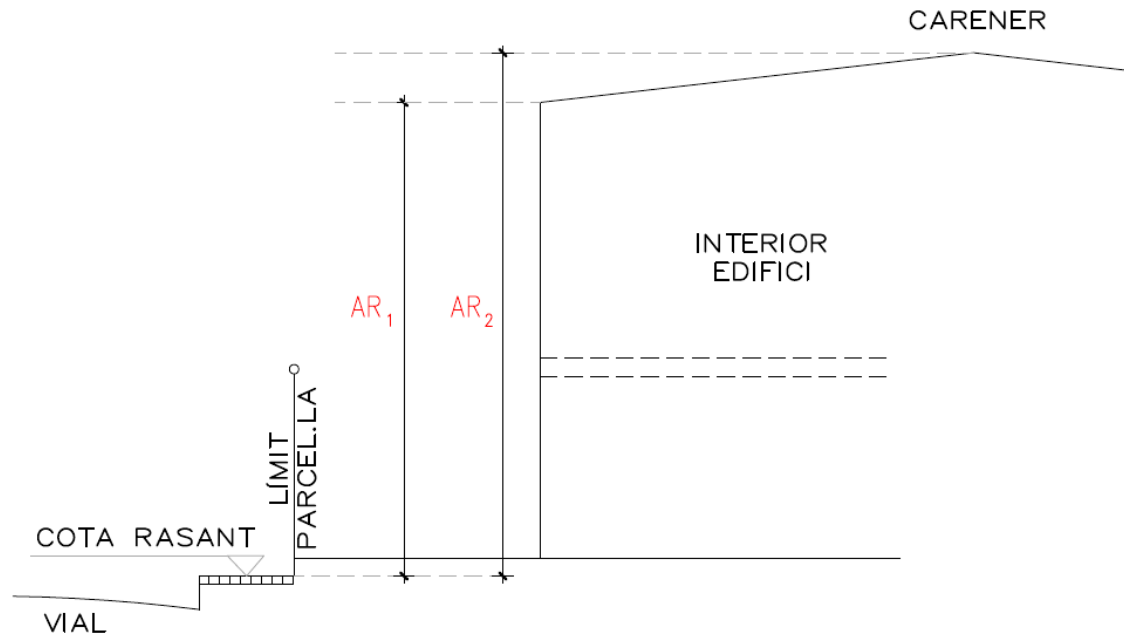
- En edificacions aïllades, tal com poden ser les naus industrials, és habitual regular l'existència de separacions mínimes entre la línia de façana i el límit de parcel·la.
- En parcel·les suficientment grans, cal garantir que les separacions permetin a un vehicle de bombers accedir a qualsevol punt de l'edifici.
- En les zones davantera i posterior de l'edifici, a més, cal garantir una distància suficient per a permetre maniobrar a aquest tipus de vehicles.
- Finalment, per motius logístics i estètics, la distància mínima de la línia de façana al carrer principal usualment és superior a la resta ( $d_1 > d_2, d_3$ ).





### ALÇADA MÀXIMA REGULADORA

- Mesura vertical, en el pla exterior de la façana, que fixa l'alçada límit des del punt de referència de l'alçada reguladora (habitualment la cota de rasant de la vorera) fins el pla superior de l'últim forjat o, quan així s'indiqui, fins al punt a no sobrepassar per cap element de l'edificació.
- Aquesta magnitud varia segons el tipus d'ordenació (pla a què està sotmesa la parcel·la, classe de sòl, etc.).





### NÚMERO MÀXIM DE PLANTES

- És el nombre màxim de plantes horitzontals que en cada punt de l'edificació es poden construir dins de l'alçada reguladora de cada zona.
- Aquest paràmetre quedarà definit per a cada zona i en els plànols d'ordenació corresponents. S'expressarà amb els caràcters de PB per a la planta baixa, un signe “+” si hi ha més plantes, i un nombre enter que indicarà el nombre de plantes pis.
- La possibilitat de construir una planta sotarasant vindrà determinada i limitada per l'aplicació de la normativa en cada zona i tipus d'ordenació.
- Habitualment, el número màxim de plantes està relacionat amb l'alçada màxima reguladora.

Exemple d'alçada màxima i nº de plantes executables:

Alçada màxima (m)	Nombre límit de plantes
9	PB + 1 P
13	PB + 2 P
17	PB + 3 P



### PLACES MÍNIMES D'ESTACIONAMENT

- S'entén per “estacionament” l'àrea o lloc obert fora de la calcada, especialment destinat a parada o terminal de vehicles automòbils.
- Els Plans Parciais Urbanístics (PPU) hauran de preveure sòl per a estacionaments, segons l'edificabilitat i els usos.
- En el cas d'edificis industrials, no resulta habitual executar soterranis per a ús d'estacionament. Llavors és necessari preveure espais d'aparcament en la zona exterior de l'edifici compresa dins de la parcel·la.
- A continuació es mostren el número de places mínimes en funció dels usos i la superfície de l'edifici:

USOS	RESERVA D'APARCAMENT
Oficines	1 plaça d'estacionament cada [50÷100m <sup>2</sup> ]
Industrial	1 plaça d'estacionament cada [100÷150m <sup>2</sup> ]
Magatzem	1 plaça d'estacionament cada [100÷300m <sup>2</sup> ]

# CONSTRUCCIONS INDUSTRIALS

Christian Escrig Pérez

## TEMA 4: Composició estructural d'un edifici industrial

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola d'Enginyeria de Terrassa

Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria



Attribution-Noncommercial 2.5

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/es/deed.ca>





### TEMA 4: COMPOSICIÓ ESTRUCTURAL D'UN EDIFICI INDUSTRIAL

#### - MORFOLOGIA DE L'EDIFICI: TIPUS DE COBERTA

- Cobertes planes
- Cobertes inclinades

#### - TIPOLOGIES DE MATERIALS ESTRUCTURALS

- Estructura metàl·lica
- Estructura de formigó armat prefabricat

#### - DESCRIPCIÓ DELS ELEMENTS ESTRUCTURALS

- Vocabulari i terminologia
- Funció estructural

#### - TIPOLOGIES DE PÒRTICS

- Pòrtic rígid
- Encavallada
- Inèrcia variable



### COBERTES PLANES

- Es consideren cobertes planes totes aquelles la pendent de les quals és inferior al 5%.
- La principal avantatge que ofereixen aquesta tipologia de cobertes és l'ús posterior que se'n pot fer: terrasses, per a pas i/o aparcament de vehicles, ubicació maquinària d'instal·lacions de l'edifici, etc.
- S'aprofita millor la totalitat del volum interior.
- El principal inconvenient resideix en l'evacuació de les aigües pluvials. És necessari realitzar un drenatge i una completa impermeabilització de la coberta.
- Representen un pes significatiu.







### COBERTES INCLINADES

- Les cobertes inclinades són totes aquelles el pendent de les quals és superior al 5%.
- El seu ús es restringeix a ser accessibles només per al manteniment.
- Evacuen les aigües pluvials per gravetat i no necessiten ser impermeabilitzades.
- Es consideren cobertes lleugeres. Es veuen altament afectades per l'acció del vent.
- En edificis industrials n'hi ha de tres tipus:
  - Dent de serra
  - Una aigua
  - Dues aigües







### ESTRUCTURA METÀL·LICA

- Les estructures metàl·liques presenten una gran resistència a la tracció i a la compressió, implicant que també siguin altament resistents a la flexió.
- Valors de resistència elevats. A igualtat de sol·licitacions, seccions significativament més petites que qualsevol altre tipus de material estructural.
- És un material apte per salvar, de forma econòmica, grans llums i suportar càrregues significatives.
- Cal protegir l'estructura dels efectes de la corrosió i de les elevades temperatures derivades d'un incendi.





### ESTRUCTURA DE FORMIGÓ ARMAT PREFABRICAT

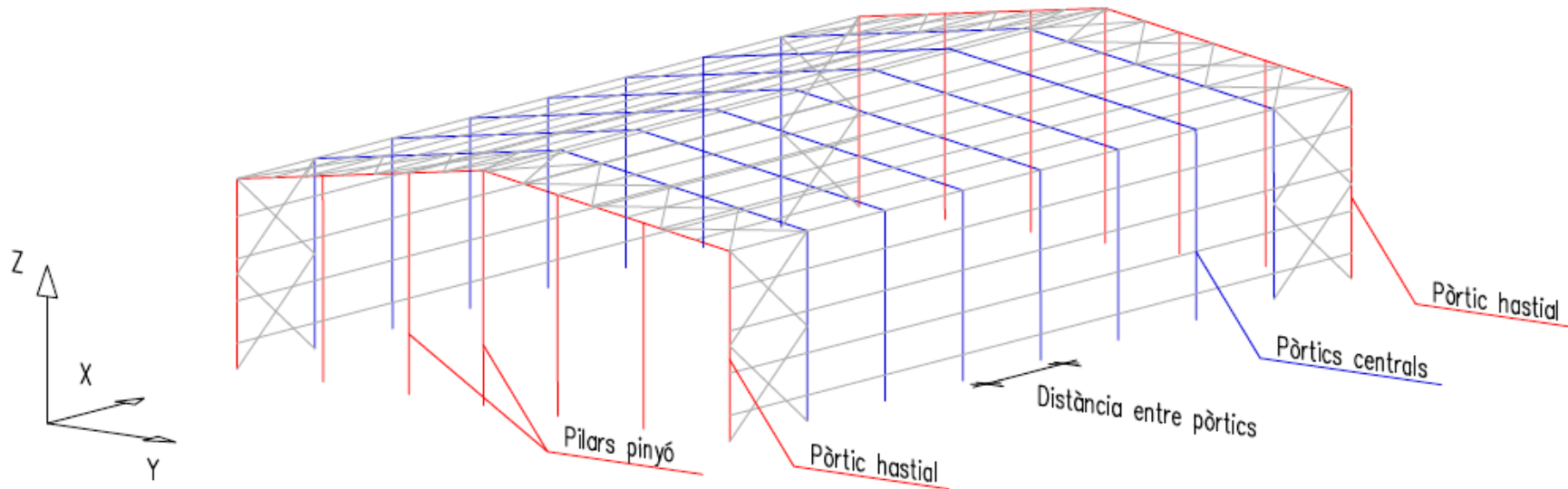
- Les estructures prefabricades de formigó són estructures de formigó armat amb la particularitat que els seus elements es poden realitzar en una industria (major qualitat en material i acabats).
- Combina el bon comportament del formigó a compressió amb la resistència a tracció de l'armadura.
- És necessari preveure un cost de transport elevat per a peces grans (transport especial).
- Són estructures amb un elevat pes propi. Vigilar en cas d'executar l'edifici en un terreny amb una resistència baixa.





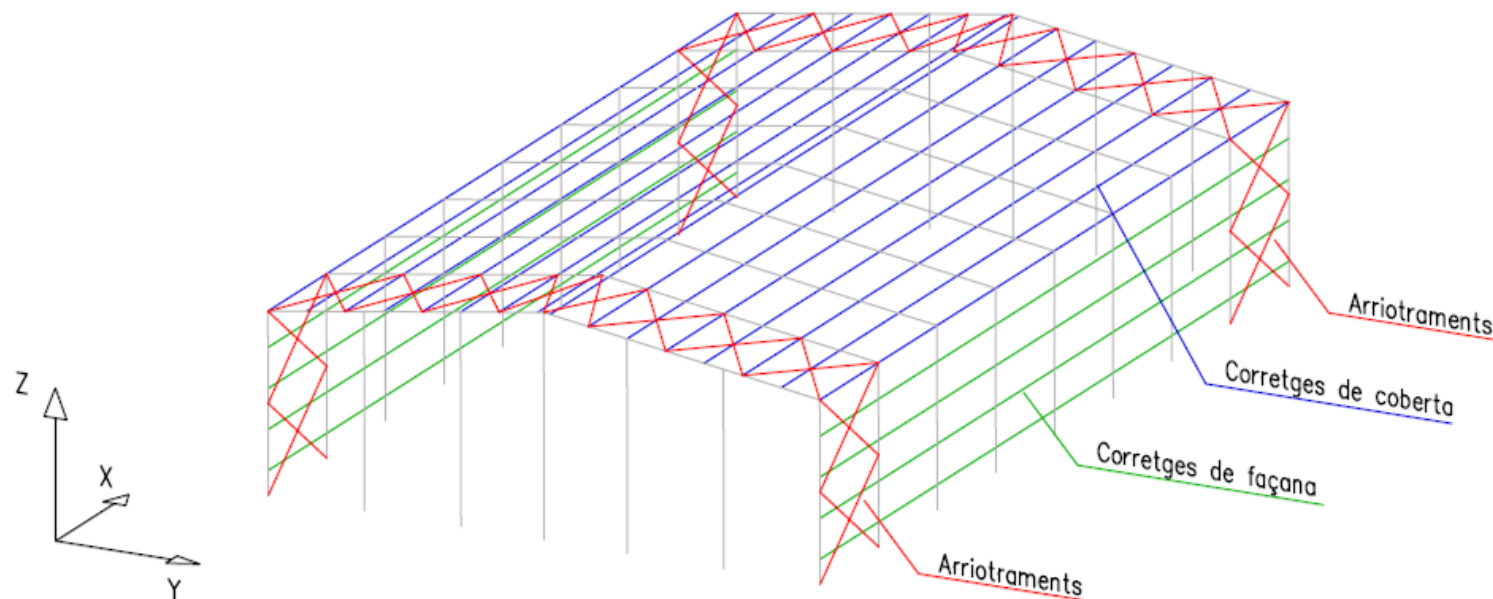
### VOCABULARI I TERMINOLOGIA (1 de 6)

- Les estructures principals dels edificis industrials es componen a base d'un sistema de pòrtics, generalment equidistants, que desenvolupen la seva geometria perpendicularment a la longitud màxima de l'edifici (els pòrtics són els elements continguts en el pla YZ de la imatge).
- Habitualment, els pòrtics són sistemes estructurals semi aïllats que funcionen de forma **hiperestàtica**.



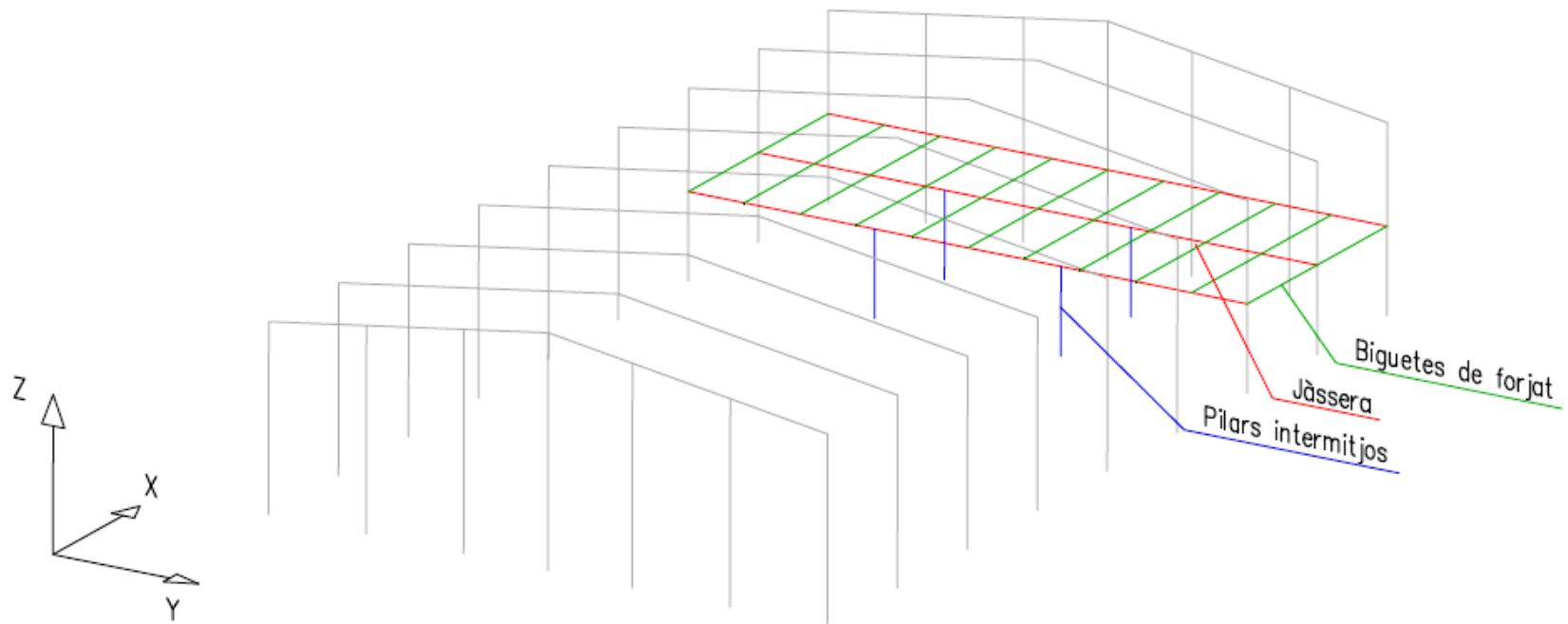
### VOCABULARI I TERMINOLOGIA (2 de 6)

- Perpendicularment als pòrtics, existeixen unes estructures secundàries corresponents a les corretges i els arriostaments.
- Les corretges s'encarreguen de suportar els tancaments exteriors (coberta i façana) i transmetre les forces externes que incideixen a l'edifici cap als pòrtics.
- Per altra banda, els arriostaments estableixen l'edifici respecte l'eix X.
- De forma global, estructuralment es considera que els edificis industrials són ***intranslacional***s en la direcció X i ***translacional***s en la direcció Y.



### VOCABULARI I TERMINOLOGIA (3 de 6)

- En el cas que l'edifici tingui alguna planta intermèdia, es disposaran els elements estructurals necessaris per a transmetre les carregues a què està sotmès cap al terreny (forjat, biguetes, jàsseres, etc.).
- Si només hi ha una planta entre el sòl i la coberta, a aquesta se li anomenarà **altell**.

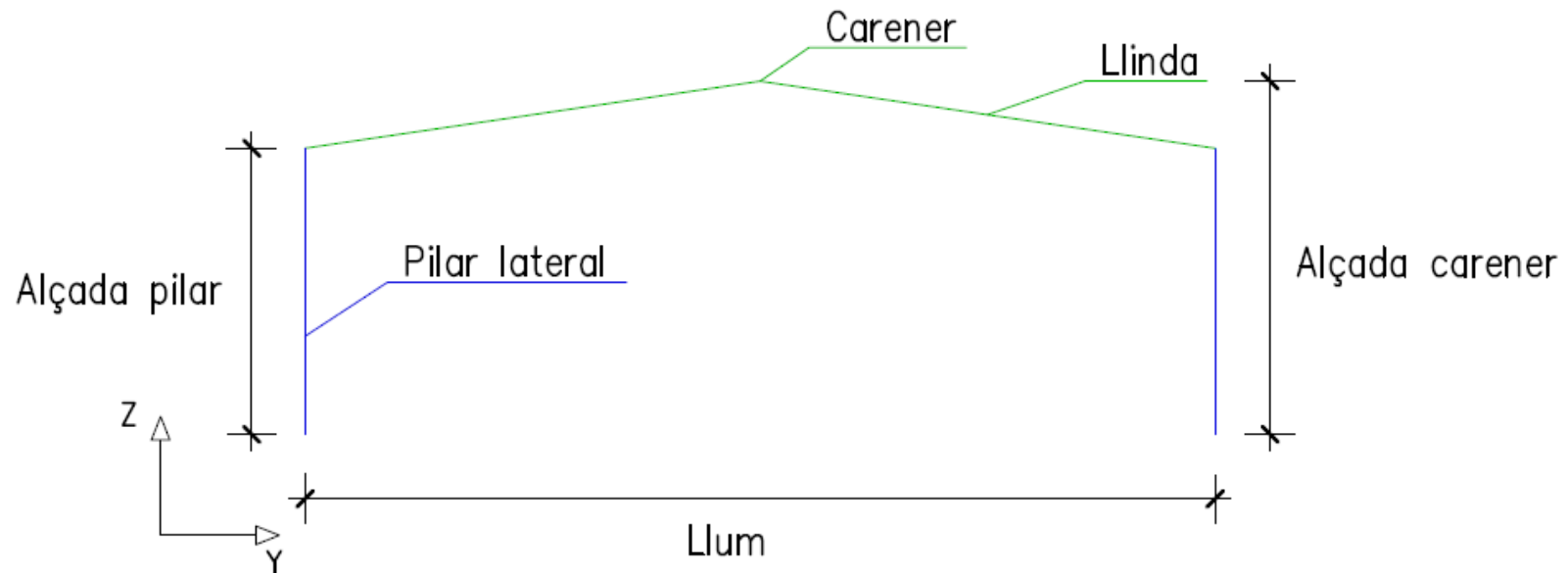




### VOCABULARI I TERMINOLOGIA (4 de 6)

#### *Pòrtic tipus*

S'anomena pòrtic tipus aquell pòrtic central, les característiques del qual, són exactament idèntiques a les d'altres pòrtics de l'edifici.

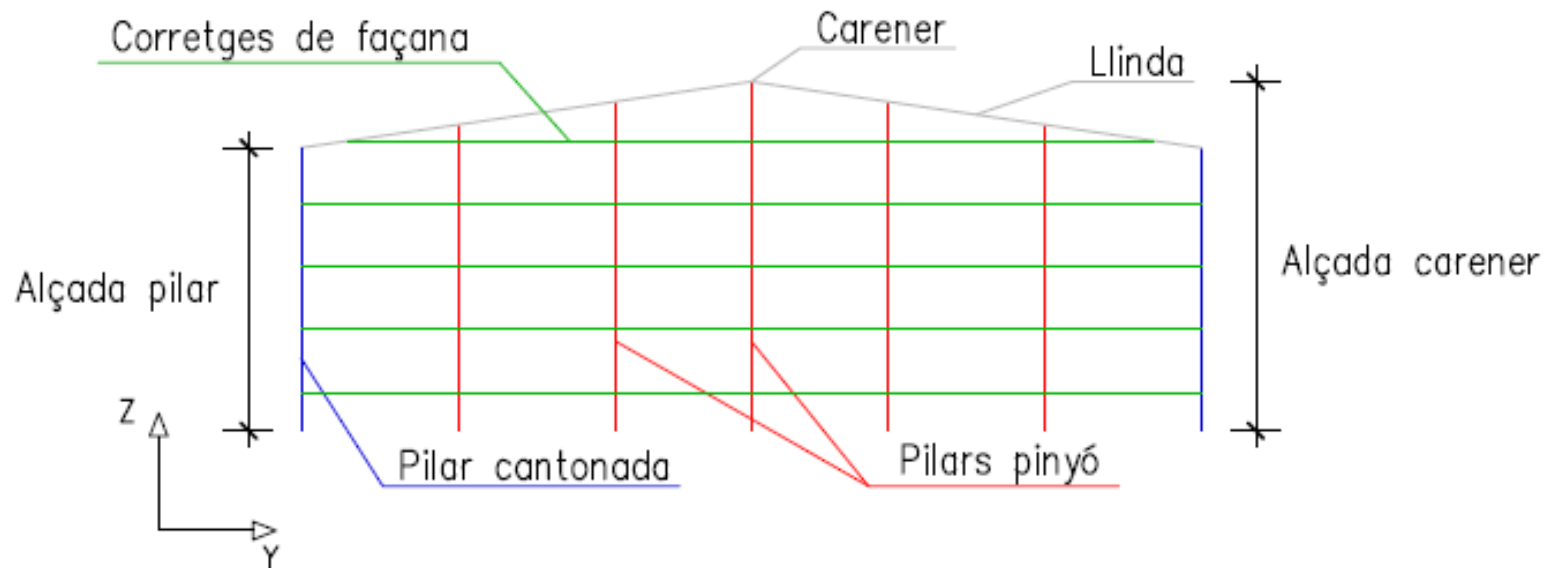




### VOCABULARI I TERMINOLOGIA (5 de 6)

#### *Pòrtic hastial*

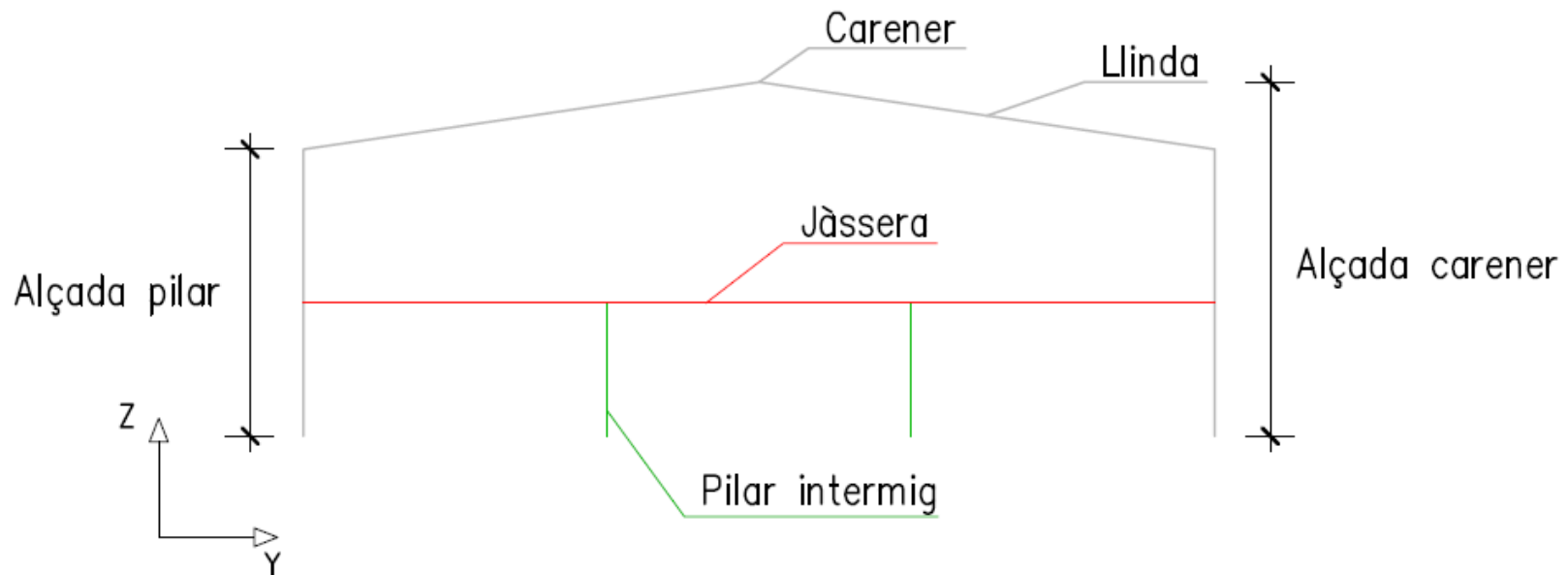
S'anomena pòrtic hastial a aquell pòrtic que conté una façana paral·lela al pla dels pòrtics. Pot contenir un altell, sempre i quan, aquest estigui situat en un dels extrems de la nau.



### VOCABULARI I TERMINOLOGIA (6 de 6)

#### *Pòrtic amb altell*

S'anomena pòrtic amb altell a aquell pòrtic que té continguts els elements estructurals necessaris per a transmetre les càrregues de la planta pis al terreny.







FUNCIÓ ESTRUCTURAL (1 de 5)

***TOT ELEMENT CONSTRUCTIU  
HA DE SER SUPORTAT PER UN  
ELEMENT ESTRUCTURAL!!!!***



### FUNCIÓ ESTRUCTURAL (2 de 5)

#### ***Pòrtic***

- Grup d'elements estructurals que treballen conjuntament respecte un únic pla.
- El pòrtic amb una configuració més senzilla està compost per una llinda i dos pilars. Si la coberta té una morfologia a dues aigües, aquesta configuració és representada per dues llindes i dos pilars.
- Generalment, els pòrtics que s'utilitzen en edificis industrials són hiperestàtics. D'aquesta manera s'aconsegueix salvar més llum a igualtat de càrrega i secció estructural.

#### ***Pilar***

- Element resistent vertical inclòs en el pòrtic.
- És l'encarregat de suportar els elements estructurals horitzontals i de canalitzar les tensions al terreny a través de la fonamentació.

#### ***Llinda***

- Element resistent horitzontal o inclinat, segons la tipologia de la coberta, inclòs en el pòrtic.
- És l'encarregat de suportar les corretges de coberta i de transmetre les càrregues, en forma de tensions, cap al pilar.



### FUNCIÓ ESTRUCTURAL (3 de 5)

#### ***Carener***

- En una coberta a dues aigües, el carener és la unió entre les dues llindes.
- En un edifici regular representa l'eix de simetria de la nau.

#### ***Corretja de coberta***

- Element estructural secundari disposat perpendicularment entre dos pòrtics consecutius, encarregat de suportar l'element *constructiu* coberta.
- Es recolza de llinda a llinda. Es pot executar com un element resistent biarticulat o amb continuïtat.
- Transmet les accions gravitatòries de la coberta i mediambientals a les llindes.

#### ***Jàssera***

- Element resistent horitzontal inclòs en el pòrtic en el cas d'existir una o més plantes pis.
- És l'encarregat de suportar les biguetes del forjat i de transmetre les càrregues, en forma de tensions, cap al pilar.



### FUNCIÓ ESTRUCTURAL (4 de 5)

#### ***Bigueta de forjat***

- Element estructural secundari disposat perpendicularment entre dos pòrtics consecutius, encarregat de suportar l'element *constructiu* forjat, en cas que aquest no sigui auto resistent.
- Es recolza de jàssera a jàssera. Es pot executar com un element resistent biarticulat o amb continuïtat.
- Transmet les accions gravitatòries del forjat a les jàsseres.

#### ***Corretja de façana***

- Element estructural secundari disposat perpendicularment entre dos pòrtics consecutius, encarregat de suportar l'element *constructiu* façana, en cas que aquesta no sigui auto resistent.
- Es recolza de pilar a pilar. S'acostuma a executar com un element resistent biarticulat.
- Transmet les càrregues degudes al vent que incideix a la façana cap als pilars.

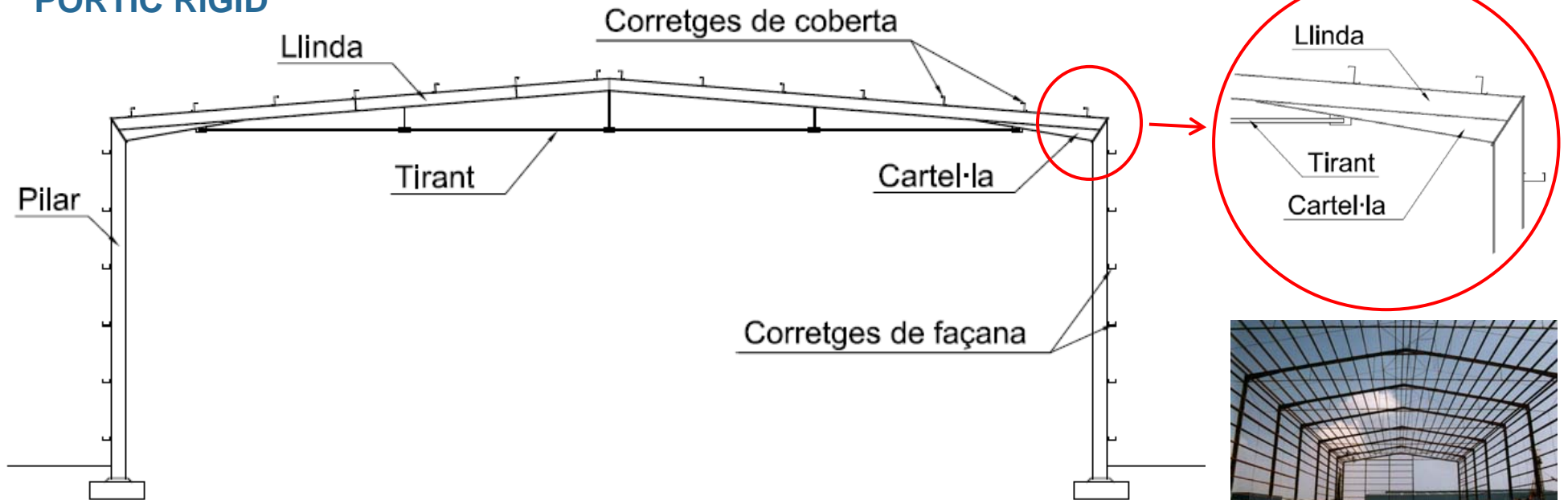


### FUNCIÓ ESTRUCTURAL (5 de 5)

#### *Arriostraments*

- Element estructural secundari disposat perpendicularment entre dos pòrtics consecutius. S'acostumen a disposar en el primer i últim vano.
- És l'encarregat d'enrigidir els plans de la coberta i les façanes longitudinals per tal que l'edifici sigui intranslacional en aquesta direcció.
- Hi ha dues tipologies principals: les creus de Sant Andreu o les “V” a contravent.

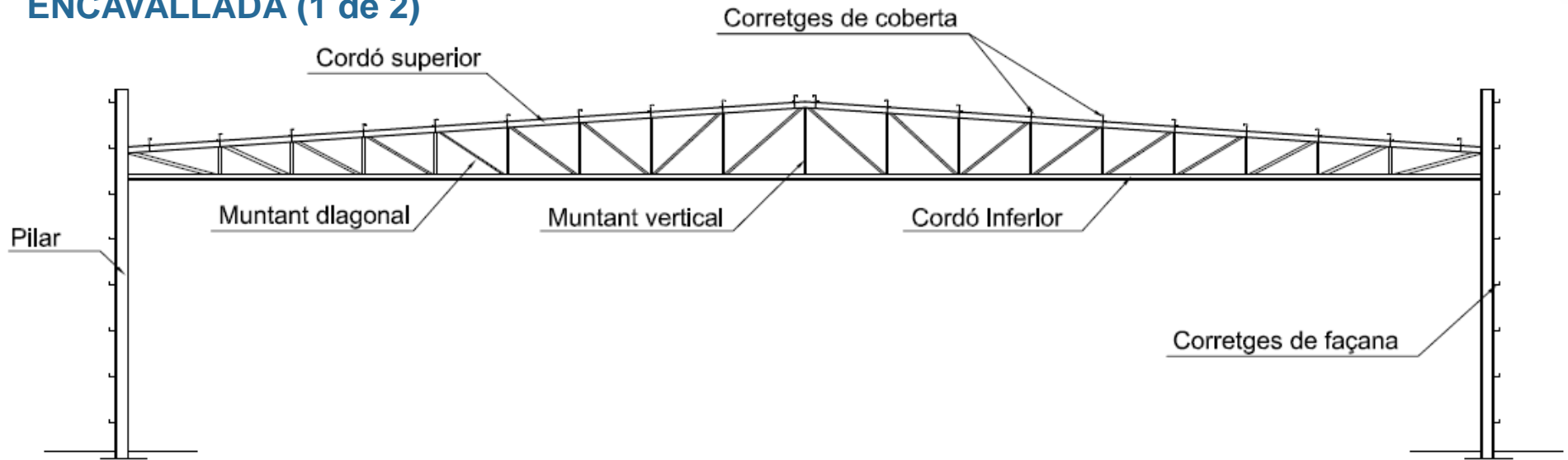
### PÒRTIC RÍGID



- Pòrtic format per perfils laminats normalitzats.
- Disposició de cartel·les soldades a la llinda en zona de moment flector màxim.
- Possibilitat de disposar tirant per reduir sol·licitacions dels pilars.
- Solució òptima per a llums compreses entre 20 i 28m.



### ENCAVALLADA (1 de 2)



- Pòrtic compost per perfils laminats i/o conformats normalitzats.
- Dissenyar gelosia per tal que els muntants verticals treballin a compressió i els muntants diagonals a tracció (efecte vinclament).
- Solució òptima per a llums superiors a 30m.





### ENCAVALLADA (2 de 2)

1.- Fabricació de les encavallades a taller.



2.- Transport per peces.

3.- Presentació i muntatge de les encavallades al terra de la parcel·la.

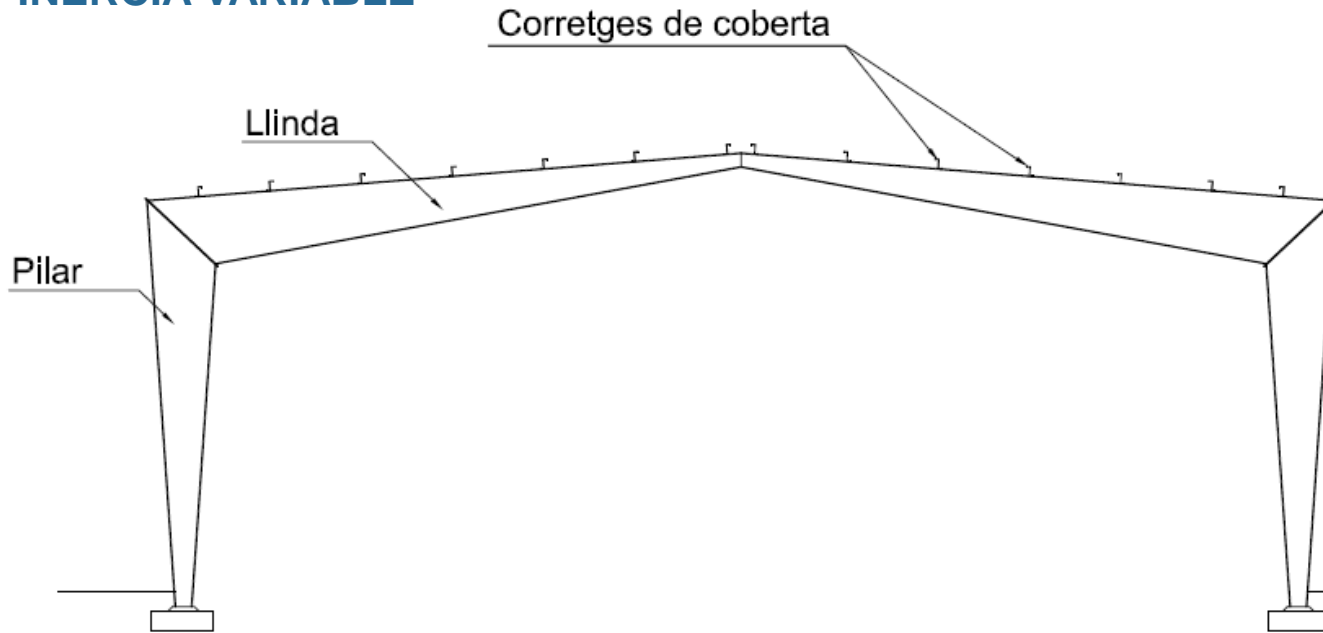


4.- Elevació i col·locació de l'element estructural utilitzant grues.

5.- Fixació de l'encavallada als pilars mitjançant operaris.



### INÈRCIA VARIABLE



- Pòrtic compost per perfils armats fabricats a taller amb cordó de soldadura continu.
- Optimització de la secció d'acer en funció de la sol·licitació.
- Pilars, generalment, articulats a la base.
- Solució òptima per a edificis amb llums a partir de 40m i alçades a partir de 15m.

# CONSTRUCCIONS INDUSTRIALS

Christian Escrig Pérez

## TEMA 5: Introducció a les estructures metàl·liques

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola d'Enginyeria de Terrassa

Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria



Attribution-Noncommercial 2.5

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/es/deed.ca>





## TEMA 5: INTRODUCCIÓ A LES ESTRUCTURES METÀL·LIQUES

### - LES ESTRUCTURES METÀL·LIQUES...

- Què és un metall?
- Perspectiva històrica
- Característiques generals
- Avantatges de les estructures d'acer
- Inconvenients de les estructures d'acer
- Usos freqüents de les estructures d'acer
- Etapes constructives



## TEMA 5: INTRODUCCIÓ A LES ESTRUCTURES METÀL·LIQUES

### - EL MATERIAL ACER

- Propietats mecàniques dels acers
- Tipus d'acers estructurals
- Productes d'acer
- Productes d'acer laminat en calent
- Productes d'acer conformats en fred

### - PROCÉS DE FABRICACIÓ

- Antecedents i procés actual
- Fàbrica d'acer elèctrica



### QUÈ ÉS UN METALL?

- (...) és un material en el que existeix un solapament entre la banda de valència i la banda de conducció en la seva estructura electrònica, és a dir, un enllaç metàl·lic (vikipèdia).

??????

- S'entén per estructura metàl·lica aquella estructura constituïda per materials metàl·lics, fonamentalment **acer**.
- L'acer és un aliatge de ferro amb una quantitat de carboni variable entre el 0,1 i el 2,1% en pes. En la seva composició s'afegeixen altres elements metàl·lics per a millorar les seves característiques mecàniques.
- L'àmbit d'aplicació de l'assignatura és aplicable a les estructures i elements d'acer estructural d'edificis i obres d'enginyeria civil, amb límit elàstic que no sigui superior a 460MPa.



### PERSPECTIVA HISTÒRICA – PRIMERS PASSOS

- Els primers indicis de l'aparició de l'acer daten de 1400 a.C. en unes restes trobades a l'est d'Àfrica.
- Els artesans del ferro fabricaven peces d'acer escalfant ferro forjat i carbó vegetal en recipients d'argila durant uns quants dies. En aquest procediment el ferro absorbia suficient carboni per a convertir-se en acer.
- Aquesta tècnica era molt lenta i costosa, i només servia per a obtenir petites quantitats de material.



### PERSPECTIVA HISTÒRICA – REVOLUCIÓ INDUSTRIAL

- A principis del segle XVII, D. Dudley aconseguí fondre ferro utilitzant carbó mineral (carbó de coc) com combustible, tot i que el resultat obtingut mitjançant aquest procés no era de bona qualitat.
- En el segle XVIII, A. Darby I va desenvolupar un mètode de producció de ferro de gran qualitat en alt forn alimentat per coc en comptes de carbó vegetal, el que va suposar un gran avanç a la producció de ferro com material bàsic per a la indústria.
- A l'any 1779 es realitza la primera construcció civil amb ferro, el pont Severn a Coalbrookdale (Anglaterra).



### PERSPECTIVA HISTÒRICA – PRODUCCIÓ INDUSTRIALITZADA (1 de 2)

- A inicis del segle XIX s'inicia el procés de laminació de planxes de ferro.
- A l'any 1830 s'inicia la producció de rails de ferrocarril.
- A l'any 1854 es produeixen els primers perfils doble T amb ferro forjable.
- L'any 1855 representa un abans i un després a la història de l'acer: en l'idea de fabricar un material amb millors característiques mecàniques que el ferro, Henry Bessemer construeix un convertidor capaç de produir acer de forma industrialitzada.
- El convertidor Bessemer consistia en un recipient cònic d'acer folrat de maons refractaris. El ferro fos s'abocava a l'interior del recipient situat en posició vertical, i es feia passar aire a través d'orificis oberts en la base. El flux d'aire travessava el ferro fos i cremava tot el carboni necessari per obtenir l'acer.





### PERSPECTIVA HISTÒRICA – PRODUCCIÓ INDUSTRIALITZADA (2 de 2)

- A l'any 1864, Carl Wilhelm Siemens va idear un altre procediment de fabricació industrial de l'acer, el procediment Siemens-Martin, consistent en reescalfar l'aire injectat en els forns entrecreuant-los amb els gasos provinents de la combustió.
- Posteriorment, a l'any 1902, el francès Paul Héroult, va desenvolupar la tècnica actual de producció comercial de l'acer mitjançant el forn elèctric. Aquesta tècnica consisteix en fondre ferralla d'acer de composició coneguda, produint un arc elèctric mitjançant grans elèctrodes de grafit situats a l'interior del forn.
- Durant el segle XX i el present segle XXI, s'ha avançat a optimitzar els procediments de producció i el control precís de les concentracions dels diferents elements presents en l'acer.



### CARACTERÍSTIQUES GENERALS

- Estructures de més capacitat tensional, però de més cost volumètric.
- Elevades resistències a compressió i a tracció.
- Esgotament dúctil del material. Deformacions significatives abans del col·lapse.
- Apte per a la prefabricació i la industrialització productiva. Toleràncies reduïdes (ordre de mil·límetres).
- Peces esveltes. Problemes d'inestabilitat.



### AVANTATGES DE LES ESTRUCTURES D'ACER

- Curt període d'execució.
- Reducció de les dimensions de l'estructura. Construccions lleugeres.
- Permeten cobrir grans llums.
- Alta resistència i ductilitat (sisme, impacte). Deformacions significatives abans del col·lapse.
- Flexibilitat i adaptabilitat a les dimensions del solar.
- Canvis futurs en l'ús de l'estructura.
- Integració racional de les instal·lacions.
- Facilitat de desmuntatge, valor residual.



### INCONVENIENTS DE LES ESTRUCTURES D'ACER

- Necessitat de protecció contra la corrosió (pintures, acer Corten, dimensions dels elements estructurals majors a les necessàries).
- Necessitat de protecció contra foc (a temperatures elevades, disminueixen les característiques mecàniques de l'acer).
- Precaució en front la fatiga degut a càrregues dinàmiques (ponts de ferrocarril, ponts grua, estructures off-shore...).
- Precaució en front ruptura fràgil (estructures amb molta soldadura, gruixos grans, baixes temperatures).
- Material de major cost volumètric.



### USOS FREQUENTS DE LES ESTRUCTURES D'ACER

- Edificis i naus industrials (edificis amb sobrecàrregues elevades, grans llums).
- Vivendes i oficines (principalment en edificis d'alçada significativa).
- Edificis socioculturals, poliesportius, escoles, ...
- Ponts i passarel·les per als vianants.
- Altres (construcció naval, estructures off-shore, centrals...)





### ETAPES CONSTRUCTIVES

- L'objectiu principal dels diferents agents que participen en el disseny i execució d'una construcció és aconseguir que l'estructura sigui:

- Segura (ELU)
  - Funcional (ELS)
  - Estètica
  - Econòmica
  - Sostenible
- Àmbit normatiu:  
Eurocodis, CTE, ...**
- Millor combinació  
possible respectant el  
medi ambient**

- Per això cal tenir coneixements sobre materials, càlcul d'estructures, procediments de muntatge (obra) i fabricació (taller), i adoptar una actitud racional i creativa amb ajuda de l'experiència adquirida.

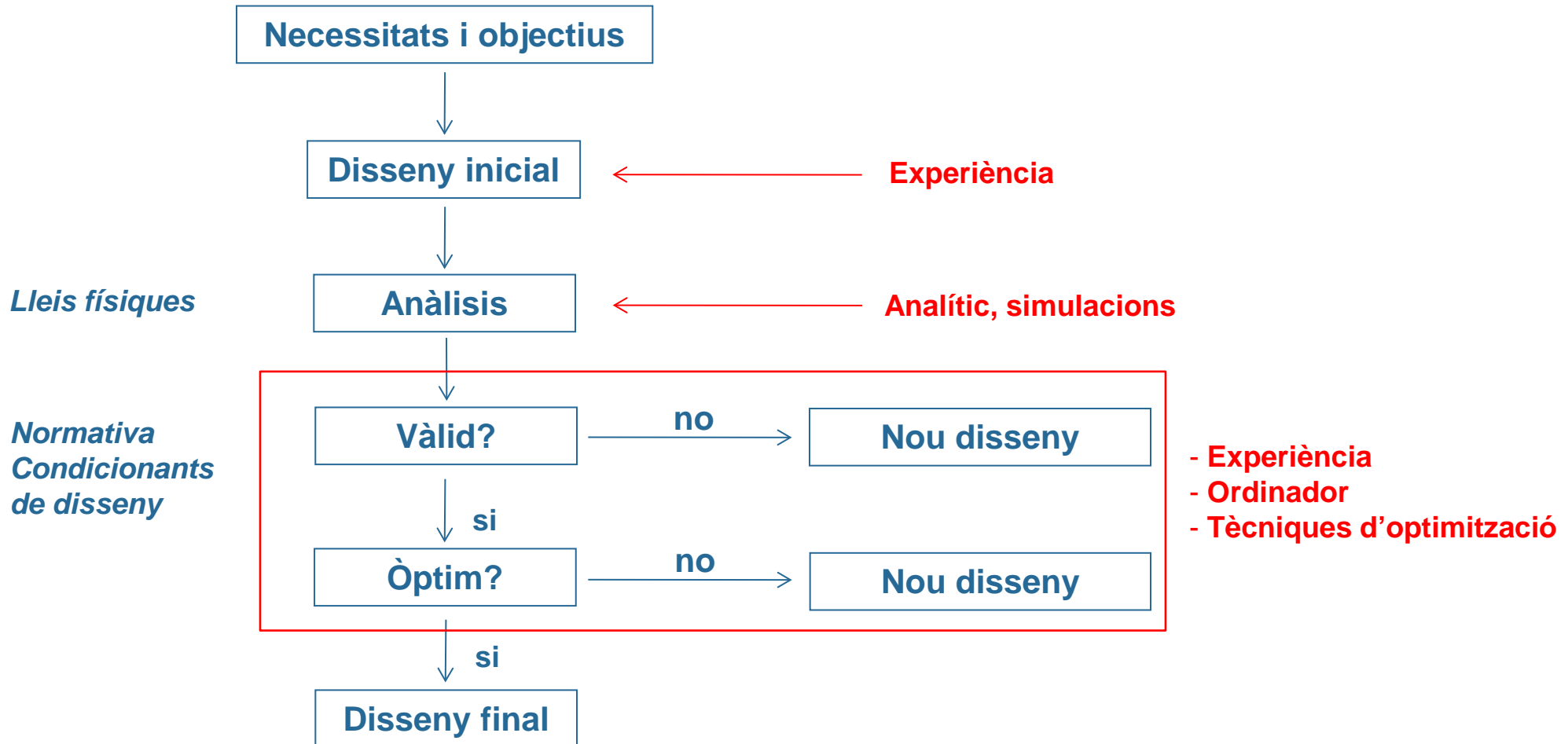


### ETAPES CONSTRUCTIVES – PROJECTE (1 de 2)

- Elecció de la tipologia estructural que millor s'ajusti a la construcció projectada.
- Predimensionament dels components.
- Càlcul analític dels elements resistents o generació de model per a simulació informàtica.
- Anàlisis i recerca d'alternatives en el disseny.
- Validació i definició de la solució.
- Generació de la documentació necessària per a l'execució de l'estructura: plànols, memòria, plecs de condicions, amidaments, etc.



### ETAPES CONSTRUCTIVES – PROJECTE (2 de 2)





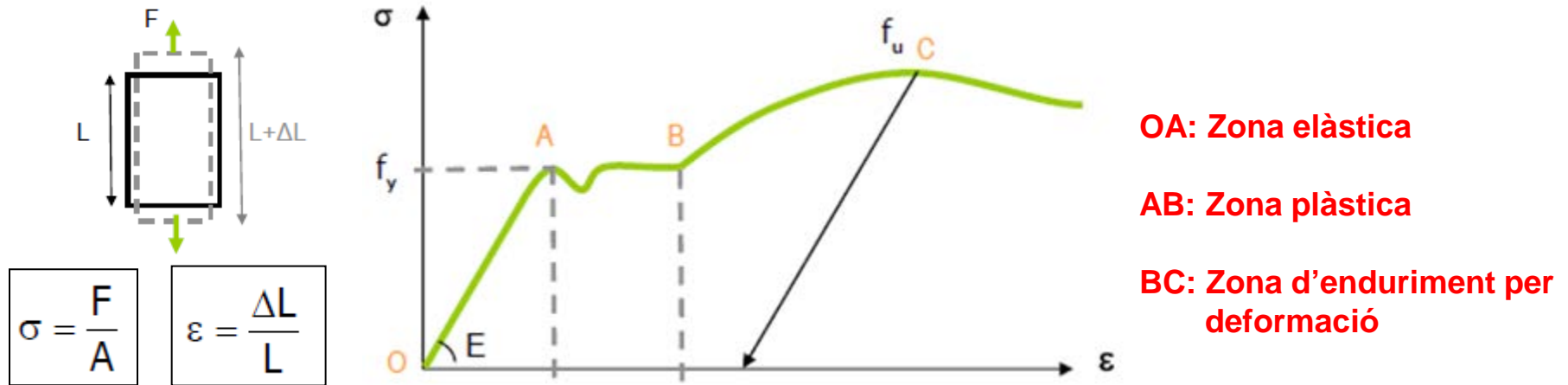


### ETAPES CONSTRUCTIVES – EXECUCIÓ

- Realització plànols de taller. Especejament de tots els elements estructurals.
- Fabricació de peces.
- Controls de qualitat en taller:
  - Inventari peces.
  - Soldadura: líquids penetrants, partícules magnètiques, etc.
  - Toleràncies dimensionals.
- Realització dels plànols de muntatge.
- Presentació i muntatge de l'estructura.
- Controls de qualitat en obra:
  - Replanteig suports.
  - Desplom pilars.
  - Soldadura: ultrasons, radiografies, etc.
  - Parell de collament dels cargols.

### PROPIETATS MECÀNIQUES DELS ACERS (2 de 2)

- El diagrama de tensió deformació d'una proveta normalitzada d'acer sotmesa a un assaig de tracció (tensió uniaxial) és el següent:

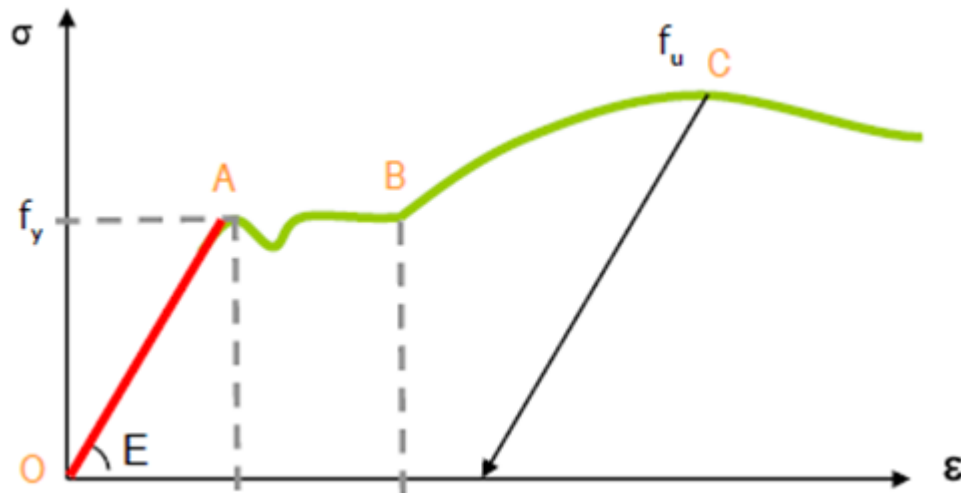


- En el diagrama de tensió deformació es diferencien diverses zones que caracteritzen el seu comportament.



### PROPIETATS MECÀNIQUES DELS ACERS – ZONA ELÀSTICA (1 de 2)

- És la zona on, en cas de descàrrega, el material recupera totalment les deformacions ocasionades.



- Existeix una relació lineal entre  $\sigma$  i  $\epsilon$ . Aquesta es troba expressada segons la llei de Hooke:

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$



### PROPIETATS MECÀNIQUES DELS ACERS – ZONA ELÀSTICA (2 de 2)

- E representa el mòdul d'elasticitat lineal o mòdul de Young. Per a l'acer, el mòdul de Young pren el següent valor:

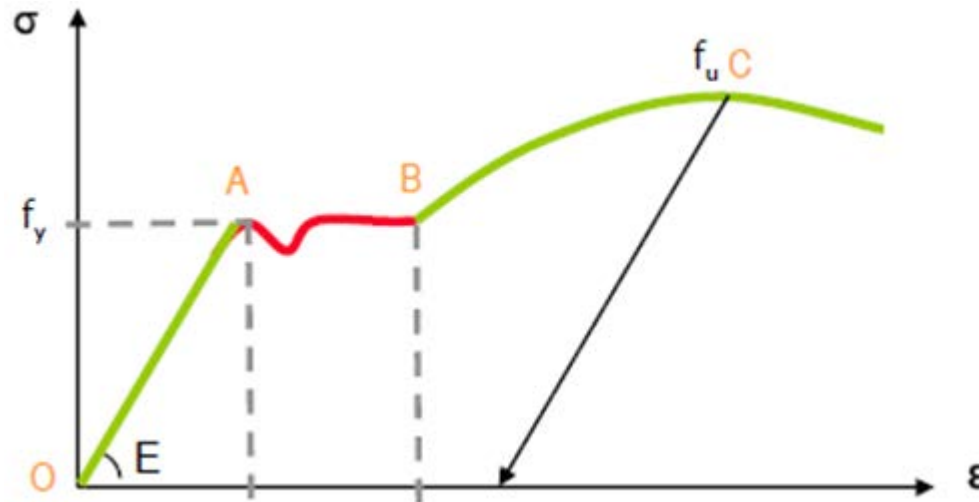
$$E=210000\text{MPa}$$

- $f_y$  és la tensió de límit elàstic. Aquesta es defineix com la càrrega unitària corresponent a una deformació romanent del 0,2%.
- El valor de  $f_y$  coincideix amb el del graó de cedència en aquells acers que el presenten.



### PROPIETATS MECÀNIQUES DELS ACERS – ZONA PLÀSTICA

- En cas de carregar fins a sobrepassar el límit elàstic, s'entra en una zona en que les deformacions augmenten mantenint-se la tensió constant. Aquest tram es comprèn entre  $0,2\% < \varepsilon < \sim 1,5\%$ .

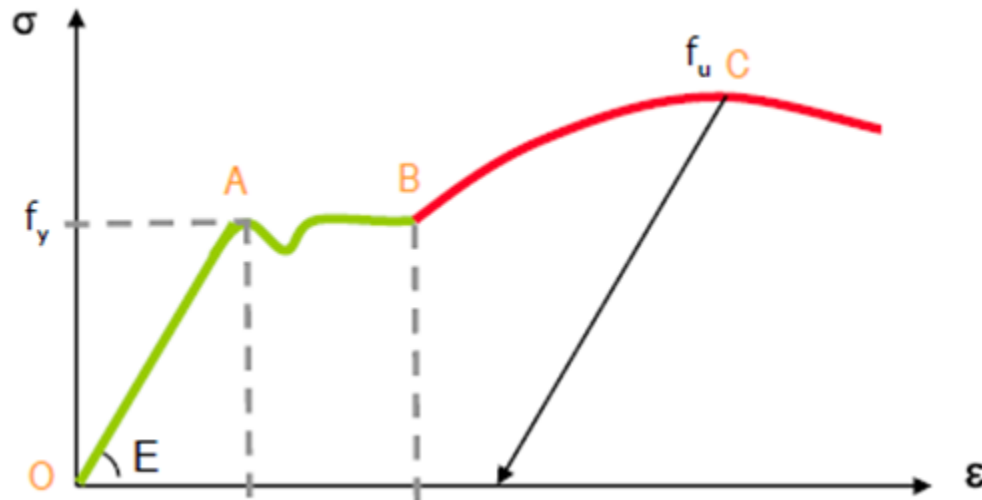


- La descàrrega es produeix per una recta amb pendent E i es recupera part de la deformació total (deformació elàstica) però es manté una deformació plàstica.



### PROPIETATS MECÀNIQUES DELS ACERS – D'ENDURIMENT PER DEFORMACIÓ

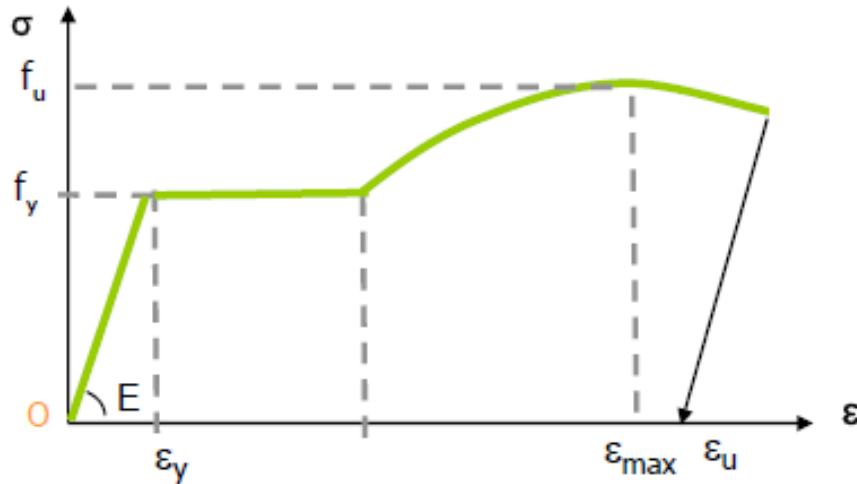
- A partir del punt B apareix un nou tram d'enduriment per deformació fins el valor de la càrrega unitària màxima a tracció, la resistència a tracció  $f_u$ .



- A partir del punt C, la proveta perd secció (estricció) i s'arriba fins la ruptura física de la proveta obtenint una deformació romanent concentrada de ruptura  $\epsilon_u=18-25\%$ .

### PROPIETATS MECÀNIQUES DELS ACERS – REQUISITS DE DUCTILITAT

- Per tal de garantir que l'acer estructural sigui suficientment dúctil cal complir les següents condicions:



- $f_u / f_y \geq 1,10$
- $\epsilon_u \geq 0,15$
- $\epsilon_{max} \geq 15 \cdot \epsilon_y$



### PROPIETATS MECÀNIQUES DELS ACERS – CONSTANTS MECÀNIQUES

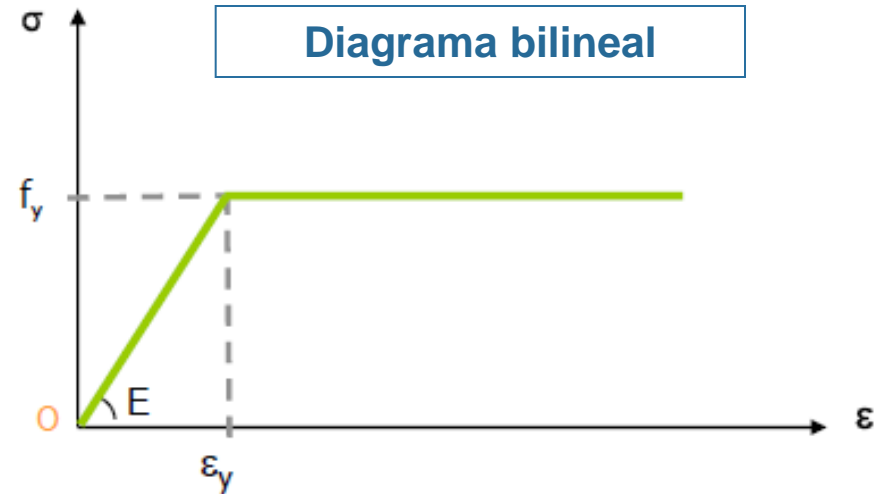
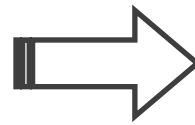
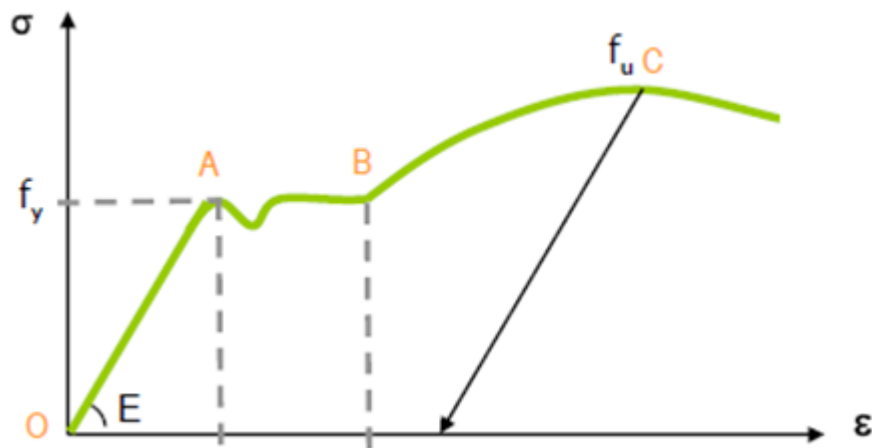
– Les constants mecàniques de l'acer de més interès són les següents:

- Mòdul d'elasticitat lineal  $E=210000\text{MPa}$
- Mòdul d'elasticitat transversal  $G=E/2(1+\nu)$
- Coeficient de Poisson  $\nu=0,3$
- Coeficient de dilatació lineal  $\alpha=1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Densitat  $\gamma=7850\text{kg/m}^3$



### PROPIETATS MECÀNIQUES DELS ACERS – MODELITZACIÓ DEL DIAGRAMA $\sigma - \epsilon$

- En el dimensionament de seccions estructurals s'admet el diagrama simplificat tipus bilineal, sempre que el seu us condueixin a resultats que quedin en el costat de la seguretat o estiguin suficientment avalats per l'experiència





### TIPUS D'ACERS ESTRUCTURALS

- Segons el CTE DB-SE-A, els tipus d'acers estructurals són los següents:

Norma y tipo de acero	Espesor nominal del elemento $t$ [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550

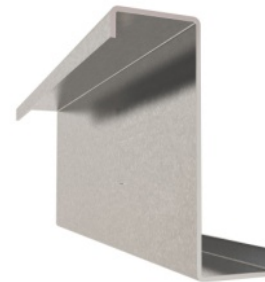
### PRODUCTES D'ACER

– Existeixen varis tipus de productes d'acer. Aquests es poden classificar de la següent manera:

- Productes laminats en calent:
  - Perfils estructurals
  - Xapa



- Productes conformats en fred:
  - Perfils conformats
  - Xapa lleugera

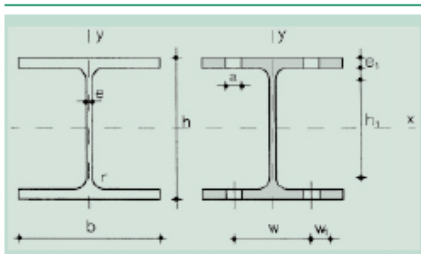




### PRODUCTES D'ACER LAMINATS EN CALENT – PERFILS ESTRUCTURALS

- Els perfils estructurals laminats en calent són els més usats i s'agrupen en series segons la forma i característiques geomètriques de la secció transversal.
- En l'àmbit europeu, els perfils més comuns són els següents: IPE, IPN, HEA, HEB, HEM, UPN i perfils en L.
- El document que agrupa tots els perfils comercials disponibles en el mercat, juntament amb les seves característiques geomètriques, es coneix com promptuari.
- Tot i que els perfils estructurals estan normalitzats, cada fabricant publica el seu propi promptuari. Dels quals destaquen Ensidesa, Arcelor, Celsa, etc.

### PRODUCTES D'ACER LAMINATS EN CALENT – PROMPTUARIS



$A$  = Àrea de la secció  
 $S_x$  = Momento estático de media secció, respecto a X  
 $I_x$  = Momento de inercia de la secció, respecto a X  
 $W_x = 2I_x : h$  : Módulo resistente de la secció, respecto a X  
 $i_x = \sqrt{I_x : A}$  : Radio de giro de la secció, respecto a X  
 $I_y$  = Momento de inercia de la secció, respecto a Y  
 $W_y = 2I_y : b$  : Módulo resistente de la secció, respecto a Y  
 $i_y = \sqrt{I_y : A}$  : Radio de giro de la secció, respecto a Y  
 $I_t$  = Módulo de torsión de la secció  
 $I_a$  = Módulo de alabeo de la secció  
 $u$  = Perímetro de la secció  
 $a$  = Diámetro del agujero del roblón normal  
 $w$  = Gramil, distancia entre ejes de agujeros  
 $h_1$  = Altura de la parte plana del alma  
 $p$  = Peso por m

Perfil	Dimensiones							Términos de sección							Agujeros			Peso				
	h	b	e	e <sub>1</sub>	r <sub>1</sub>	h <sub>1</sub>	u	A	S <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	I <sub>t</sub>	I <sub>a</sub>	w	w <sub>1</sub>	a	p	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	mm	mm	mm	kg/m	
HEB 100	100	100	6,0	10,0	12	56	567	26,0	52,1	450	90	4,16	167	33	2,53	9,34	3,375	55	—	13	20,4	P
HEB 120	120	120	6,5	11,0	12	74	686	34,0	82,6	664	144	5,04	318	53	3,06	14,90	9,410	65	—	17	26,7	P
HEB 140	140	140	7,0	12,0	12	92	805	43,0	123,0	1.509	216	5,93	550	79	3,58	22,50	22,480	75	—	21	33,7	P
HEB 160	160	160	8,0	13,0	15	104	918	54,3	177,0	2.492	311	6,78	889	111	4,05	33,20	47,940	85	—	23	42,6	P
HEB 180	180	180	8,5	14,0	15	122	1.040	65,3	241,0	3.831	426	7,66	1.363	151	4,57	46,50	93,750	100	—	25	51,2	P
HEB 200	200	200	9,0	15,0	18	134	1.150	78,1	321,0	5.696	570	8,54	2.003	200	5,07	63,40	171.100	110	—	25	61,3	P

# IPE

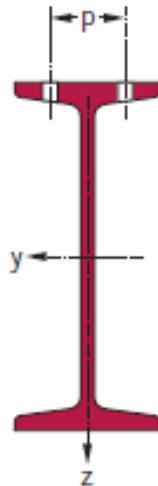
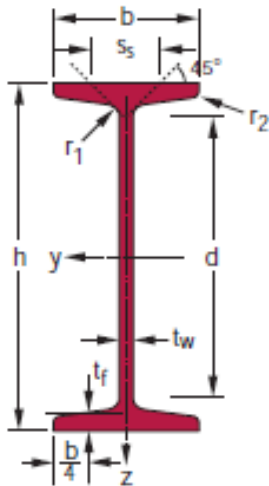
Páginas de notaciones 213-217 / Notations pages 213-217 / Pagine di annotazioni 213-217

Denominación Designation Designazione	Propiedades del perfil / Section properties / Proprietà del profilato											Classification ENV 1993-1-1						
	eje fuerte y-y strong axis y-y asse forte y-y					eje débil z-z weak axis z-z asse debole z-z						pure bending yy		pure compression				
	I <sub>y</sub>	W <sub>el,y</sub>	W <sub>pl,y</sub> †	I <sub>y</sub>	A <sub>vz</sub>	I <sub>z</sub>	W <sub>el,z</sub>	W <sub>pl,z</sub> †	I <sub>z</sub>	S <sub>s</sub>	l <sub>t</sub>	l <sub>w</sub>	S 235	S 355	S 460	S 235	S 355	S 460
G kg/m	mm <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>	mm	mm	mm <sup>4</sup>	mm <sup>5</sup>	mm	mm	mm	mm	mm	mm

	x 10 <sup>4</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10	x 10 <sup>2</sup>	x 10 <sup>4</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10		x 10 <sup>4</sup>	x 10 <sup>3</sup>										
IPE 80 A	5,0	64,38	16,51	18,98	3,18	3,07	6,85	2,98	4,69	1,04	17,60	0,42	0,09	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE 80	6,0	80,14	20,03	23,22	3,24	3,58	8,49	3,69	5,82	1,05	20,10	0,70	0,12	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE A 100	6,9	141,2	28,81	32,98	4,01	4,44	13,12	4,77	7,54	1,22	21,20	0,77	0,28	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE 100	8,1	171,0	34,20	39,41	4,07	5,08	15,92	5,79	9,15	1,24	23,70	1,20	0,35	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE A 120	8,7	257,4	43,77	49,87	4,83	5,41	22,39	7,00	10,98	1,42	22,20	1,04	0,71	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE 120	10,4	317,8	52,96	60,73	4,90	6,31	27,67	8,65	13,58	1,45	25,20	1,74	0,89	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓

### PRODUCTES D'ACER LAMINATS EN CALENT – TIPOLOGIES DE PERFILS

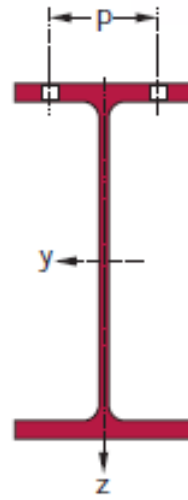
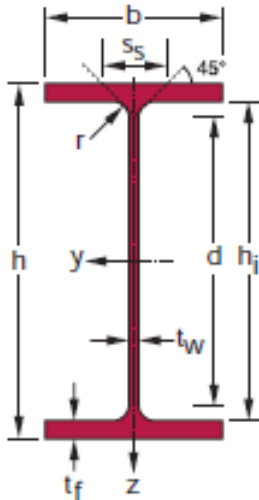
#### IPN



- Secció transversal en doble T.
- Cares interiors inclinades ~14%.
- Contorns arrodonits.
- 80 a 600 mm de cantell.
- Ànima gruixuda, adequada per a resistir càrregues concentrades.
- S'utilitzen per a elements a flexió i els més grans per a suports.

### PRODUCTES D'ACER LAMINATS EN CALENT – TIPOLOGIES DE PERFILS

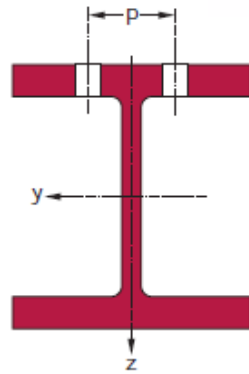
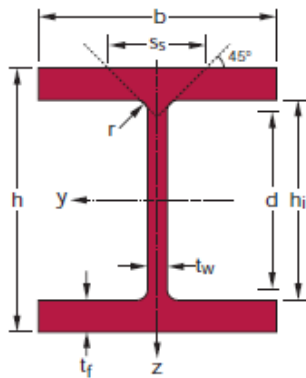
#### IPE



- Semblant al IPN però amb cares paral·leles.
- A igualtat de cantell tenen menys gruix d'ànima, més amplada d'ala i menys pes que els IPN.
- A igualtat de pes tenen més inèrcia, més radi de gir i més mòdul resistent que les IPN.
- S'utilitzen com perfils a flexió.

### PRODUCTES D'ACER LAMINATS EN CALENT – TIPOLOGIES DE PERFILS

HE

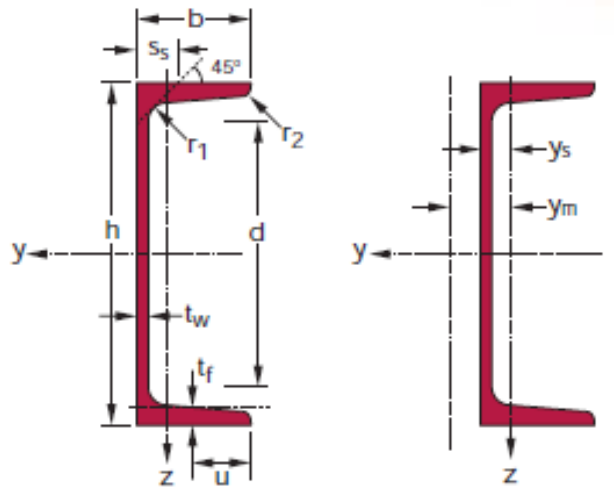


- Secció transversal en doble T.
- Tenen ales amples amb proporcions cantell/ample més petites
- Funcionen bé com pilars i les HEA s'utilitzen també a flexió.
- Existeixen tres subtipus: HEB, HEA (gruixos menors) i HEM (gruixos majors).



### PRODUCTES D'ACER LAMINATS EN CALENT – TIPOLOGIES DE PERFILS

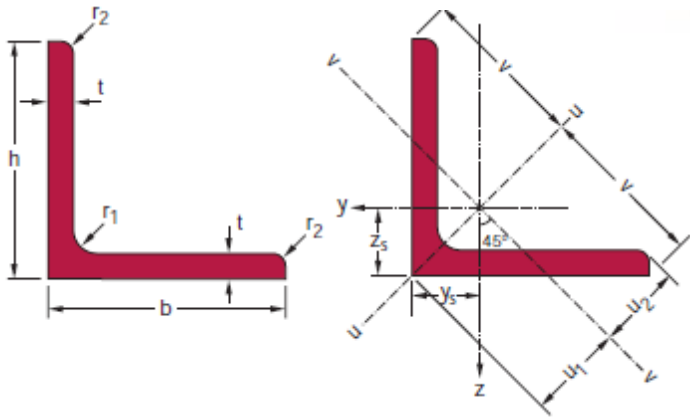
#### UPN



- Solució en forma de U.
- El seu CET no coincideix amb el CDG.
- S'utilitzen poc com elements a flexió
- És habitual combinar-los per a generar perfils compostos: bigues calaix, pilars amb platabandes d'unió, etc.

### PRODUCTES D'ACER LAMINATS EN CALENT – TIPOLOGIES DE PERFILS

L

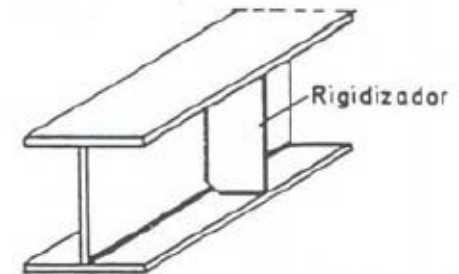
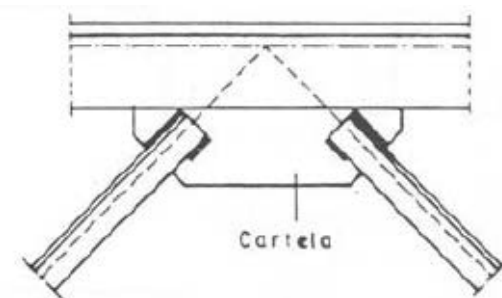
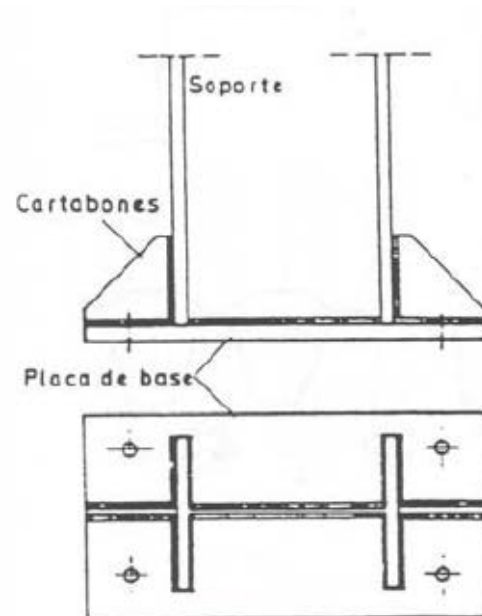


- Solució en forma de L.
- El seu CET no coincideix amb el CDG.
- S'usen generalment como premarcs.
- També es poden usar per a recolzar els graons en escales amb muntants d'acer.

### PRODUCTES D'ACER LAMINATS EN CALENT – XAPES

- Es classifiquen entre fines ( $< 3\text{mm}$ ), mitjanes (de 3 a  $4,75\text{mm}$ ) i gruixudes ( $> 4,75\text{mm}$ ).
- Les seves aplicacions més comunes són les següents:

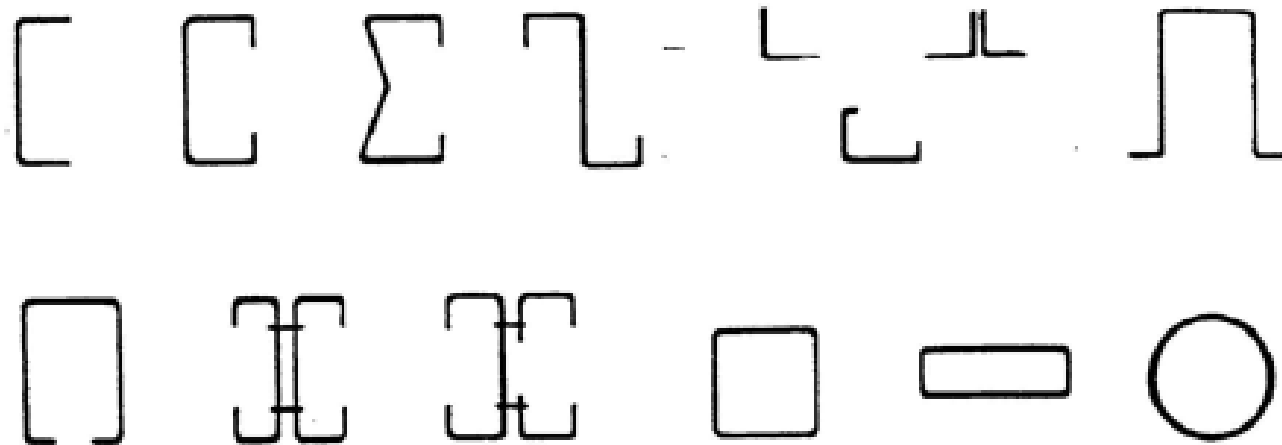
- Bigues armades
- Suports
- Enrigidors
- Plaques base
- Cartel·les
- Contra plaques unions





### PRODUCTES D'ACER LAMINATS EN FRED – PERFILS ESTRUCTURALS

- Els perfils estructurals conformats en fred són usats habitualment en estructures secundàries, tals com corretges, marcs de prestatgeries, etc.
- Són perfils d'acer de xapa molt fina (de 0,5 a 4mm).
- El procés de fabricació permet obtenir varies formes.





### PRODUCTES D'ACER LAMINATS EN FRED – XAPA LLEUGERA

– S'usa principalment com elements de cobertura: xapes llises, xapes grecades, etc.

(a). Paneles para cubiertas



(b). Paneles para cubiertas de grandes luces



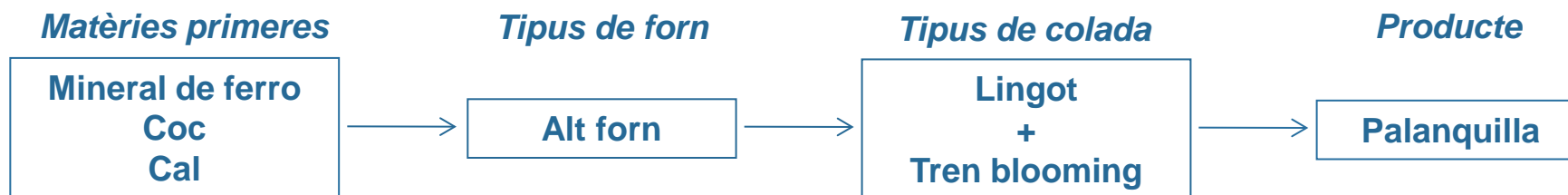
(c). Paneles para pisos



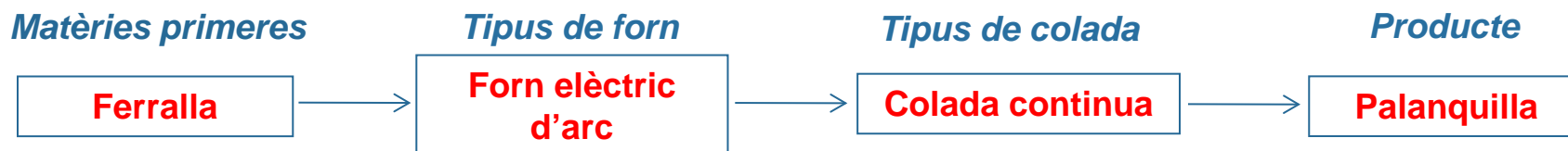


### ANTECEDENTS I PROCÉS ACTUAL

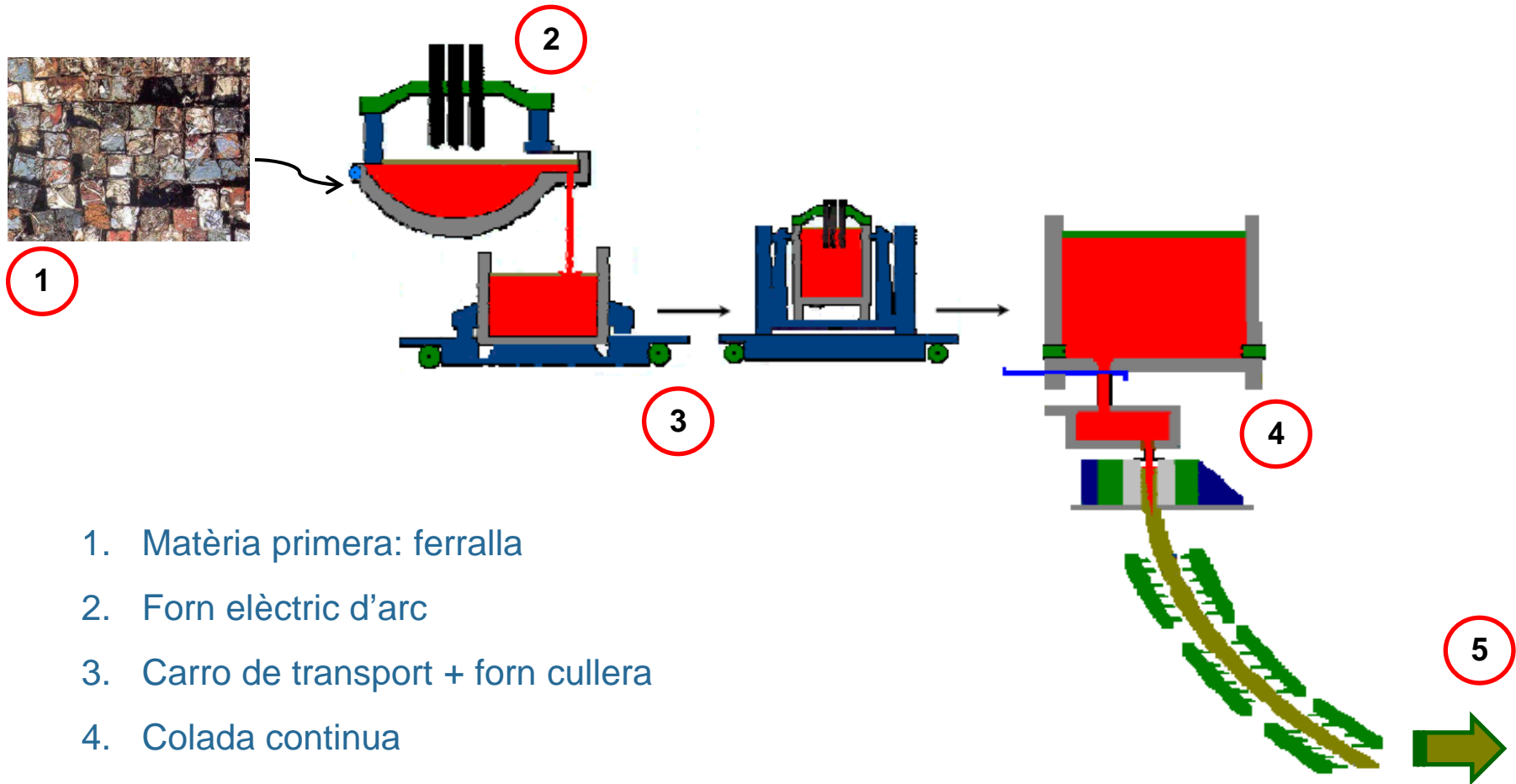
- A finals del segle XIX, l'acer es va començar a produir de manera industrialitzada en una **fàbrica d'acer integral**:



- Actualment, aquest procés va quedar en desús i va ser substituït pel de **fàbrica d'acer elèctrica**:



### FÀBRICA D'ACER ELÈCTRICA



1. Matèria primera: ferralla
2. Forn elèctric d'arc
3. Carro de transport + forn cullera
4. Colada continua
5. Tren de laminació



### FÀBRICA D'ACER ELÈCTRICA – MATÈRIA PRIMERA

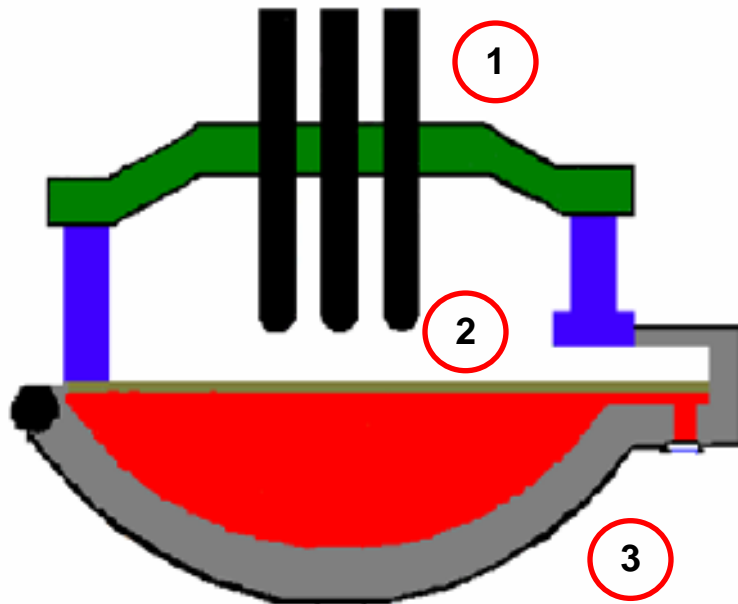
- Durant molts anys l'acer s'obtenia directament del mineral de ferro. Actualment la seva fabricació s'obté sobre tot de la ferralla, conservant-se encara algunes instal·lacions que tracten el mineral de ferro en països, com per exemple Alemanya.
- La matèria primera, s'emmagatzema en el parc de ferralla, sobre la mateixa es realitzen els següents controls:
  - Visual (aspecte, mida i formes).
  - Arc per a detectar material radioactiu.





### FÀBRICA D'ACER ELÈCTRICA – FORN ELÈCTRIC D'ARC (1 de 3)

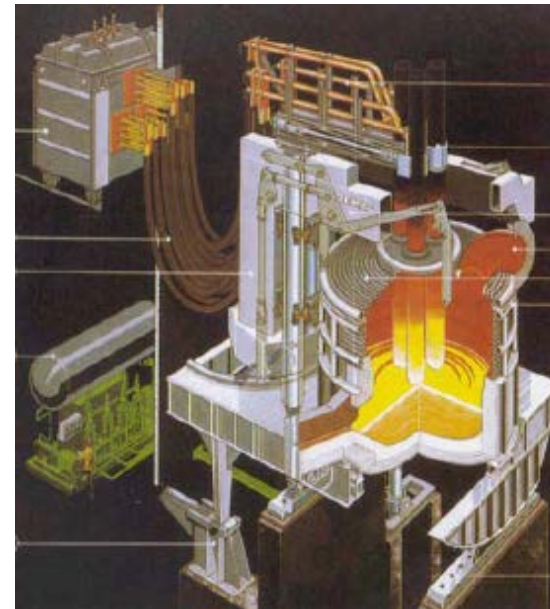
- El forn d'arc elèctric, fon la ferralla arribant fins una temperatura de 1600 graus centígrads.
- La ferralla es fon per aplicació d'energia elèctrica que és complementada amb cremadors de gas natural i injectors d'oxigen i carbó.
- El producte final es l'acer líquid que passa a la següent fase.



1. Elèctrodes de grafit
2. Escòria
3. Acer líquid

### FÀBRICA D'ACER ELÈCTRICA – FORN ELÈCTRIC D'ARC (2 de 3)

- El forn d'arc elèctric per a fàbrica d'acer consisteix en un recipient refractari allargat cobert per una volta també refractària i que, a través de la qual, s'allotgen un o més elèctrodes de grafit
- Aquests elèctrodes generalment tenen un diàmetre de 80cm.
- La seva capacitat està en torn a 100 tones d'acer per colada, en las quals s'inverteixen aprox. 45MWh d'energia (*el consum mig en una llar és de 275kWh/mes*).



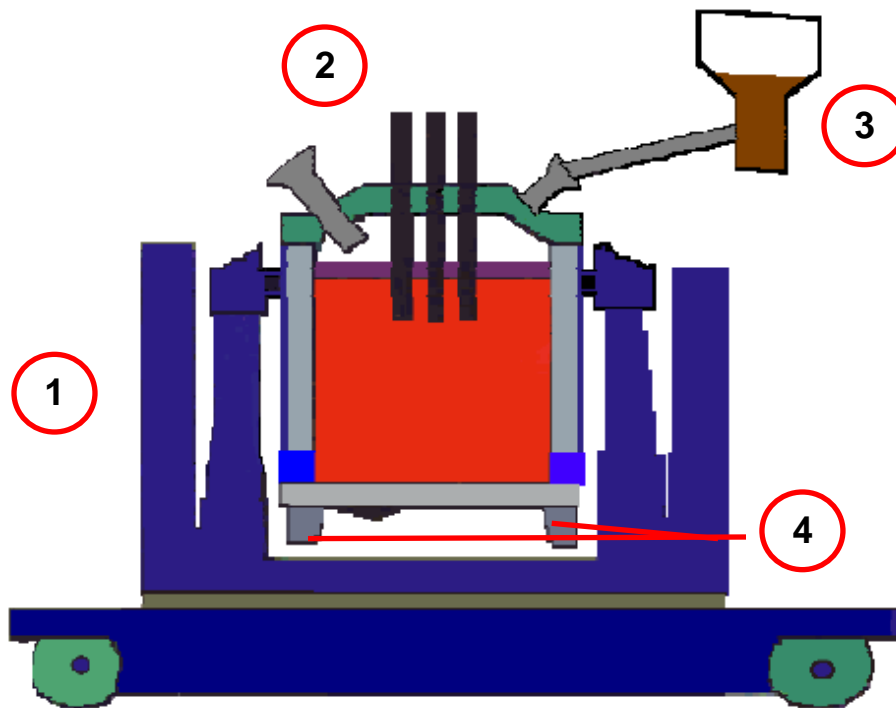
### FÀBRICA D'ACER ELÈCTRICA – FORN ELÈCTRIC D'ARC (3 de 3)

- És en el forn de fusió on es realitza la primera comprovació química de la qualitat de l'acer, i on es comença introduir additius per a portar la mescla fins a la qualitat desitjada.
- Una de les aportacions més habituals és la cal. Un altre dels elements bàsics que es consumeix a cada colada és l'oxigen, amb el que s'aconsegueix oxidar alguns elements els quals d'aquesta manera passen a formar part de l'escòria.



### FÀBRICA D'ACER ELÈCTRICA – FORN DE CULLERA (1 de 2)

- Consisteix en una instal·lació dotada d'una volta i tres elèctrodes que s'acoblen a la part superior de la cullera, convertint-la en un petit forn que permet escalfar l'acer.



1. Carro de transport
2. Elèctrodes de grafit
3. Adició de ferroaliatges
4. Entrades injecció de argó

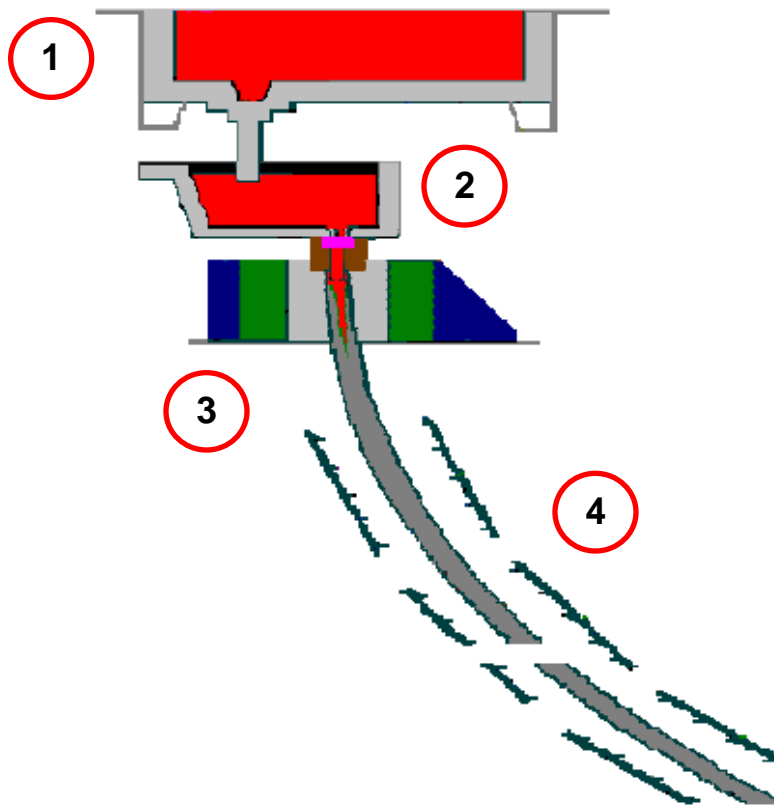


### FÀBRICA D'ACER ELÈCTRICA – FORN DE CULLERA (2 de 2)

- La principal funció del forn cullera és dotar l'acer líquid de les propietats necessàries abans del l'inici del procés de colada continua.
  
- Per això realitza les següents operacions:
  - Escalfament de l'acer i homogeneïtzació de la temperatura del bany.
  - Desoxidació: eliminar l'oxigen residual del bany.
  - Dessulfuració: eliminar el contingut de sofre del bany.
  - Adició i encaix d'elements d'aliatge. Homogeneïtzació de la composició en el bany
  - Decantació i separació d'inclusions.

### FÀBRICA D'ACER ELÈCTRICA – COLADA CONTINUA (1 de 3)

- Consisteix en un procés que permet la colada d'una seqüència de culleres d'acer líquid en unes línies de palanquilla.



1. Distribuïdor
2. Tundish
3. Lingotera
4. Càmeres de refrigeració



### FÀBRICA D'ACER ELÈCTRICA – COLADA CONTINUA (2 de 3)

- L'acer s'aboca de forma controlada del transport distribuïdor a un dipòsit regulador (tundish) que a la vegada aboca en un motlle foradat de coure anomenat lingotera que té la forma de la palanquilla.
- En el tundish el material tindrà una última injecció d'argó i oxigen, a més de ser sotmès a un moviment vibratori, que li permetrà entrar millor en les lingoteres.





### FÀBRICA D'ACER ELÈCTRICA – COLADA CONTINUA (3 de 3)

- A mida que la palanquilla avança per la lingotera és refrigerada amb aigua amb l'objecte de començar la seva solidificació.
- La colada continua acaba en un procés de oxitall, des d'on es regula la longitud de les palanquilles que posteriorment aniran al procés de laminació.
- Aquest procés va substituir a l'antic procés de colada en lingots, dotant a l'acer sobre tot d'una major homogeneïtat en la qualitat, augmentant per altra banda la productivitat en les fàbriques d'acer.







### FÀBRICA D'ACER ELÈCTRICA – PALANQUILLA

- La palanquilla és el producte resultant del procés de colada continua.
- Existeixen diferents seccions de palanquilla. Les que es convertiran en perfils doble T tenen una secció preforma de la definitiva.

BEAM BLANK I

Peso: 502 kg/m



285 mm

405 mm

BEAM BLANK II

Peso: 269 kg/m

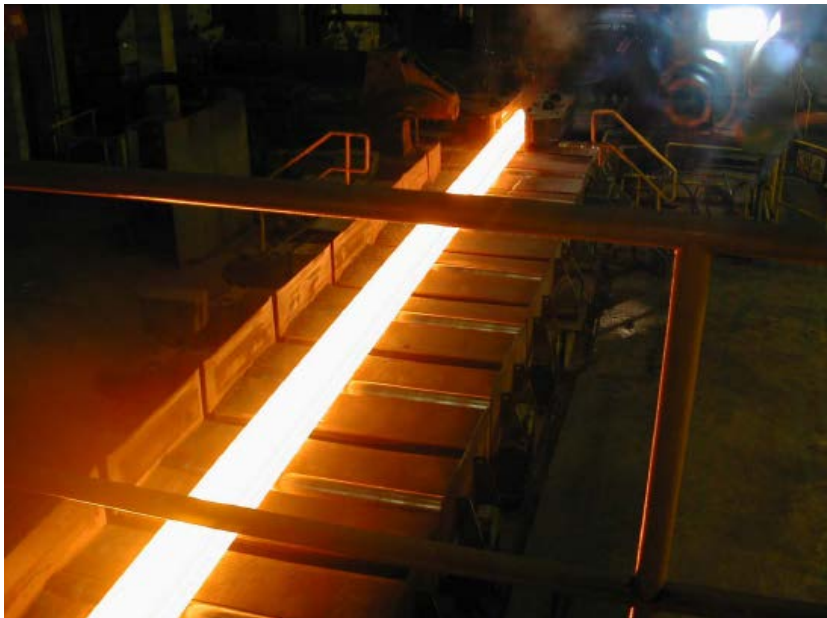


185 mm

270 mm

### FÀBRICA D'ACER ELÈCTRICA – LAMINACIÓ (1 de 3)

- Després del primer procés de fabrica d'acer i la obtenció de la palanquilla, el procés continua amb la laminació en calent per a l'obtenció dels perfils estructurals.
- La laminació consisteix en les successives reduccions de secció de la palanquilla mitjançant el pas d'aquesta per diversos cilindres de laminació.



### FÀBRICA D'ACER ELÈCTRICA – LAMINACIÓ (2 de 3)

- Les etapes de laminació són les següents:
  - *Forn de reescalfar*: Escalfa la palanquilla fins la temperatura de laminació.
  - *Tren de desbastament, intermedi i acabador*: Caixes de laminació que redueixen la secció de la palanquilla en diferents magnituds.





### FÀBRICA D'ACER ELÈCTRICA – LAMINACIÓ (3 de 3)

- *Tractament termomecànic:* Amb l'objecte d'augmentar la resistència de l'acer corrugat es sotmet la barra a un tractament termomecànic en continu.
- *Acabat i empaquetat:* El procés d'acabat i empaquetat depèn de la forma del perfil estructural.



# CONSTRUCCIONS INDUSTRIALS

Christian Escrig Pérez

## TEMA 6: Projecte i càlcul de les estructures d'acer

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola d'Enginyeria de Terrassa

Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria



Attribution-Noncommercial 2.5

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/es/deed.ca>





## TEMA 6: PROJECTE I CÀLCUL D'ESTRUCTURES D'ACER

### - CRITERIS DE RUPTURA

- Tensió de comparació
- Criteris de comparació

### - BASES DE PROJECTE

- Principis generals
- Vida útil
- Criteris de seguretat
- Situacions de projecte

### - MÈTODE DELS ESTATS LÍMIT

- Descripció
- Dimensionament i comprovació
- Estats límit últim ELU
- Estats límit de servei ELS



## TEMA 6: PROJECTE I CÀLCUL D'ESTRUCTURES D'ACER

### - ACCIONS

- Classificació d'accions
- Determinació accions
- Valors característics
- Valors representatius
- Combinació d'accions
- Coeficients de majoració de càrregues  $\gamma_i$
- Coeficients de simultaneïtat  $\psi_i$
- Ample tributari



## TEMA 6: PROJECTE I CÀLCUL D'ESTRUCTURES D'ACER

### - MATERIALS

- Valors característics i valors de càlcul
- Resistència de càlcul i resistència última de càlcul





### TENSIÓ DE COMPARACIÓ

- De l'assaig a tracció simple es coneix que, quan en un punt es compleix que  $\sigma \geq \sigma_e$ , es produeix l'esgotament per plastificació del material en dit punt.
- En bigues o pilars reals les tensions no són monoaxials, sinó que és freqüent que siguin biaxials o triaxials. Llavors és necessari definir un criteri per a veure fins quin valor poden augmentar totes les tensions de l'estat multi axial en l'element estructural que s'analitza.
- Es defineix com tensió de comparació ( $\sigma_{co}$ ) a la funció matemàtica de les tensions en un punt:  $\sigma_{co}=f(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}\dots)$
- La tensió de comparació no és una tensió real, no es pot mesurar. Només és una funció matemàtica que serveix de referència per a saber si ha començat la plastificació.



### CRITERIS DE COMPARACIÓ EN ACER

- Són criteris que prediuen la capacitat de l'acer sota estats de càrrega multi axial en relació amb els resultats obtinguts de l'assaig a tracció.
- Diferents autors com Rankine, Treska, Beltrami i Huber-Hencky-von Mises han desenvolupat expressions més o menys ajustades als resultats experimentals coneguts.



### CRITERIS DE COMPARACIÓ EN ACER - RANKINE

- El criteri de Rankine suposa que la plastificació en un punt comenci quan, en aquest punt, la major tensió principal aconsegueix el valor del límit elàstic.

$$\sigma_{co} = \sigma_l$$

- El criteri presenta discrepàncies amb el fenomen de compressió hidrostàtica i amb dades experimentals obtingudes posteriorment.



### CRITERIS DE COMPARACIÓ EN ACER - TRESKA

- El criteri de Treska suposa que la plastificació en un punt comença quan, en aquest punt, la màxima tensió tangencial aconseguix el mateix valor que a l'assaig de tracció simple en el moment en que es produeix la plastificació.

$$\sigma_{co} = \sigma_I - \sigma_{III}$$

- El criteri presenta discrepàncies amb dades experimentals obtingudes posteriorment.



### CRITERIS DE COMPARACIÓ EN ACER - BELTRAMI

- El criteri de Beltrami suposa que la plastificació en un punt comença quan, en aquest punt, l'energia emmagatzemada per unitat de volum és la mateixa que a l'assaig de tracció quan s'inicia la plastificació.

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_{III}^2 - 2\nu(\sigma_I\sigma_{II} + \sigma_I\sigma_{III} + \sigma_{II}\sigma_{III})}$$

- El criteri presenta discrepàncies amb el fenomen de compressió hidrostàtica i amb dades experimentals obtingudes posteriorment.



### CRITERIS DE COMPARACIÓ EN ACER - VON MISSES (1 de 2)

- El criteri de Von Misses suposa que la plastificació en un punt comença quan, en aquest punt, l'energia de distorsió emmagatzemada per unitat de volum és la mateixa que l'energia de distorsió emmagatzemada a l'assaig de tracció simple al començament de la plastificació (la compressió hidrostàtica acumula energia però no ocasiona plastificació).

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_{III}^2 - \sigma_I\sigma_{II} - \sigma_I\sigma_{III} - \sigma_{II}\sigma_{III}}$$

- Fins a data d'avui, el criteri de Von Misses no presenta discrepàncies i és acceptat internacionalment per el tractament de materials **dúctils**.



### CRITERIS DE COMPARACIÓ EN ACER - VON MISSES (2 de 2)

– Quan l'estat tensional de l'element es biaxial o uniaxial, l'expressió de Von Misses es pot reescriure en funció de las tensions en els eixos de l'element:

- Estat tensional biaxial (eixos yz)

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_y\sigma_z + 3\tau_{yz}^2}$$

- Estat tensional uniaxial (flexió simple)

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$



### CRITERIS DE COMPARACIÓ EN ACER - EXEMPLE

- Tenint en compte les següents dades, observeu els resultats dels diferents criteris:

$$\sigma_I = 300\text{MPa} \quad \nu = 0,3$$

$$\sigma_{II} = 0$$

$$\sigma_{III} = 25\text{MPa}$$

- Criteri de Rankine:

$$\sigma_{co} = \sigma_I = 300\text{MPa}$$

- Criteri de Tresca:

$$\sigma_{co} = \sigma_I - \sigma_{III} = 275\text{MPa}$$

- Criteri de Beltrami:

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_{III}^2 - 2\nu(\sigma_I\sigma_{II} + \sigma_I\sigma_{III} + \sigma_{II}\sigma_{III})} = 293,47\text{MPa}$$

- Criteri de Von Misses:

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_{III}^2 - \sigma_I\sigma_{II} - \sigma_I\sigma_{III} - \sigma_{II}\sigma_{III}} = 288,31\text{MPa}$$





### PRINCIPIS GENERALS

- Una estructura ha de ser **projectada**, **construïda** i **mantinguda** per a que, amb una seguretat acceptable, sigui capaç de:
  - Suportar i repartir totes les accions que la puguin sol·licitar durant la construcció i el període de vida útil previst en el projecte.
  - Mantenir la seva funcionalitat.
  - Resistir l'agressivitat de l'ambient.
- L'estructura es classificarà segons la seva execució, permetent establir els requeriments d'aquesta i l'extensió de la inspecció de forma adient a la importància de la mateixa, als seus nivells de risc i a les seves condicions o característiques pròpies de construcció.



### VIDA ÚTIL (1 de 2)

- S'entén per vida útil al **període de temps** durant el que una estructura, a partir de la finalització de la seva execució, ha de **mantenir** els requeriments de **seguretat i funcionalitat** de projecte i un **aspecte estètic acceptable**.
- Durant aquest període requerirà una conservació d'acord amb el pla de manteniment pertinent.
- La vida útil nominal depèn del tipus d'estructura i ha de ser fixada per la Propietat prèviament a l'inici del projecte. En cap cas el seu valor serà inferior al indicat a les Reglamentacions aplicables o, en el seu defecte, al donat a la següent taula:



### VIDA ÚTIL (2 de 2)

#### Vida útil nominal de los diferentes tipos de estructura

Tipo de estructura	Vida útil nominal
Estructuras de carácter temporal (*)	Entre 3 y 10 años (*)
Elementos estructurales reemplazables que no forman parte de la estructura principal (por ejemplo, barandillas, apoyos de tuberías)	Entre 10 y 25 años
Edificios (o instalaciones) agrícolas o industriales y obras marítimas	Entre 15 y 50 años
Edificios de viviendas u oficinas, puentes u obras de paso de longitud total inferior a 10 metros y estructuras de ingeniería civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baja o media	50 años
Edificios públicos, de salud y de educación.	75 años
Edificios de carácter monumental o de importancia especial	100 años
Puentes de longitud total igual o superior a 10 metros y otras estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta	100 años



### CRITERIS DE SEGURETAT

- La seguretat d'una estructura en front a un risc pot ser expressada en termes de la probabilitat de fallida, caracteritzada per un valor d'índex de fiabilitat.
- En general, s'assegura la fiabilitat requerida adoptant el **mètode dels estats límit**. Aquest mètode permet tenir en compte el caràcter aleatori de les variables de sol·licitació i de resposta estructural que intervenen en el càlcul.
- El valor de càlcul d'una variable s'obté a partir del seu principal **valor representatiu**, ponderant-lo mitjançant el seu corresponent **coeficient parcial de seguretat**.
- Els **coeficients parcials de seguretat no tenen en compte la influència de possibles errors humans**. Aquests errors han de ser evitats mitjançant mecanismes adients de control de qualitat que hauran d'abastar totes les activitats relacionades amb el projecte, l'execució, l'ús i el manteniment d'una estructura.



### SITUACIONS DE PROJECTE

- Les situacions de projecte a considerar son les que s'indiquen a continuació:
  - Situacions **persistents**, que corresponen a les condicions d'ús normal de l'estructura.
  - Situacions **transitòries**, com són les que es produeixen durant la construcció o reparació de l'estructura.
  - Situacions **accidentals**, que corresponen a condicions excepcionals aplicables a l'estructura.



### DESCRIPCIÓ

- S'entén com **estats límit** d'una estructura, aquells estats o situacions d'aquesta, tals que **si es sobrepassen** els mateixos, l'estructura queda **fora de servei** o **deixa de satisfer la funció** per a la qual va ser dissenyada.
- S'ha de comprovar que l'**estructura no superi** cap dels **estats límit** en qualsevol de les situacions de projecte indicades, considerant els valors de càlcul de les accions, de les característiques dels materials i de les dades geomètriques.
- Els estats límit a tenir en compte són els següents:
  - Estats límit últims (ELU)
  - Estats límit de servei (ELS)
- S'han de verificar tots els estats límit de manera que es garanteixi un grau de seguretat adient.
- Per tant, sempre es projecta per l'estat límit més crític, ja sigui l'últim o el de servei.



### DIMENSIONAMENT I COMPROVACIÓ (1 de 3)

- Per a garantir un grau de seguretat adient cal que es compleixi la següent condició:

$$E \leq R$$

- E= efecte de les accions.
- R= resposta de l'estructura.

- Aquesta comprovació va associada a un grau de seguretat suficient, ja que tant E com R són variables aleatòries.
- El problema resideix en que no es pot conèixer exactament el valor de les accions, el valor de les resistències, els models de càlcul ni els defectes menors d'execució que es poden produir.
- Per tant, és necessari plantejar la comprovació de forma probabilística.



### DIMENSIONAMENT I COMPROVACIÓ (2 de 3)

- En aquests casos és habitual treballar amb un sistema semi probabilista basat en coeficients de seguretat:

$$\gamma_E \cdot E \leq \frac{R}{\gamma_R}$$

- $E$ = efecte de les accions.
- $R$ = resposta de l'estructura.
- $\gamma_E, \gamma_R$ = coeficients de seguretat ( $\geq 1$ ).

- Usant aquesta metodologia s'augmenta l'efecte de les accions i es disminueix la resposta de l'estructura.





### DIMENSIONAMENT I COMPROVACIÓ (3 de 3)

- D'aquesta forma, per als estats límit últim s'obté:

$$E_d \leq R_d$$

- $E_d$ = valor de càlcul de l'efecte de les accions sobre l'element estructural considerat.
- $R_d$ = valor de càlcul de la resistència última en front als diferents estats límit últim considerats.

- I per a l'estat límit de servei:

$$E_d \leq C_d$$

- $E_d$ = valor de càlcul de l'efecte de les accions sobre l'element estructural considerat.
- $C_d$ = valor límit admissible per a l'estat límit de servei a comprovar.



### ESTATS LÍMIT ÚLTIM ELU (1 de 3)

- L'estat límit últim (ELU) és l'encarregat de regular les **condicions de seguretat** i engloba tots aquells estats que produeixen la **fallida de l'estructura**, per col·lapse o ruptura de la mateixa o d'una part d'aquesta.
- Sota la combinació més desfavorable de les accions ponderades, l'estructura i cada element que la forma ha de ser **estàticament estable** i les tensions **no han de sobrepassar** la corresponent condició d'esgotament.



### ESTATS LÍMIT ÚLTIM ELU (2 de 3)

- Com estats límit últim s'ha de considerar els deguts als següents fenòmens:
  - Pèrdua de l'equilibri de l'estructura o part d'aquesta.
  - Fallida per pèrdua de l'estabilitat de l'estructura o part d'aquesta, o d'algun o alguns elements estructurals que constitueixen l'estructura.
  - Fallida per esgotament de la resistència de l'estructura o de les seccions dels elements estructurals que constitueixen la mateixa.
  - Fallida per esgotament de la resistència de les unions.
  - Fallida per deteriorament progressiu sota l'actuació de càrregues repetides.



### ESTATS LÍMIT ÚLTIM ELU (3 de 3)

- En la comprovació dels estats límit últim que consideren el col·lapse o ruptura d'una secció o element estructural, s'ha de satisfer la condició:

$$E_d \leq R_d$$

- $E_d$ = valor de càlcul de l'efecte de les accions.
- $R_d$ = valor de càlcul de la resposta estructural.

- Per a l'avaluació de l'estat límit d'equilibri s'ha de satisfer la condició:

$$E_{d,desestab} \leq E_{d,estab}$$

- $E_{d,desestab}$ = valor de càlcul dels efectes de les accions desestabilitzadores.
- $E_{d,estab}$ = valor de càlcul dels efectes de les accions estabilitzadores.



### ESTATS LÍMIT DE SERVEI (1 de 3)

- L'estat límit de servei (ELS) és l'encarregat de regular les **condicions de funcionalitat** i engloba totes aquestes situacions de l'estructura per a les que no s'han de complir els requeriments de **funcionalitat**, de **comoditat**, de **durabilitat** o d'**aspecte** requerits.
- Sota la combinació més desfavorable de les accions característiques, les **deformacions** calculades **no han de sobrepassar** en cap punt els valors **límit** prescrits.



### ESTATS LÍMIT DE SERVEI (2 de 3)

- S’han de considerar els següents estats límit de servei:
  - Estat límit de **deformacions**. És el produït per deformacions que poden afectar a l’aparença, a l’ús de l’estructura o causar danys en elements no estructurals.
  - Estat límit de **vibracions**. És el produït per vibracions que poden ser desagradables, causar inquietud als usuaris o provocar danys en l’estructura o equips.
  - Estat límit de **lliscament en unions** amb cargols d’alta resistència pretesats.
  - Estat límit de **deformacions transversals** en panells esvelts.
  - Estat límit de **plastificacions locals**.



### ESTATS LÍMIT DE SERVEI (3 de 3)

- En la comprovació dels estats límit de servei s'ha de satisfer la condició:

$$E_d \leq C_d$$

- $E_d$ = valor de càlcul de l'efecte de les accions sobre l'element estructural considerat.
- $C_d$ = valor límit admissible per a l'estat límit a comprovar.



### CLASSIFICACIÓ D'ACCIONS

- Les accions a considerar en el projecte d'una estructura o element estructural es poden classificar segons els següents criteris:
  - Classificació per la seva **naturalesa**: directes (pes propi, càrregues permanents, sobrecàrregues d'ús) i indirectes (temperatura, assentaments del terreny).
  - Classificació per la seva **variació en el temps**: permanents, variables i accidentals.
  - Classificació per la seva **variació en l'espai**: fixes (pes propi) i lliures (sobrecàrrega d'ús).





### DETERMINACIÓ D'ACCIONS

- Els valors de les càrregues a considerar s'estableixen en les diferents normatives dedicades a accions. Les normes d'obligat compliment a Espanya són les següents:
  - Per a càrregues d'**edificació**: *CTE-Document Bàsic. Accions a l'edificació.*
  - Per a càrregues en **ponts de carretera**: *IAP: Instrucció relativa a les accions a considerar en el projecte de ponts de carretera.*
- De forma general, les normatives classifiquen les accions en funció de la seva **variació en el temps**. Així doncs, les accions que cal tenir en compte són les següents:
  - **Accions Permanents (G)**: Són aquelles que actuen sempre, sempre gravitatòries.  
Pes propi de l'estructura (PP) i pes dels elements constructius (CP).
  - **Accions Variables (Q)**: Són aquelles que poden o no actuar.  
Sobrecàrrega d'ús (SU), vent (V), neu (N) i tèrmiques ( $\Delta T$ ).
  - **Accions Accidentals (A)**: Són aquelles que tenen poca probabilitat d'actuar, però quan actuen són de gran importància.  
Sisme, impacte o explosió.



### DETERMINACIÓ D'ACCIONS – ACCIONS PERMANENTS (G)

- Les accions permanents representen el pes propi de l'estructura i les càrregues gravitatòries que els elements constructius transmeten a l'estructura.
- Per tal de determinar correctament aquestes càrregues, cal consultar el catàleg del fabricant dels elements constructius o, en el cas dels elements resistents, el promptuari de perfils corresponent:

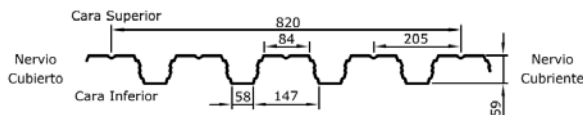
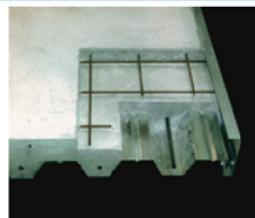


PERFIL PARA FORJADO

► HAIRCOL 59  
4.205.59

APLICACIONES:

Perfil para forjado colaborante y encofrado perdido.



Espesor (mm)	Peso* (Kg/m <sup>2</sup> )
0,75	8,97
1	11,96
1,2	14,35

PERFIL	H mm	e mm	S cm <sup>2</sup>	Peso Kg/ml	I <sub>xx</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>yy</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>xx</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>yy</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> cm	i <sub>y</sub> cm
100x2	100	2.0	4.44	3.49	69.26	15.01	13.85	5.22	4.00	1.86
100x2.5	100	2.5	5.55	4.36	84.05	17.95	16.81	6.46	3.97	1.83
100x3	100	3.0	6.66	5.23	97.87	20.60	19.57	7.68	3.94	1.81
125x2	125	2.0	4.94	3.88	116.44	16.19	18.63	5.32	4.91	1.83
125x2.5	125	2.5	6.18	4.85	141.74	19.38	22.68	6.58	4.88	1.80
125x3	125	3.0	7.41	5.82	165.57	22.25	26.49	7.81	4.84	1.78
150x2	150	2.0	5.44	4.27	178.73	17.16	23.83	5.40	5.79	1.79

TER AC

**Panel de Cubierta**

Roofing Panels  
Panel para Cobertura  
Panneaux de Couverture

Acero/Acero  
Steel/Steel  
Aço/Aço  
Acier/Acier

AENOR  
Producto Certificado  
Nº A10-200000

italpannelli ibérica

• Espesor (mm)  
• Thickness (mm)  
• Espesura (mm)  
• Epaisseur (mm)

Espesor del panel (mm)	Transmitancia Térmica (U)	Peso del panel Acero/Acero (Kg/m <sup>2</sup> ) Espesor nominal chapa 0.5 mm
30	0.652	9.20
40	0.498	9.60
50	0.406	10.00
60	0.342	10.40
80	0.260	11.20
100	0.209	12.00
120	0.175	12.80

El coeficiente de transmisión térmica (K) se ha calculado considerando el espesor del núcleo aislante y teniendo en cuenta la resistencia superficial.

Perfil	Dimensiones							Términos de sección							Agujeros			Peso p kp/m			
	h mm	b mm	e-r mm	e <sub>1</sub> mm	r <sub>1</sub> mm	h <sub>1</sub> mm	u mm	A cm <sup>2</sup>	S <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> cm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> cm	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>6</sup>		w mm	a mm	e <sub>2</sub> mm
IPN 80	80	42	3,9	5,9	2,3	59	304	7,58	11,4	77,8	19,5	3,20	6,29	3,00	0,91	0,93	87,5	22	—	4,43	5,95
IPN 100	100	50	4,5	6,8	2,7	75	370	10,60	19,9	171,0	34,2	4,01	12,20	4,88	1,07	1,72	268,0	28	—	5,05	8,32
IPN 120	120	58	5,1	7,7	3,1	92	439	14,20	31,8	328,0	54,7	4,81	21,50	7,41	1,23	2,92	685,0	32	—	5,67	11,20
IPN 140	140	66	5,7	8,6	3,4	109	502	18,30	47,7	573,0	81,9	5,61	35,20	10,70	1,40	4,66	1.540,0	34	11	6,29	14,40
IPN 160	160	74	6,3	9,5	3,8	125	575	22,80	68,0	935,0	117,0	6,40	54,70	14,80	1,55	7,08	3.138,0	40	11	6,91	17,90



### DETERMINACIÓ D'ACCIONS – ACCIONS VARIABLES (Q)

- Són aquelles accions que poden actuar en períodes de temps determinats. En cas de fer-ho, el seu valor no ha de ser necessàriament constant.
- Principalment n'hi ha de 3 tipus: sobrecàrrega d'ús, el vent i la neu.



### DETERMINACIÓ D'ACCIONS – ACCIONS VARIABLES (Q) – SOBRECÀRREGA D'ÚS

- Les sobrecàrregues d'ús són aquelles càrregues gravitatòries que es determinen en funció del tipus d'utilització dels sectors o superfícies de les plantes de l'edifici (p.ex. oficines, habitatges, locals comercials, etc.).
- Les més habituals vénen determinades per la taula 3.1 del DB-SE AE:

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

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



### DETERMINACIÓ D'ACCIONS – ACCIONS VARIABLES (Q) – VENT (1 de 6)

- L'acció que el vent realitza sobre l'estructura és aquella càrrega resultant de la interacció del fenomen meteorològic amb els tancaments de l'edifici (coberta i façanes).
- Aquesta ve determinada per la normativa DB-SE AE, que la defineix com la força perpendicular a cada punt de l'edifici exposat a l'acció del vent, també anomenada pressió estàtica del vent ( $q_e$ ). Aquesta segueix la següent relació:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

- $q_b$ = pressió dinàmica del vent.
- $c_e$ = coeficient d'exposició.
- $c_p$ = coeficient eòlic.

## DETERMINACIÓ D'ACCIONS – ACCIONS VARIABLES (Q) – VENT (2 de 6)

### *Determinació de la pressió dinàmica del vent ( $q_b$ )*

- La pressió dinàmica del vent és funció del lloc geogràfic del territori espanyol on es construeix l'edifici, a partir d'una estimació de la velocitat bàsica en cada zona.



### Valors de $q_b$ :

Zona A ->  $q_b = 0,42 \text{ kN/m}^2$

Zona B ->  $q_b = 0,45 \text{ kN/m}^2$

Zona C ->  $q_b = 0,52 \text{ kN/m}^2$





### DETERMINACIÓ D'ACCIONS – ACCIONS VARIABLES (Q) – VENT (3 de 6)

#### *Determinació del coeficient d'exposició ( $c_e$ )*

- El coeficient d'exposició és un valor que depèn de l'alçada de l'edifici i de l'aspresa de l'entorn de l'edifici (té en compte els efectes de les turbulències originades pel relleu i la orografia del terreny).

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición  $c_e$

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



## DETERMINACIÓ D'ACCIONS – ACCIONS VARIABLES (Q) – VENT (4 de 6)

### *Determinació del coeficient eòlic ( $c_p$ )*

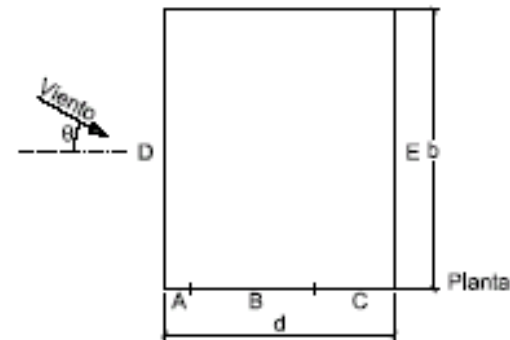
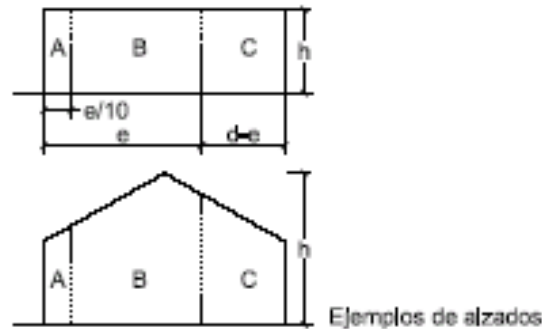
- El coeficient eòlic és un valor que depèn de la morfologia de l'edifici i de l'orientació de cadascuna de les superfícies respecte de la direcció i sentit del vent. Pot adoptar valors positius, que indicaran **pressió** sobre la superfície, o valors negatius, que indicaran **succió**.
- Es pot donar el cas que per una mateixa superfície i direcció del vent, es puguin donar diferents casuístiques que cal sotmetre a estudi.
- Així doncs, els elements estructurals queden afectats de manera diferent pel vent en funció de la seva ubicació respecte la direcció i el sentit del fenomen meteorològic.
- Per tant, cal estudiar individualment cada cas, d'acord amb el que s'exposa a l'annex D de la normativa DB-SE AE.



### DETERMINACIÓ D'ACCIONS – ACCIONS VARIABLES (Q) – VENT (5 de 6)

#### *Determinació del coeficient eòlic ( $c_p$ )*

- Per a elements estructurals verticals:



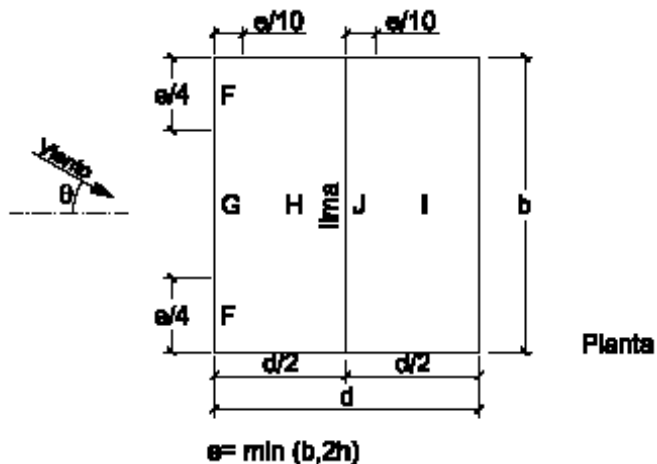
$$e = \min(b, 2h)$$

A (m <sup>2</sup> )	h/d	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		A	B	C	D	E
$\geq 10$	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3
$\leq 1$	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	"	-0,3

### DETERMINACIÓ D'ACCIONS – ACCIONS VARIABLES (Q) – VENT (6 de 6)

#### Determinació del coeficient eòlic ( $c_p$ )

– Per a llindes a dues aigües:



Pendiente de la cubierta $\alpha$	A (m <sup>2</sup> )	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
-45°	$\geq 10$	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1
	$\leq 1$	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1,5
-30°	$\geq 10$	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8
	$\leq 1$	-2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,4
-15°	$\geq 10$	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7
	$\leq 1$	-2,8	-2	-1,2	-0,5	-1,2
-5°	$\geq 10$	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	0,2
	$\leq 1$	-2,5	-2	-1,2	0,2	0,2
5°	$\geq 10$	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
	$\leq 1$	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6
15°	$\geq 10$	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	$\leq 1$	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
30°	$\geq 10$	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	$\leq 1$	0,7	0,7	0,4	0	0
45°	$\geq 10$	-1,5	-1,5	-0,2	-0,4	-0,5
	$\leq 1$	0,7	0,7	0,4	0	0
60°	$\geq 10$	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	$\leq 1$	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0
75°	$\geq 10$	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	$\leq 1$	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
75°	$\geq 10$	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3
	$\leq 1$	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3



### DETERMINACIÓ D'ACCIONS – ACCIONS VARIABLES (Q) – NEU (1 de 3)

- L'acció que la neu realitza sobre l'estructura és aquella càrrega resultant d'aquest element en aquelles zones susceptibles de ser acumulada, tenint en compte la seva intensitat i distribució.
- Aquesta ve determinada per la normativa DB-SE AE, que la defineix com la càrrega per unitat de superfície en projecció horitzontal ( $q_n$ ).
- Aquest valor depèn del clima de la zona, del tipus de precipitació, de l'orografia de l'entorn, de la forma de l'edifici o de la coberta, dels efectes del vent i dels intercanvis tèrmics en els paraments exteriors. Tots aquests factors queden englobats en la següent relació:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

- $\mu$  = coeficient de forma de la coberta.
- $s_k$  = valor característic de la càrrega de neu sobre un terreny horitzontal.



### DETERMINACIÓ D'ACCIONS – ACCIONS VARIABLES (Q) – NEU (2 de 3)

#### *Determinació del coeficient de forma ( $\mu$ )*

- El vent pot ocasionar gruixos de neu no uniformes en la coberta d'un edifici. Degut a això, el coeficient de forma ve directament determinat per la morfologia d'aquesta.
- Cal diferenciar entre les cobertes que tenen limitacions en les cornises i les que no en tenen. Per a cobertes a dues aigües de naus industrials, generalment es pot seguir la següent casuística:

$\mu=1$

si

- La coberta té limitacions en la cornisa o,

- La coberta no té limitacions i la seva pendent és inferior a  $30^\circ$

$\mu=0$

si

- La coberta no té limitacions i la seva pendent és superior a  $60^\circ$



### DETERMINACIÓ D'ACCIONS – ACCIONS VARIABLES (Q) – NEU (3 de 3)

#### *Determinació del valor característic de la càrrega de neu ( $s_k$ )*

- El valor característic de la càrrega de neu sobre un terreny horitzontal és funció de la zona climàtica i de l'alçada topogràfica on s'executarà l'edifici sotmès a estudi.



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	-	-	-	-	-



### VALORS CARACTERÍSTICS

- El valor característic d'una acció ( $F_k$ ) és el seu **valor de referència** a efectes de projecte.
- Pot venir determinat per un **valor mitjà**, un **valor nominal** o, en els casos en que es fixi mitjançant criteris estadístics, per un **valor corresponent a una determinada probabilitat** de no ser superat durant un període de referència, que té en compte la vida útil de l'estructura i la duració de l'acció.



### VALORS REPRESENTATIUS

- El valor representatiu d'una acció és el **valor** de la mateixa **utilitzat** per a la comprovació dels **estats límit**.
- En funció del tipus d'acció, el valor representatiu pot coincidir amb el seu valor característic o veure's afectat per un coeficient de simultaneïtat  $\psi_i$  ( $\psi_i < 1$ ).
- A més, una mateixa acció pot tenir un o varis valors representatius, segons sigui el seu tipus.
- Com valors característics de les accions es prendran els indicats en les Instruccions o Normes d'accions vigents.



### VALORS REPRESENTATIUS – ACCIONS PERMANENTS

- En general, per a les *accions permanents*, el valor representatiu coincideix amb el valor característic.
- En el cas particular del pes propi de l'estructura s'adoptarà com valor característic un únic valor deduït de les dimensions nominals i dels pesos específics nominals.
- Per als productes d'acer s'adoptarà un valor de pes específic  $\rho=78,5\text{kN/m}^3$ .





### VALORS REPRESENTATIUS – ACCIONS VARIABLES

- Per a les **accions variables**, depenent del tipus d'estructura i de les càrregues considerades, poden existir els següents valors representatius:
  - Valor *poc probable*  $\psi_0 \mathbf{Q}_k$ . És el valor representatiu de las accions variables que actuen simultàniament amb una altra acció variable, considerada aquesta com a determinant.
  - Valor *freqüent*  $\psi_1 \mathbf{Q}_k$ . És el valor representatiu de l'acció variable que només és sobrepasat durant períodes de curta durada respecte de la vida útil de l'estructura.
  - Valor *quasi permanent*  $\psi_2 \mathbf{Q}_k$ . És el valor representatiu de l'acció variable que és sobrepasat durant una gran part de la vida útil de l'estructura.



### VALORS REPRESENTATIUS – ACCIONS ACCIDENTALS

- En general, per a les ***accions accidentals***, el valor representatiu coincideix amb el valor característic.



### COMBINACIÓ D'ACCIONS (1 de 2)

- Per a l'estat límit últim (ELU) existeixen les següents combinacions d'accions:

#### Situaciones persistentes o transitorias

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \mathbf{G}_{k,j} + \gamma_{Q,1} \mathbf{Q}_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} \mathbf{Q}_{k,i}$$

#### Situaciones accidentales

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \mathbf{G}_{k,j} + \gamma_A \mathbf{A}_k + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} \mathbf{Q}_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} \mathbf{Q}_{k,i}$$

#### Situaciones en las que actúa la acción sísmica

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \mathbf{G}_{k,j} + \gamma_A \mathbf{A}_{E,k} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} \mathbf{Q}_{k,i}$$

- $\gamma_i$  coeficient majoració d'accions ( $\gamma_i \geq 1$ )
- $\psi_i$  coeficient de simultaneïtat ( $\psi_i < 1$ )



### COMBINACIÓ D'ACCIONS (2 de 2)

- Per a l'estat límit de servei (ELS) existeixen les següents combinacions d'accions:

#### Combinación poco probable

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \mathbf{G}_{k,j} + \gamma_{Q,1} \mathbf{Q}_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} \mathbf{Q}_{k,i}$$

#### Combinación frecuente

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \mathbf{G}_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} \mathbf{Q}_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} \mathbf{Q}_{k,i}$$

#### Combinación cuasipermanente

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \mathbf{G}_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} \mathbf{Q}_{k,i}$$

- $\gamma_i$  coeficient majoració d'accions ( $\gamma_i \geq 1$ )
- $\psi_i$  coeficient de simultaneïtat ( $\psi_i < 1$ )



### COEFICIENTS DE MAJORACIÓ DE CÀRREGUES $\gamma_i$

- Estat límit últim (ELU) :

TIPO DE ACCIÓN	Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones accidentales	
	Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor no constante	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,50$	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$
Accidental	-	-	$\gamma_A = 1,00$	$\gamma_A = 1,00$

- Estat límit de servei (ELS) :

TIPO DE ACCIÓN	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor no constante	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$



### COEFICIENTS DE SIMULTANEÏTAT $\psi_i$

#### Sobrecargas de uso en edificios

USO DEL ELEMENTO	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Zonas residenciales y domésticas	0,7	0,5	0,3
Zonas de oficinas	0,7	0,5	0,3
Zonas de reunión	0,7	0,7	0,6
Zonas comerciales	0,7	0,7	0,6
Zonas de almacenamiento	1,0	0,9	0,8
Zonas de tráfico, peso del vehículo $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Zonas de tráfico, $30$ kN < peso del vehículo $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Cubiertas no accesibles	0,0	0,0	0,0

#### Viento

$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
0,6	0,2	0,0

#### Acción térmica

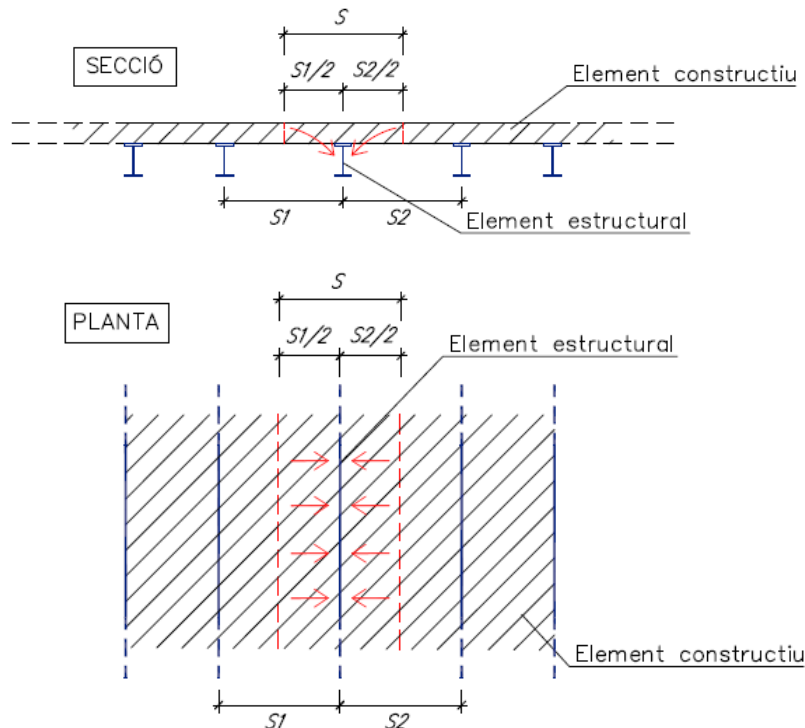
$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
0,6	0,5	0,0

#### Nieve

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Edificios emplazados a una altitud $H > 1000$ metros sobre el nivel del mar	0,7	0,5	0,2
Edificios emplazados a una altitud $H \leq 1000$ metros sobre el nivel del mar	0,5	0,2	0,0

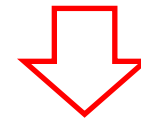
### AMPLE TRIBUTARI (1 de 2)

- Generalment, en l'estudi de les accions que afecten a l'estructura, s'obtinbran valors de càrrega superficials .
- Degut a la morfologia dels elements metàl·lics, és necessari obtenir les accions a què estan sotmesos en forma de càrregues lineals. Això significa que cal tenir clar el concepte d'**ample tributari** dels elements estructurals per a passar de càrregues superficials a càrregues lineals.



**Ample tributari:**

$$s = \frac{s_1}{2} + \frac{s_2}{2}$$

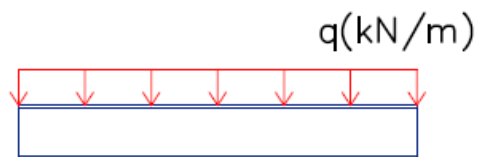
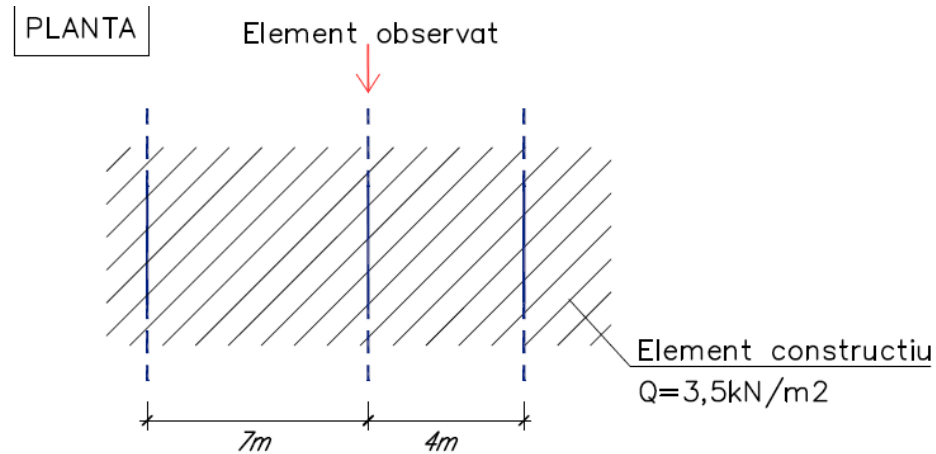
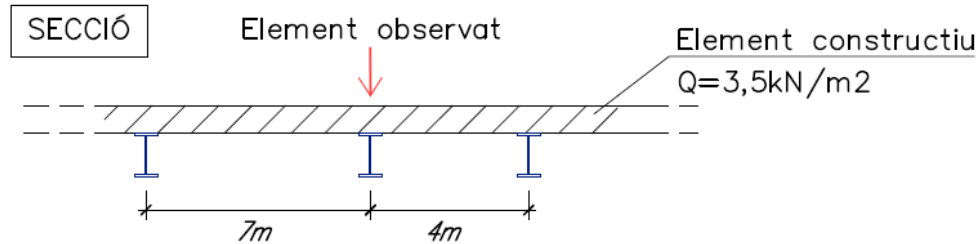


**Càrrega lineal:**

$$q(\text{kN/m}) = Q(\text{kN/m}^2) \cdot s$$

### AMPLE TRIBUTARI (2 de 2)

#### Exemple:



**Ample tributari:**  $s = \frac{7}{2} + \frac{4}{2} = 5,5\text{m}$

**Càrrega lineal:**  $q = Q \cdot s = 19,25\text{kN/m}$





### VALORS CARACTERÍSTICS I VALORS DE CÀLCUL

- S'utilitzen com valors característics de les propietats dels materials els valors nominals.
- Els valors de càlcul ( $R_d$ ) de les propietats dels materials s'obtenen dividint els valors característics ( $R_k$ ) per un coeficient parcial ( $\gamma_M$ ).
- Els coeficients parcials de seguretat de l'acer per a estats límit últim són els següents:

Resistencia de las secciones	$\gamma_{M0} = 1,0$
Resistencia de elementos frente a la inestabilidad	$\gamma_{M1} = 1,0$ para edificios $\gamma_{M1} = 1,1$ para puentes
Resistencia a rotura de las secciones en tracción	$\gamma_{M2} = 1,25$



### RESISTÈNCIA DE CàLCUL I RESISTÈNCIA ÚLTIMA DE CàLCUL

- Es defineix resistència de càlcul,  $f_{yd}$ , de la següent manera:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- $f_y$  = tensió de límit elàstic.
- $\gamma_{M0}$  = coeficient parcial per a la resistència.

- Es la resistència última de càlcul,  $f_{ud}$ , de la següent manera:

$$f_{ud} = \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

- $f_u$  = tensió última.
- $\gamma_{M2}$  = coeficient parcial per a la resistència a ruptura.

# CONSTRUCCIONS INDUSTRIALS

Christian Escrig Pérez

## TEMA 7: Estat límit de servei (ELS)

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola d'Enginyeria de Terrassa

Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria



Attribution-Noncommercial 2.5

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/es/deed.ca>





## TEMA 7: ESTAT LÍMIT DE SERVEI

### - DEFLEXIONS

- Dimensionament i comprovació
- Estat límit de deformacions
- Fletxes
- *Activitat complementària 7.1*
- Desplaçaments horitzontals



### DIMENSIONAMENT I COMPROVACIÓ

- És d'obligat compliment dimensionar els elements estructurals d'acord als límits de deflexió establerts a la normativa d'ús o en base als requeriments del client.
- En edificis és necessari avaluar la rigidesa dels forjats i de les cobertes (desplaçaments verticals), així com, la rigidesa horitzontal de l'estructura (desplaçaments horitzontals).
- En ponts i passarel·les és necessari que la construcció tingui una adient aparença i funcionalitat (fletxes i curvatures).



### ESTAT LÍMIT DE DEFLEXIONS

- El compliment de l'estat límit de servei de deflexions queda subjecte a la verificació de la següent condició:

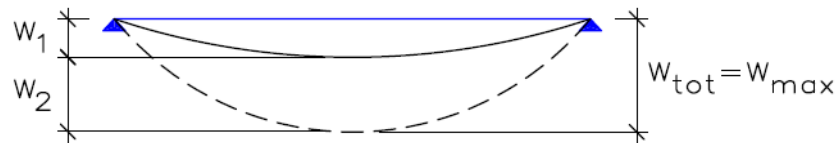
**Moviments estructurals (fletxes i desplaçaments horitzontals)  $\leq$  Valors límit màxims**

- Els valors límit de les fletxes i desplaçaments horitzontals es troben definits segons normativa, tot i que queden subjectes a l'aprovació de la propietat.
- Aquests valors límit garanteixen la integritat dels elements no estructurals (envans, xapats, etc.), l'aparença de l'estructura i la comoditat de l'usuari.

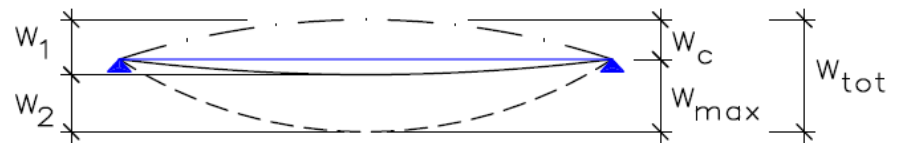
### FLETXES

- És la distancia que hi ha entre un element estructural intraslacional sotmès a flexió i la seva deformada.

Cas 1: Sense contra fletxa



Cas 2: Contra fletxat

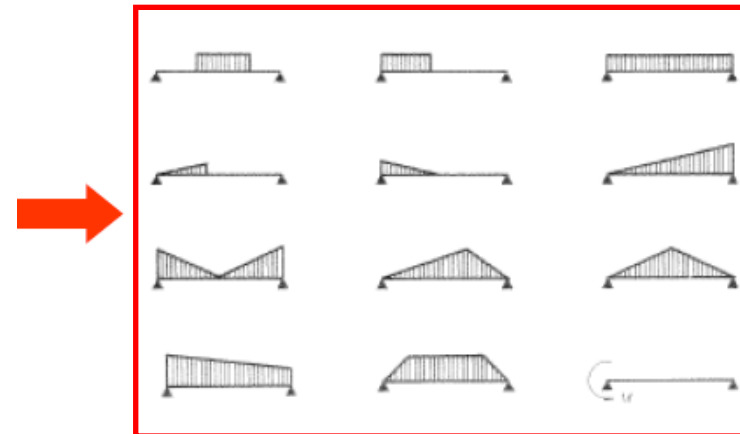


- $w_1 =$  fletxa inicial sota la totalitat de les **càrregues permanents** actuant sobre l'estructura.
- $w_2 =$  fletxa deguda a l'acció de les **càrregues variables**, sota la combinació que resulti pertinent.
- $w_c =$  contra fletxa d'execució en taller de l'element metàl·lic. ( $w_c \leq w_1$ )
- $w_{tot} =$  fletxa total. ( $w_{tot} = w_1 + w_2$ )
- $w_{max} =$  fletxa total aparent descomptant la contra fletxa. ( $w_{max} = w_{tot} - w_c$ )



### FLETXES - CÀLCUL

- El càlcul de la fletxa d'un element resistent depèn de diverses variables: longitud de l'element, tipus de càrrega, condicions de recolzament, material i inèrcia.
- Existeixen diferents formes per al càlcul de fletxes (treballs virtuals, equació de l'elàstica, teorema de Castigliano, etc.), però des del punt de vista del projectista és interessant obtenir el desenvolupament de la formulació de manera senzilla.
- Per això existeixen uns promptuaris que ofereixen la formulació de les fletxes de bigues simples i bigues contínues en funció del tipus de càrrega i condicions de recolzament.







### FLETXES – LIMITACIONS EN EDIFICIS

- Valors indicatius recomanats per a fletxes verticals màximes en edificis segons EC3:

Tipus d'element	$f_{adm}$
Cobertes (accessibles només per a manteniment)	L/200
Cobertes accessibles (amb caràcter general)	L/300
Bigues i forjats (en absència d'elements fràgils susceptibles a deteriorament)	L/300
Bigues i forjats suportant envans ordinaris o paviments rígids amb juntes	L/400
Bigues i forjats suportant elements fràgils: envans, tancaments, etc.	L/500
Bigues suportant pilars	L/500
Bigues suportant murs de fàbrica	L/1000

Nota: Per a voladissos considerar com L el doble de la longitud del voladís.



### FLETXES – LIMITACIONS EN PONTS I PASSAREL·LES

- Valors indicatius recomanats per a fletxes verticals màximes en ponts i passarel·les degudes a la part de les sobrecàrregues de la combinació freqüent d'accions segons EC3:

Tipus d'element	$f_{adm}$
Ponts de carretera	L/1000
Ponts urbans amb voreres transitables	L/1200
Passarel·les	L/1200

Nota: L és la longitud del vano.



### FLETXES – CRITERIS DE COMPROBACIÓ

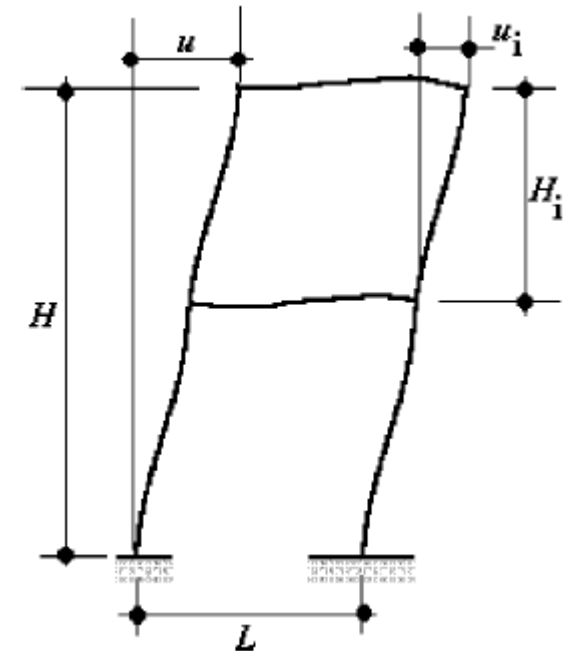
- En el cas de deformacions verticals, el compliment de l'estat límit de servei de deformacions queda subjecte a la verificació de la següent condició:

$$W_{\max} \leq f_{\text{adm}}$$

### DESPLAÇAMENTS HORIZONTALS

- És la distancia horitzontal entre el mateix punt d'un suport estructural abans i després de ser sotmès a una força a la mateixa direcció.

- $u =$  desplaçament horitzontal total en tota l'alçada  $H$  de l'edifici.
- $u_i =$  desplaçament horitzontal a l'alçada  $H_i$  d'una planta





### DESPLAÇAMENTS HORIZONTALS – CRITERI DE COMPROBACIÓ

- Valors indicatius recomanats per a fletxes verticals màximes en edificis segons EC3:

$$u \leq H/500$$

$$u_i \leq H_i/250$$

# CONSTRUCCIONS INDUSTRIALS

Christian Escrig Pérez

## TEMA 8: Estat límit últim (ELU)

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola d'Enginyeria de Terrassa

Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria



Attribution-Noncommercial 2.5

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/es/deed.ca>





## TEMA 8: ESTAT LÍMIT ÚLTIM

### - FLEXIÓ SIMPLE. CONCEPTES BÀSICS DE CÀLCUL ELÀSTIC

- Introducció
- Conveni de signes
- Tensions normals  $\sigma$
- Tensions tangencials  $\tau$
- Resum
- Càlcul de fletxes

### - PLASTICITAT

- Ròtula plàstica: moment elàstic – moment plàstic
- Moment plàstic. Secció asimètrica
- Moment plàstic. Secció sotmesa a axil i flector



## TEMA 8: ESTAT LÍMIT ÚLTIM

### - CLASSIFICACIÓ DE SECCIONS

- Tipus de secció
- Criteris d'assignació
- Tipus de panells
- Esvelteses màximes en panells interns comprimits
- Esvelteses màximes en panells en voladís
- Esvelteses màximes en panells especials
- Determinació de la classe de secció
- Secció classe 4

### - RESISTÈNCIA DE LES SECCIONS SOTMESES A ESFORÇ AXIL O FLECTOR

- Principis generals de càlcul
- Elements traccionats
- Elements comprimits
- Elements flectats





## TEMA 8: ESTAT LÍMIT ÚLTIM

### - RESISTÈNCIA DE LES SECCIONS SOTMESES A ESFORÇ TALLANT

- Elements sotmesos a tallant
- Àrea a tallant  $A_v$

### - INTERACCIÓ D'ESFORÇOS

- Interacció flexió - tallant
- Interacció flexió - axil
- Interacció flexió -tallant - axil



### INTRODUCCIÓ

- Al dimensionar i comprovar una secció sotmesa a flexió simple s'ha de complir la següent condició:

$$E_d \leq R_d$$

- $E_d$  = valor de càlcul de l'efecte de les accions.
- $R_d$  = valor de càlcul de la resposta estructural.

- En particular, per al compliment de l'ELU serà necessari:

$$\sigma_{co} \leq f_y$$

- $\sigma_{co}$  = tensió de comparació (en general  $\sigma_{co} \sim \sigma_{max}$ ).
- $f_y$  = tensió de límit elàstic.

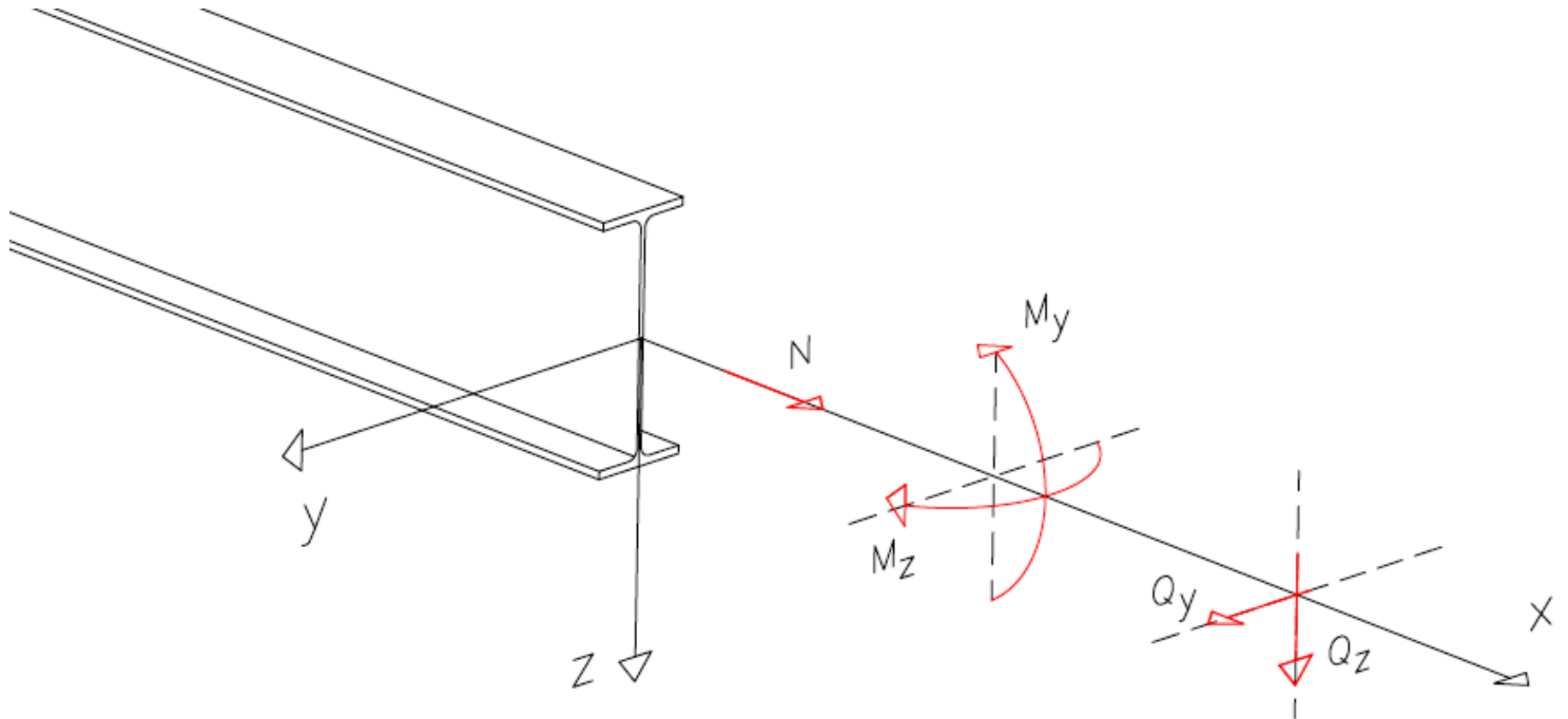
- I el compliment de l'ELS:

$$w_{max} \leq f_{adm}$$

- $w_{max}$  = fletxa total aparent.
- $f_{adm}$  = fletxa admissible.



## CONVENI DE SIGNES





### TENSIONS NORMALS $\sigma$ (1 de 2)

- Las tensions produïdes per una tensió pura en règim elàstic s'expressen de la següent manera:

$$\sigma_x = \frac{1}{D} (M_y (z \cdot I_z - y \cdot I_{yz}) + M_z (y \cdot I_y - z \cdot I_{yz}))$$

- $D = I_y \cdot I_z - I_{yz}^2$
- En eixos principals d'inèrcia.  $I_{yz} = 0$

- Substituint s'obté:

$$\sigma_x = \frac{z \cdot M_y}{I_y} + \frac{y \cdot M_z}{I_z}$$

### TENSIONS NORMALS $\sigma$ (2 de 2)

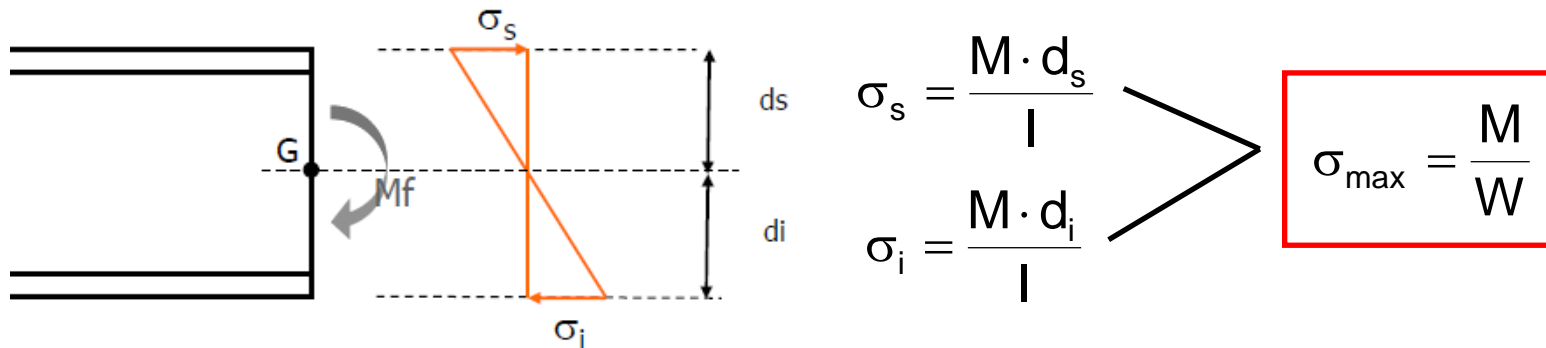
- Si s'expressa  $\sigma_x$  com la tensió màxima en un punt s'obté:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_y}{W_y} + \frac{M_z}{W_z}$$

- $W_i$  és el mòdul resistent

$$W_i = \frac{I_i}{d_{\max}}$$

- En el cas de flexió simple i secció simètrica es té:





### TENSIONS TANGENCIALS $\tau$ (1 de 3)

- Una secció és de paret prima quan les tensions, tant normals com tangencials segons la línia mitja de la secció, mesurades sobre la mateixa línia mitja, són representatives de les tensions de tot el gruix.
- En aquest cas, es pot afirmar que la màxima tensió de comparació apareix de la combinació de les tensions normals i tangencials, en el cas de que es consideri la deformació per tallant.
- Per a que una secció sigui considerada de paret prima ha de complir el següent:

$$\frac{b}{t} \geq 10$$

➤  $b$  = dimensió característica

➤  $t$  = gruix



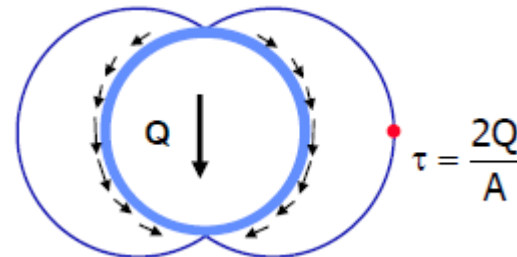
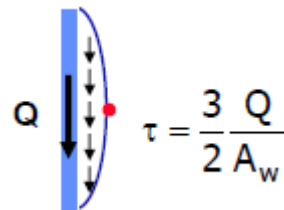
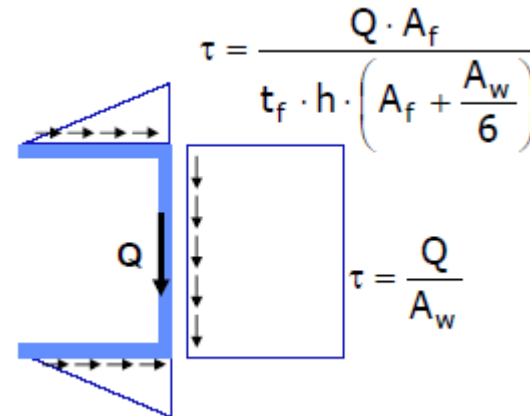
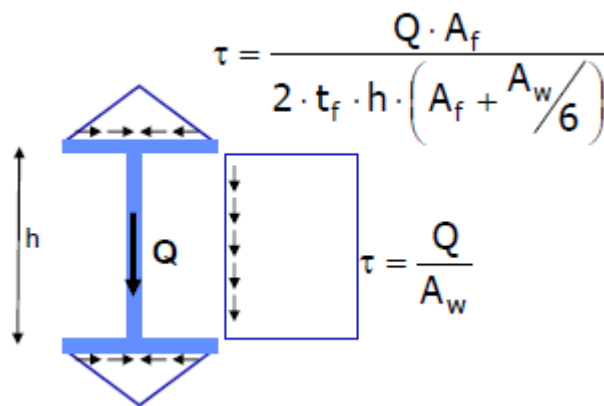
### TENSIONS TANGENCIALS $\tau$ (2 de 3)

- Les tensions tangencials s'originen pel fenomen de deformació per tallant de les peces sotmeses flexió.
- La fórmula general del flux d'esforços tallants en qualsevol punt d'una secció oberta de paret prima és la següent:

$$q = \frac{1}{D} (Q_y (S_y \cdot I_{yz} - S_z \cdot I_y) + Q_z (S_z \cdot I_{yz} - S_y \cdot I_z))$$

### TENSIONS TANGENCIALS $\tau$ (3 de 3)

- De l'expressió del flux d'esforços tallant s'obté la distribució de tensions tangencials en els perfils laminats més comuns:







### RESUM

- $M_y$  i  $M_z$  originen tensions normals  $\sigma_x$ .
- $Q_y$  i  $Q_z$  originen tensions tangencials  $\tau_{yx}$  i  $\tau_{zx}$ . Normalment les tensions  $\tau_{yx}$  són menyspreables.
- Les condicions tensionals per al compliment de l'ELU són les següents:

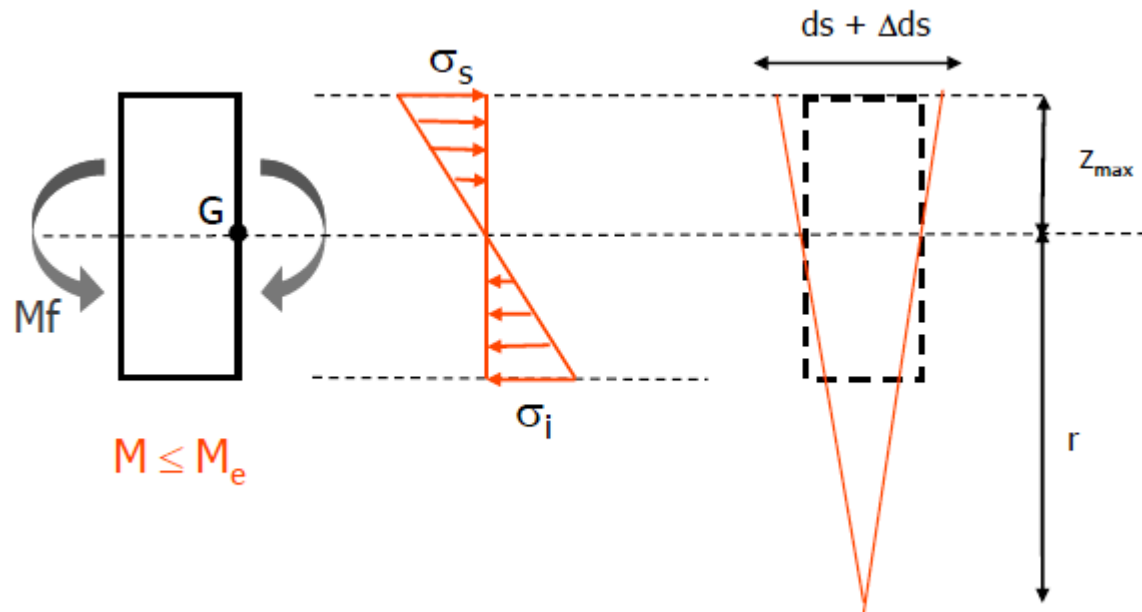
$$\sigma_{co} = \sigma_x = \frac{M_y}{W_y} + \frac{M_z}{W_z} \leq f_y$$

- Sense considerar deformació per tallant.

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau_{zx}^2} \leq f_y$$

- Considerant tensions tangencials.

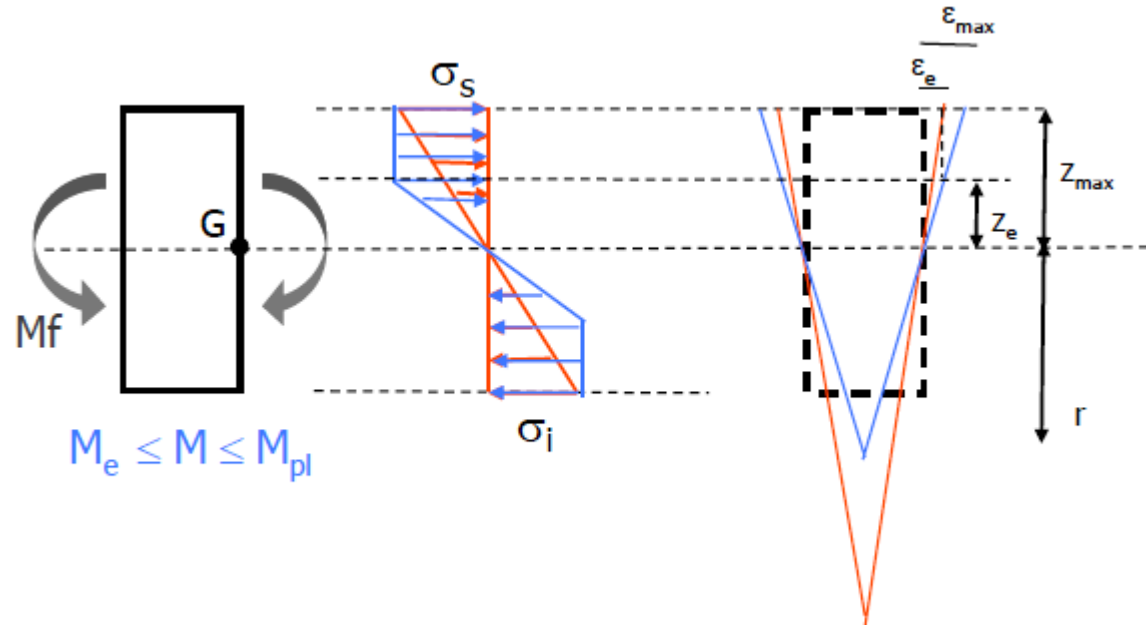
### RÒTULA PLÀSTICA: MOMENT ELÀSTIC – MOMENT PLÀSTIC (1 de 2)



quan  $\sigma_s = \sigma_i = f_y \longrightarrow$

$$M_{el} = W_{el} \cdot f_y$$

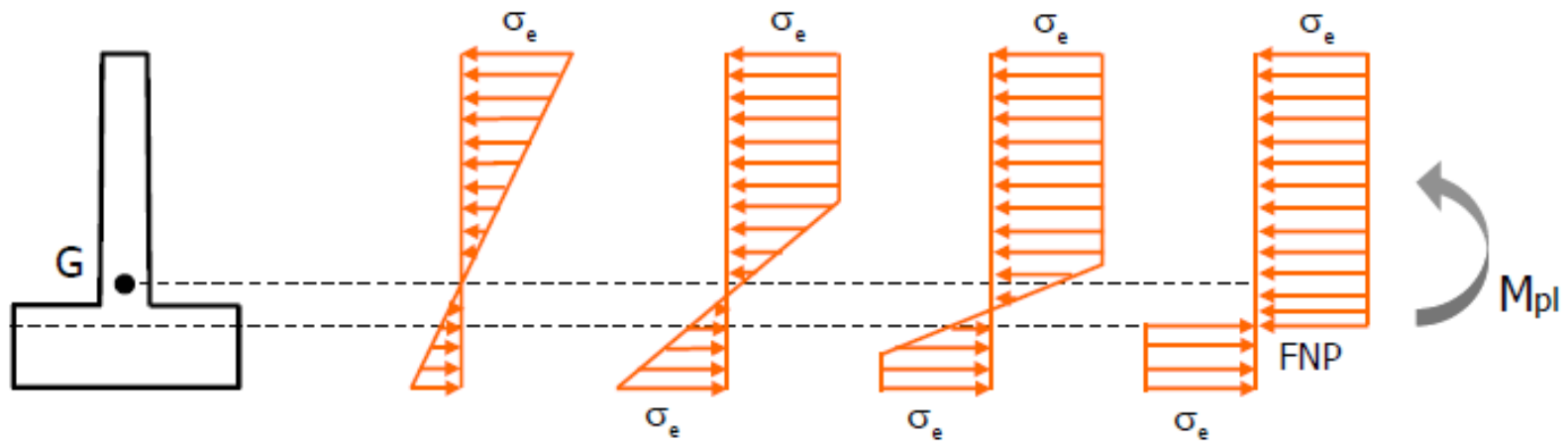
### RÒTULA PLÀSTICA: MOMENT ELÀSTIC – MOMENT PLÀSTIC (2 de 2)



per  $z_e \rightarrow 0$ ;  $\chi = \infty$ ;  $r = 0 \longrightarrow$  Ròtula plàstica  $\longrightarrow$

$$M_{pl} = W_{pl} \cdot f_y$$

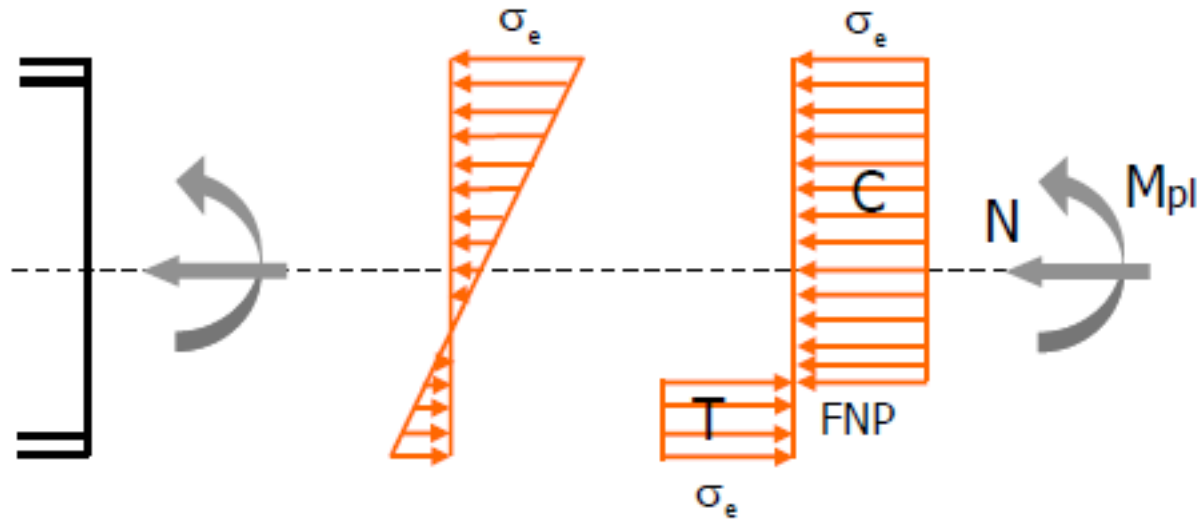
### MOMENT PLÀSTIC. SECCIÓ ASIMÈTRICA



FIBRA NEUTRA PLÀSTICA (FNP)

Bloc compressió = Bloc tracció

### MOMENT PLÀSTIC. SECCIÓ SOTMESA A AXIL I FLEXIÓ



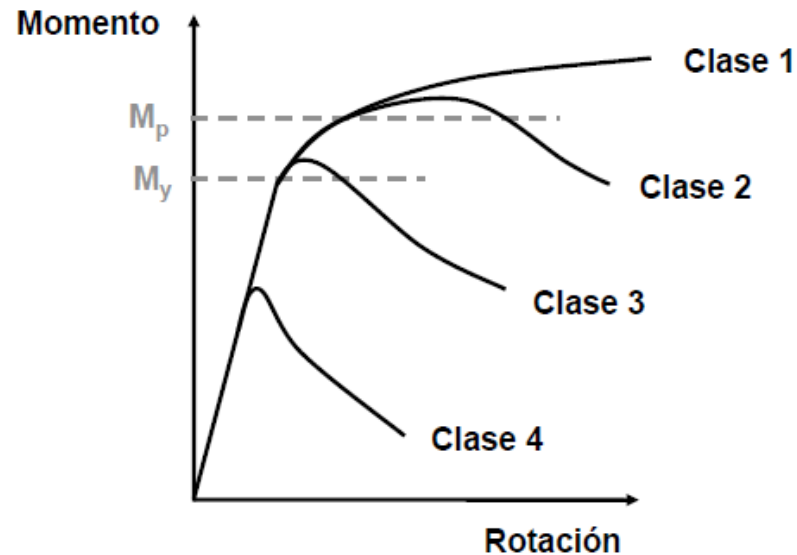
FIBRA NEUTRA PLÀSTICA (FNP)

Bloc compressió (C) - Bloc tracció (T) = N



### TIPUS DE SECCIONS (1 de 3)

- La classificació de seccions es planteja en funció dels fenòmens d'inestabilitat que poden aparèixer en dites seccions.
- El concepte de classe de secció permet integrar els fenòmens d'inestabilitat en el control resistent de les seccions transversals.

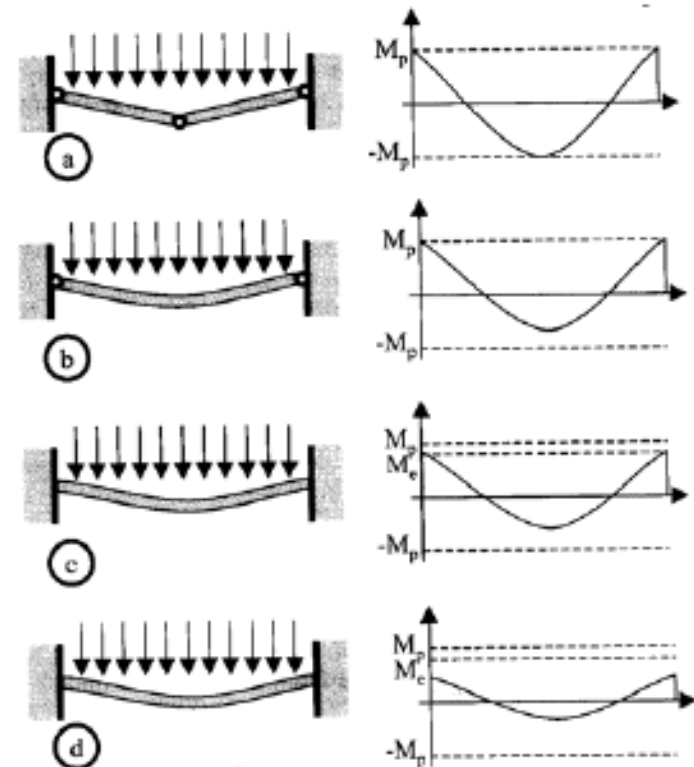
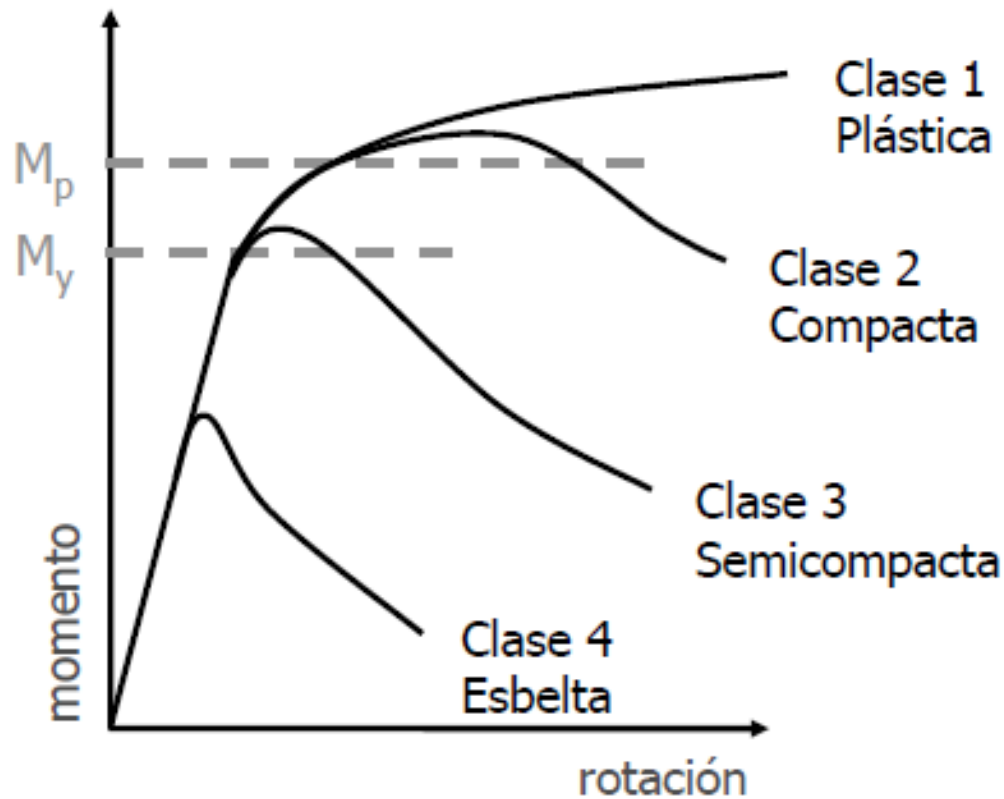




### TIPUS DE SECCIONS (2 de 3)

- La descripció de les classes de secció és la següent:
  - **Classe 1 (plàstiques).** Són aquelles que aconseguen, sense veure's afectades per fenòmens d'abonyegament en les seves zones comprimides, la seva capacitat resistent plàstica, i permeten desenvolupar, sense reducció de la mateixa, la capacitat de rotació exigible a una ròtula en un anàlisi global plàstic.
  - **Classe 2 (compactes).** Són aquelles que poden aconseguir el seu moment resistent plàstic, però en les que els fenòmens d'abonyegament limiten la seva capacitat de rotació per sota de les exigències d'aplicabilitat de l'anàlisi global plàstic.
  - **Classe 3 (semicompactes).** Són aquelles en les que la tensió a la fibra metàl·lica més comprimida, estimada a partir d'una distribució elàstica de tensions, poden arribar al límit d'elasticitat de l'acer, però en les que els fenòmens d'abonyegament impedeixen garantir el desenvolupament de la deformació necessària per aconseguir el moment resistent plàstic de la secció.
  - **Classe 4 (esveltes).** Són aquelles en les que els fenòmens d'inestabilitat de xapes comprimides limiten inclús el desenvolupament de la seva capacitat resistent elàstica, no arribant a aconseguir el límit elàstic de l'acer en la fibra metàl·lica més comprimida.

### TIPUS DE SECCIONS (3 de 3)







### CRITERIS D'ASSIGNACIÓ (1 de 2)

- L'assignació de classe d'una secció transversal metàl·lica depèn dels següents factors:
  - El límit elàstic de l'acer de la secció.
  - La geometria de la secció i, en particular, l'esveltesa (relació dimensió / gruix) de les seves xapes parcial o totalment comprimides.
  - Les possibles vinculacions laterals de les zones comprimides.
  - El signe de la flexió, en el cas de seccions no simètriques respecte de la seva fibra neutra.
  - La relació flector / axil en seccions sotmeses a flexió composta.
  - La relació entre els moments flectors de eixos perpendiculars en seccions sol·licitades a flexió esbiaixada.

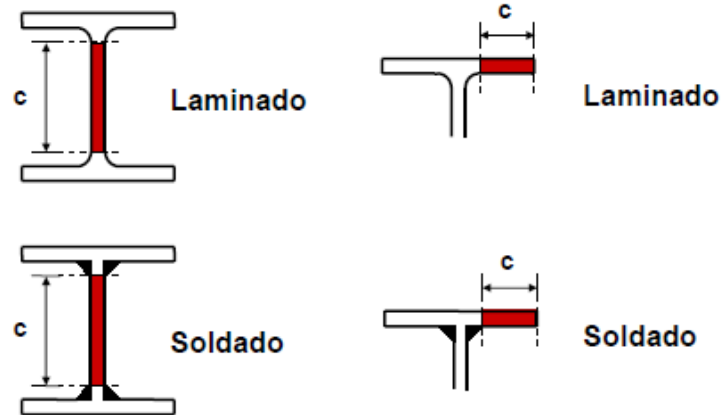


### CRITERIS D'ASSIGNACIÓ (2 de 2)

- Les diferents xapes comprimides d'una secció metàl·lica, com per exemple les ales o les ànimes, poden tenir assignades classes diferents en funció de l'esveltesa i extensió de les seves zones comprimides.
- En general, la classe d'una secció transversal s'assigna com la classe més elevada de les relatives a cada un dels seus eventuals elements metàl·lics comprimits.
- En les seccions esveltes de classe 4, la reducció de la seva capacitat resistent en Estats Límit Últim, a conseqüència dels fenòmens d'abonyegament, es pot estimar mitjançant el recurs de les **seccions ideals reduïdes**.

### TIPUS DE PANELLS

- Segons l'Eurocodi 3, la classificació de seccions s'estableix mitjançant limitacions en les esvelteses màximes dels panells comprimits.
- Existeixen dos tipus de panells diferents: elements interns comprimits i elements en voladís.



(a) Elementos internos comprimidos

(b) Elementos en voladizo

### ESVELTESES MÀXIMES EN PANEL·LS INTERNS COMPRIMITS

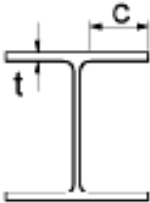

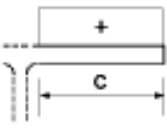
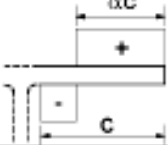
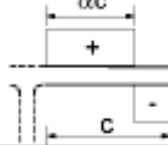
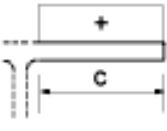
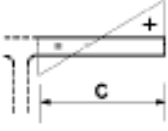
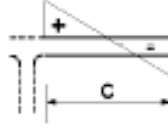
**Elementos de chapa comprimidos internos**

Clase	Chapa flectada	Chapa comprimida	Chapa flexo-comprimida
Ley de tensiones en las chapas (compresión positiva)			
1	$c/t \leq 72e$	$c/t \leq 33e$	cuando $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{396e}{13\alpha - 1}$ cuando $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{36e}{\alpha}$
2	$c/t \leq 83e$	$c/t \leq 38e$	cuando $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{456e}{13\alpha - 1}$ cuando $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{41,5e}{\alpha}$

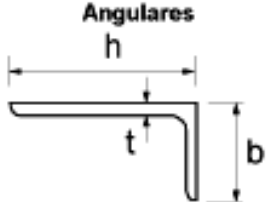
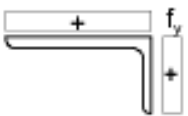
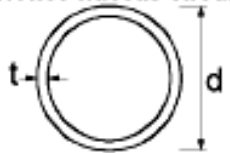
Ley de tensiones en las chapas (compresión positiva)						
3	$c/t \leq 124e$	$c/t \leq 42e$	cuando $\psi > -1$ : $c/t \leq \frac{42e}{0,67 + 0,33\psi}$ cuando $\psi \leq -1^{**}$ : $c/t \leq 62e(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$e = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$e$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

**\*)**  $\psi \leq -1$  se aplica cuando la tensión de compresión sea  $\sigma \leq f_y$ , o cuando la deformación de tracción sea  $\epsilon_s > f_y/E$ .

### ESVELTESES MÀXIMES EN PANELLS EN VOLADÍS

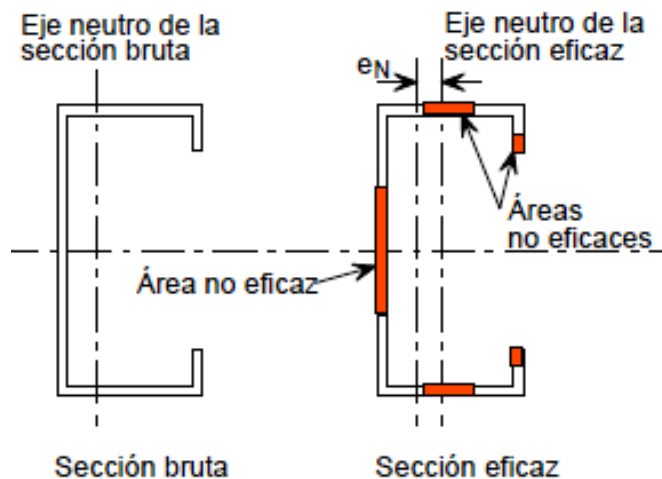
Alas en vuelo						
						
		Secciones laminadas		Secciones soldadas		
Clase	Chapa comprimida	Chapa flexo-comprimida				
		Extremo comprimido		Extremo traccionado		
Ley de tensiones en las chapas (compresión positiva)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Ley de tensiones en las chapas (compresión positiva)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_{\sigma}}$ Para $k_{\sigma}$ , véase la Norma Europea EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

### ESVELTESES MÀXIMES EN PANELLS ESPECIALS

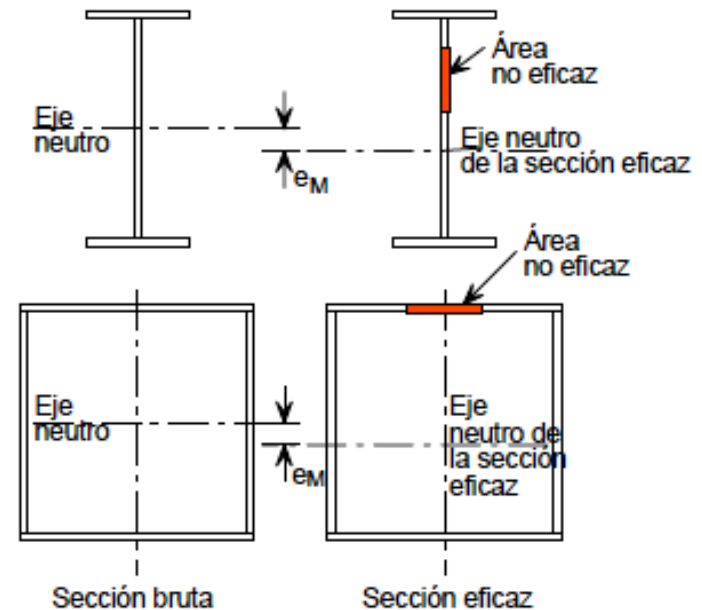
<p>Consultar análogamente "Alas en vuelo" (véase la hoja 2 de 3)</p>		<p><b>Angulares</b></p> 		<p>No se aplica a angulares en contacto continuo con otros componentes</p>		
Clase	Sección comprimida					
Ley de tensiones en las chapas (compresión positiva)						
3	$h/t \leq 15\epsilon; \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\epsilon$					
<p><b>Secciones huecas circulares</b></p> 						
Clase	Sección flectada y/o comprimida					
1	$d/t \leq 50\epsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\epsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\epsilon^2$					
<p>NOTA: Para <math>d/t &gt; 90\epsilon^2</math>, véase la Norma Europea EN 1993-1-6</p>						
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	$\epsilon^2$	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

### SECCIONS CLASSE 4

- Les seccions classe 4 són seccions esveltes que presenten problemes d'abonyegament en règim elàstic.
- Per a evitar aquest fenomen es redueix la secció a una **secció eficaç de càlcul**:



Secciones de Clase 4  
sometidas a compresión



Secciones de Clase 4  
sometidas a flexión



### PRINCIPIS GENERALS DE CÀLCUL (1 de 2)

- Per a determinar la resistència de les seccions transversals dels elements, s'ha de considerar els següents aspectes:
  - Efectes de l'abonyegament local i de l'arrossegament per tallant mitjançant la determinació de la secció transversal reduïda i eficaç.
  - La resistència seccional depèn de la classificació de la secció transversal.
  - La comprovació d'acord amb criteris elàstics es podrà realitzar per a tot tipus de secció, inclús per a seccions de classe 4 (secció transversal reduïda).





### PRINCIPIS GENERALS DE CÀLCUL (2 de 2)

- L'equació que governa la resistència de les seccions transversals dels elements és la següent:

$$\left( \frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 - \left( \frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) + 3 \cdot \left( \frac{\tau_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1$$

- $\sigma_{x,Ed}$  = valor de càlcul tensió normal en la direcció longitudinal.
- $\sigma_{z,Ed}$  = valor de càlcul tensió normal en la direcció transversal.
- $\tau_{Ed}$  = valor de càlcul de la tensió tangencial.



### ELEMENTS TRACCIONATS

- El valor de càlcul de l'esforç normal de tracció  $N_{Ed}$  haurà de complir per a qualsevol secció transversal:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

- $N_{Ed}$  = valor de càlcul de l'esforç normal.
- $N_{t,Rd}$  = resistència de càlcul de la secció a tracció.

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

- En el cas de seccions amb forats, haurà de prendre's com valor de la resistència a tracció  $N_{t,Rd}$  el menor dels següents valors:
  - Resistència plàstica de càlcul de la secció bruta ( $N_{pl,Rd}$ ).
  - Resistència última de càlcul de la secció transversal neta ( $N_{u,Rd}$ ).

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}; \quad A_{net} = A - A_{forats}$$



### ELEMENTS COMPRIMITS

- El valor de càlcul de l'esforç normal de compressió  $N_{Ed}$  haurà de complir per a qualsevol secció transversal:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

- $N_{Ed}$  = valor de càlcul de l'esforç normal.
- $N_{c,Rd}$  = resistència de càlcul de la secció a compressió.

- La resistència de càlcul de la secció per a un esforç normal de compressió  $N_{c,Rd}$  s'obtindrà mitjançant les següents expressions:

- Seccions classe 1, 2 o 3: 
$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Seccions classe 4: 
$$N_{c,Rd} = \frac{A_{ef} f_y}{\gamma_{M0}}$$



### ELEMENTS FLECTATS

- El valor de càlcul del moment flector  $M_{Ed}$  haurà de complir per a qualsevol secció transversal:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

- $M_{Ed}$  = valor de càlcul del moment flector.
- $M_{c,Rd}$  = resistència de càlcul de la secció a flexió.

- La resistència de càlcul a flexió  $M_{c,Rd}$  de la secció transversal al voltant d'un eix principal s'obté mitjançant les següents expressions:

- Seccions classe 1 o 2: 
$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$$
- Seccions classe 3: 
$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el} f_y}{\gamma_{M0}}$$
- Seccions classe 4: 
$$M_{c,Rd} = M_{ef,Rd} = \frac{W_{ef} f_y}{\gamma_{M0}}$$



### ELEMENTS SOTMESOS A ESFORÇ TALLANT

- El valor de càlcul de l'esforç tallant  $V_{Ed}$  haurà de complir per a qualsevol secció transversal:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

- $V_{Ed}$  = valor de càlcul del moment flector.
- $V_{c,Rd}$  = resistència de càlcul de la secció a tallant.

- En **dimensionament plàstic**  $V_{c,Rd}$  és la resistència plàstica de càlcul a tallant que es troba determinada per l'expressió:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad \text{➤ } A_v = \text{àrea a tallant.}$$

- Els forats per a cargols no hauran de ser considerats en el dimensionament i comprovació en front a tallant.



### ÀREA A TALLANT $A_v$ (1 de 2)

- Seccions de perfils laminats en doble T amb càrrega paral·lela a l'ànima:

$$A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f ; A_v \geq \eta h_w t_w$$

- Seccions de perfils laminats en U amb càrrega paral·lela a l'ànima:

$$A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$$

- Seccions de bigues armades soldades en doble T i en calaix amb càrrega paral·lela a l'ànima:

$$\eta \Sigma (h_w t_w)$$

- Seccions de bigues armades soldades en doble T, U i en calaix amb càrrega paral·lela a les ales:

$$A - \eta \Sigma (h_w t_w)$$



### ÀREA A TALLANT $A_v$ (2 de 2)

– Amb les següents variables:

- $A =$  àrea de la secció transversal.
- $b =$  ample total de la secció.
- $h =$  cantell total de la secció.
- $h_w =$  altura de l'ànima.
- $r =$  radi de d'arrodoniment.
- $t_f =$  gruix de l'ala.
- $t_w =$  gruix de l'ànima.
- $\eta =$  coeficient que permet considerar la resistència addicional que ofereix en règim plàstic l'enduriment per deformació del material. Es recomana adoptar el valor de  $\eta = [1,0 \text{ } \langle \text{ } 1,2]$ .



### INTERACCIÓ FLEXIÓ – TALLANT (1 de 2)

- En aquells casos en que la secció estigui sotmesa al efecte combinat de sol·licitacions de flexió i tallant, el dimensionament i comprovació en front a aquests efecte es portarà a terme considerant la seva possible interacció.
- D'acord amb criteris plàstics el dimensionament i comprovació en front a aquest efecte combinat de flexió i tallant es portarà a terme considerant la seva possible interacció, això es tradueix en una possible reducció de la resistència de càlcul de la secció a flexió.
- Quan el valor de càlcul de l'esforç tallant  $V_{Ed}$  no superi el 50% de la resistència plàstica de la secció  $V_{pl,Rd}$ , el seu efecte sobre la resistència a flexió es pot menysprear.





### INTERACCIÓ FLEXIÓ – TALLANT (2 de 2)

- Quan  $V_{Ed}$  excedeixi el 50% de la resistència plàstica de la secció a tallant  $V_{pl,Rd}$ , s'assignarà **l'àrea de tallant** un límit elàstic reduït de valor  $(1-\rho) \cdot f_y$  per al càlcul de la resistència de la secció a flexió:

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

- Alternativament, en seccions en doble T amb ales iguals i sotmeses a flexió al voltant de l'eix principal d'inèrcia de la secció, la **resistència plàstica de càlcul a flexió** considerant la interacció amb l'esforç tallant es pot obtenir mitjançant la següent expressió:

$$M_{V,y,Rd} = \left( W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot \left( f_y / \gamma_{M0} \right) ; \quad A_v = \eta h_w t_w$$



### INTERACCIÓ FLEXIÓ – AXIL. CLASSE 1 i 2 (1 de 5)

- En presència d'un esforç normal s'haurà de dur a terme una reducció de la resistència plàstica de càlcul a flexió per a considerar el seu efecte. S'ha de satisfer el següent criteri:

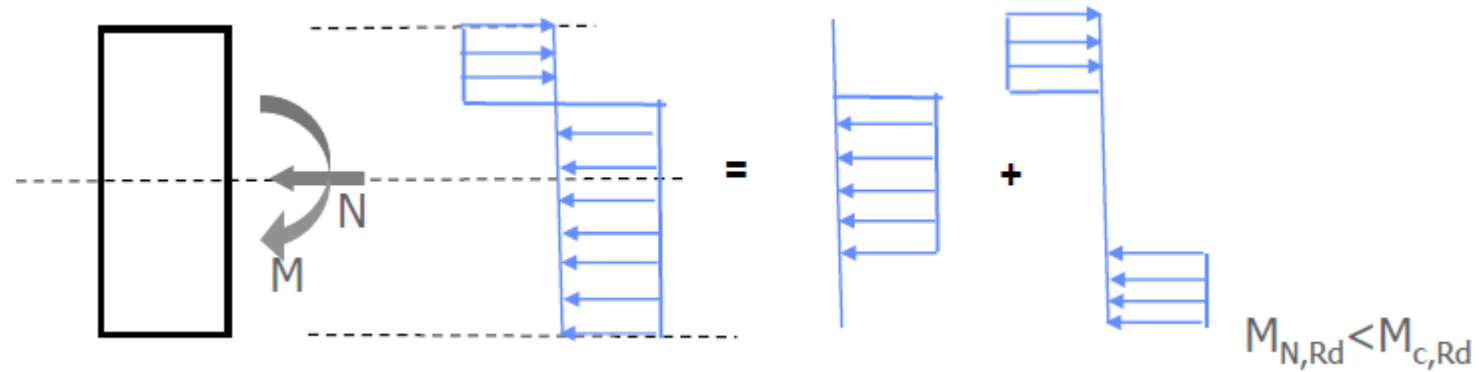
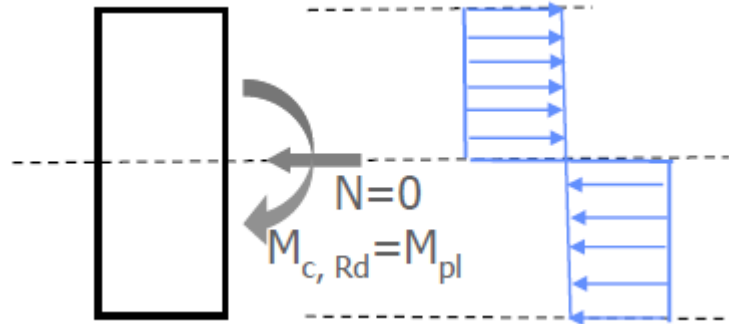
$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} \leq 1$$

- $M_{Ed}$  = valor de càlcul del moment flector.
- $M_{N,Rd}$  = resistència plàstica de càlcul a flexió reduïda.

- Per a una **secció rectangular** sense forats per a cargols, la resistència plàstica de càlcul a flexió  $M_{N,Rd}$  reduïda es determina mitjançant:

$$M_{N,Rd} = M_{c,Rd} \left[ 1 - \left( N_{Ed} / N_{pl,Rd} \right)^2 \right] \quad \text{➤} \quad M_{c,Rd} = \text{resistència de càlcul a flexió.}$$

### INTERACCIÓ FLEXIÓ – AXIL. CLASSE 1 i 2 (2 de 5)





### INTERACCIÓ FLEXIÓ – AXIL. CLASSE 1 i 2 (3 de 5)

- En **seccions en I i en H** simètriques respecte de l'eix fort y-y, s'haurà de dur a terme la reducció per a la consideració de l'efecte del esforç normal sobre el moment plàstic resistent al voltant de l'eix y-y, quan es compleixi:

$$N_{Ed} > \min \left\{ 0,25 \cdot N_{pl,Rd}, \frac{0,5 \cdot h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \right\}$$

- D'una manera similar, per a flexió al voltant de l'eix dèbil z-z, s'haurà de dur a terme la reducció per efecte del esforç normal, quan es compleixi:

$$N_{Ed} > \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}$$



### INTERACCIÓ FLEXIÓ – AXIL. CLASSE 1 i 2 (4 de 5)

- Per a seccions transversals de **perfils laminats o armats en doble T** amb ales iguals, es podrà aplicar les següents expressions per a la obtenció de la resistència plàstica a flexió reduïda:
  - Eix fort y-y:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} (1-n)/(1-0,5a) \quad ; \quad M_{N,y,Rd} \leq M_{c,y,Rd}$$

- Eix dèbil z-z:

➤ Per a  $n \leq a$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd}$$

➤ Per a  $n > a$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$$

➤  $n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$

➤  $a = \frac{A - 2bt_f}{A} \quad ; \quad a \leq 0,5$



### INTERACCIÓ FLEXIÓ – AXIL. CLASSE 1 i 2 (5 de 5)

- Per al cas de **flexió esbiaixada i esforç normal**, es podrà utilitzar el següent criteri aproximat per al dimensionament i comprovació:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^{\alpha} + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^{\beta} \leq 1$$

➤  $\alpha = 2$  ;  $\beta = 5n$  ;  $\beta \geq 1$

seccions en I i en H.

➤  $\alpha = 2$  ;  $\beta = 2$

seccions foradades circulars.

➤  $\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2}$  ;  $\alpha = \beta \leq 6$

seccions foradades rectangulars.



### INTERACCIÓ FLEXIÓ – AXIL. CLASSE 3

- Sota l'acció combinada de flector i esforç normal, i en absència d'esforç tallant, la tensió normal màxima  $\sigma_{x,Ed}$  haurà de satisfer:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- La tensió  $\sigma_{x,Ed}$  és el valor de càlcul de la tensió normal màxima deguda al moment flector i a l'esforç normal.
- Per al dimensionament i comprovació de la secció, el criteri anterior es tradueix en la següent expressió en el punt més sol·licitat:

$$\frac{N_{Ed}}{A f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1$$



### INTERACCIÓ FLEXIÓ – AXIL. CLASSE 4

- Sota l'acció combinada de flector i esforç normal, i en absència d'esforç tallant, la tensió normal màxima  $\sigma_{x,Ed}$  haurà de satisfer:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- La tensió  $\sigma_{x,Ed}$  és el valor de càlcul de la tensió normal màxima deguda al moment flector i a l'esforç normal.
- Per al dimensionament i comprovació de la secció, el criteri anterior es tradueix en la següent expressió en el punt més sol·licitat:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{ef} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{ef,y} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{ef,z} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1$$





### INTERACCIÓ FLEXIÓ – TALLANT – AXIL

- En aquells casos en que la secció es vegi sotmesa a l'efecte combinat de sol·licitacions de flexió, tallant i esforç normal, el dimensionament i comprovació en front a aquest efecte es portarà a terme reduint la resistència de càlcul de la secció a flexió i axil.
- Quan el valor de càlcul de l'esforç tallant  $V_{Ed}$  no superi el 50% de la resistència plàstica de la secció  $V_{pl,Rd}$ , no s'haurà de reduir el valor del moment resistent.
- Quan  $V_{Ed}$  excedeixi el 50% de la resistència plàstica de la secció a tallant  $V_{pl,Rd}$ , s'assignarà a l'àrea de tallant un límit elàstic reduït de valor  $(1-\rho) \cdot f_y$  per a la determinació de la resistència de càlcul de la secció en front a l'acció combinada de moment flector i esforç normal.

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

# CONSTRUCCIONS INDUSTRIALS

Christian Escrig Pérez

## TEMA 9: Inestabilitats locals

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola d'Enginyeria de Terrassa

Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria



Attribution-Noncommercial 2.5

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/es/deed.ca>





## TEMA 9: INESTABILITATS LOCALS

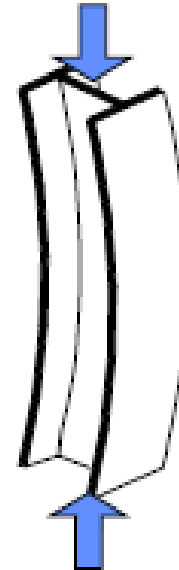
### - VINCLAMENT

- Introducció
- Peces ideals
- Càrrega crítica d'Euler
- Tensió crítica d'Euler
- Esveltesa d'Euler
- Peces reals
- Corbes europees de vinclament
- Elements sotmesos a compressió
- Longitud de vinclament
- Resum de la metodologia de càlcul
- *Activitat complementària 9.1*
- Recomanacions de dimensionament



### INTRODUCCIÓ

- El vinclament és un fenomen d'inestabilitat **elàstica** que pot donar-se en **elements comprimits** i que es manifesta per l'aparició de desplaçaments transversals a la direcció principal de compressió.
- Quan la càrrega de compressió augmenta progressivament arriba a un valor en el qual l'element, en comptes d'escorçar la seva longitud, corba el seu eix fins el col·lapse definitiu.
- El valor de la càrrega per la qual l'element pot vinclar, sol ser inferior a la càrrega que resisteix la secció a compressió i està directament relacionada amb l'**esveltesa de la peça**.





### PECES IDEALS

- Per a estudiar els *fenòmens d'inestabilitat* i definir el seu *model teòric de comportament* es va optar per usar *peces ideals*.
- Aquestes *peces ideals* tenen les següents propietats:
  - Mòdul d'elasticitat conegut.
  - Material indefinidament elàstic ( $f_y$  elevat).
  - Peces sense imperfeccions geomètriques (forma matemàticament perfecta).
  - Forces de compressió centrades exactament a la directriu.
  - Peces exemptes de tensions residuals.



### CÀRREGA CRÍTICA D'EULER

- El model teòric de comportament va determinar que existeix una càrrega, a partir de la qual, les peces ideals pateixen els efectes del vinclament.
- Aquesta càrrega s'identifica com **càrrega crítica d'Euler** i es defineix de la següent manera:

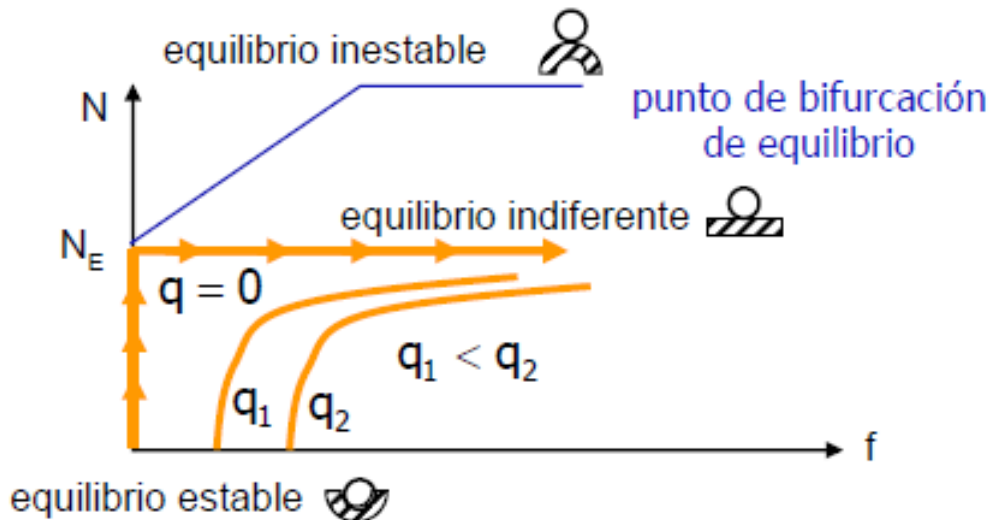
$$N_E = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

- $EI =$  rigidesa a flexió de l'element.
- $L =$  longitud de l'element.

- La càrrega crítica d'Euler és un límit superior de l'esforç normal que pot ser suportat per la peça sense que aquesta vincli.

### CÀRREGA CRÍTICA D'EULER – ANÀLISI DE DEFORMACIONS

- En funció de la càrrega aplicada es poden donar les següents situacions:



- Si  $N < N_E$ , la peça es manté recta.
- Quan  $N \rightarrow N_E$ , la peça pot mantenir-se recta (si no hi ha absolutament res que l'aparti d'aquesta posició).
- Quan  $N \rightarrow N_E$ , si algun efecte l'aparta de la seva posició, la peça es corba.
- Quan  $N > N_E$ ,  $f_{max}$  creix molt ràpidament fins al punt de bifurcació d'equilibri.



### TENSIÓ CRÍTICA D'EULER

- A partir de la càrrega crítica es pot obtenir la tensió crítica d'Euler. Per això és necessari introduir els següents conceptes:

➤  $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$  Radi de gir: distància des de l'eix a un punt tal que, si tota la massa d'un cos estigués concentrada en aquest punt, el seu moment d'inèrcia es mantindria invariable.

➤  $\lambda = \frac{L}{i}$  Esveltesa: proporció entre la altura i la amplada d'un element.

- Desenvolupant s'obté:

$$N_E = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^2 E}{L^2 / I} = \frac{\pi^2 E}{L^2 / A \cdot i^2} = \frac{\pi^2 EA}{L^2 / i^2} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda^2} \rightarrow \sigma_E = \sigma_{cr} = \frac{N_E}{A} = \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 E$$

**Tensió crítica d'Euler**





### ESVELTESA D'EULER (1 de 2)

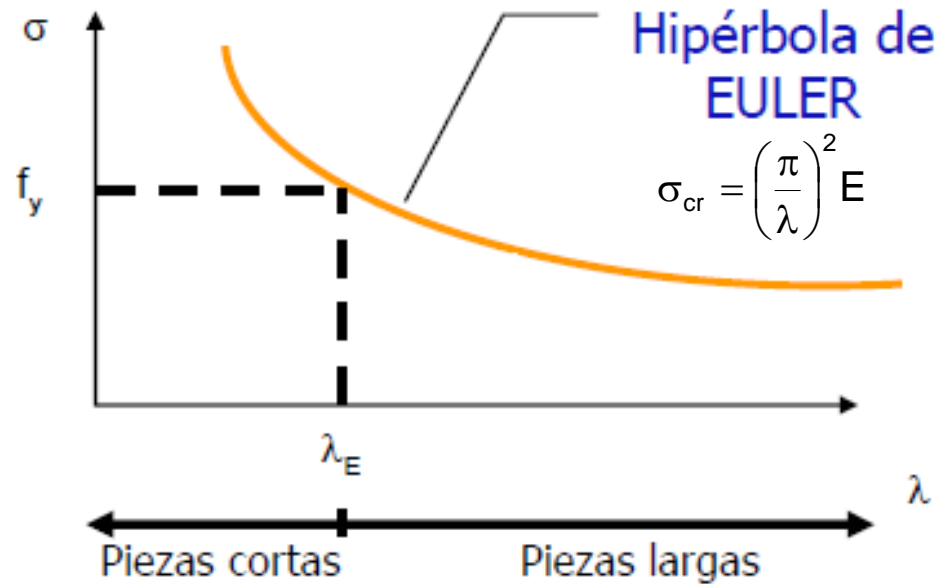
- El fet que l'acer tingui un límit elàstic definit (el material no és indefinidament elàstic) fa pensar que la tensió crítica d'Euler no és útil per al dimensionament.
- Si es suposa que  $N=N_E$  la peça fallarà del següent mode:
  - Per vinclament si  $\sigma_{cr} < f_y$ .
  - Per plastificació si  $\sigma_{cr} > f_y$ .
- El valor de l'esveltesa per a  $\sigma_{cr}=f_y$  és el següent:

#### Esveltesa d'Euler

$$\sigma_{cr} = \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 E = f_y \longrightarrow \lambda_E = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$



### ESVELTESA D'EULER (2 de 2)



- Si  $\lambda < \lambda_E$  fallarà per plastificació.
- Si  $\lambda > \lambda_E$  fallarà per bifurcació d'equilibri.



### PECES REALS (1 de 2)

- Tal i com s'ha observat en el desenvolupament del concepte de l'esveltesa d'Euler, no es poden verificar totes les hipòtesis de les **peces ideals** per tal d'usar-les com a referència en el desenvolupament del model teòric de comportament del vinclament.
- Així doncs, es desenvolupa un mètode que tingui en compte l'efecte de les tensions residuals i que unifiqui criteris respecte a coeficients de seguretat.
- A través d'un ampli programa d'assajos sobre peces sense cap tipus de tractament (peces reals) i un rigorós estudi teòric de la peça real biarticulada (Sfintesco i Beer), apareixen unes **noves corbes de vinclament** ( $\sigma_{ult}-\lambda$ ).

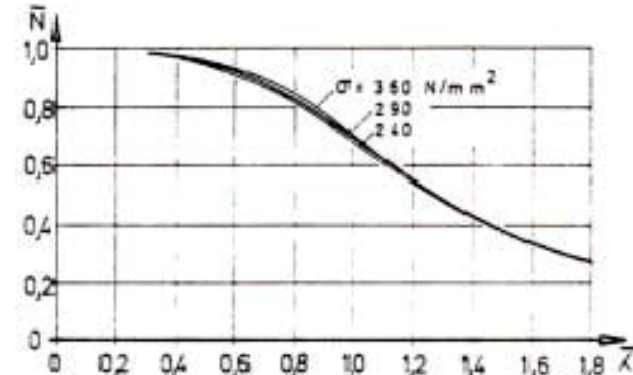
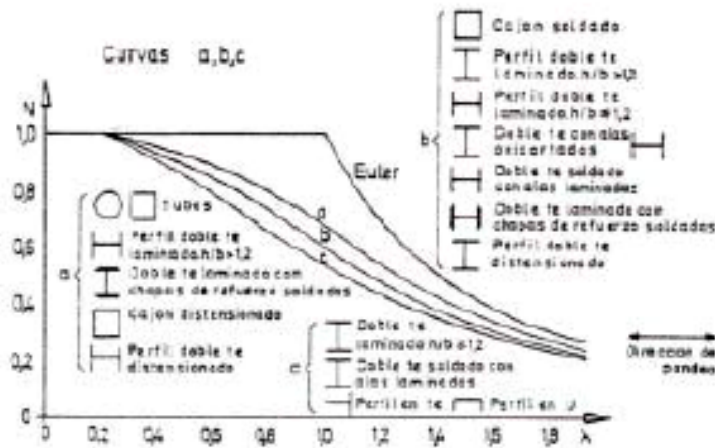
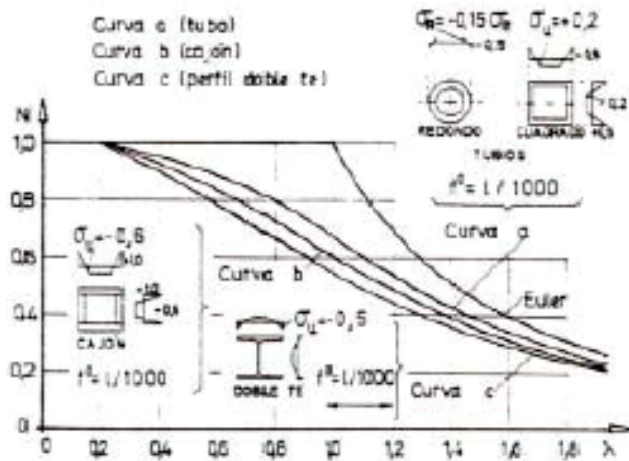


### PECES REALS (2 de 2)

- En aquests estudis es porten a terme les següents hipòtesis:
  - Es suposa una deformada inicial amb forma sinoïdal i una fletxa en el centre de valor  $L/1000$ .
  - Es pren  $e=0$ , ja que es considera que l'excentricitat de la càrrega queda inclosa dins de la forma inicial.
  - Es menysprea la possible variació del límit elàstic entre les diferents fibres de la secció transversal.
  - Es considera la disminució que experimenta el límit elàstic de cada tipus d'acer amb l'augment de gruix de la peça.
  - Es considera que en perfils soldats les tensions residuals són més desfavorables.

### CORBES EUROPEES DE VINCLAMENT (1 de 4)

- Com a resultats d'aquests estudis es va determinar que no hi ha una única corba per a tots els perfils, ni una corba per a cada perfil. Això és degut a la diferent distribució de tensions residuals.
- Així doncs, es van obtenir les **corbes bàsiques de vinclament a, b i c** ( $N_{ult}-\lambda$ ).



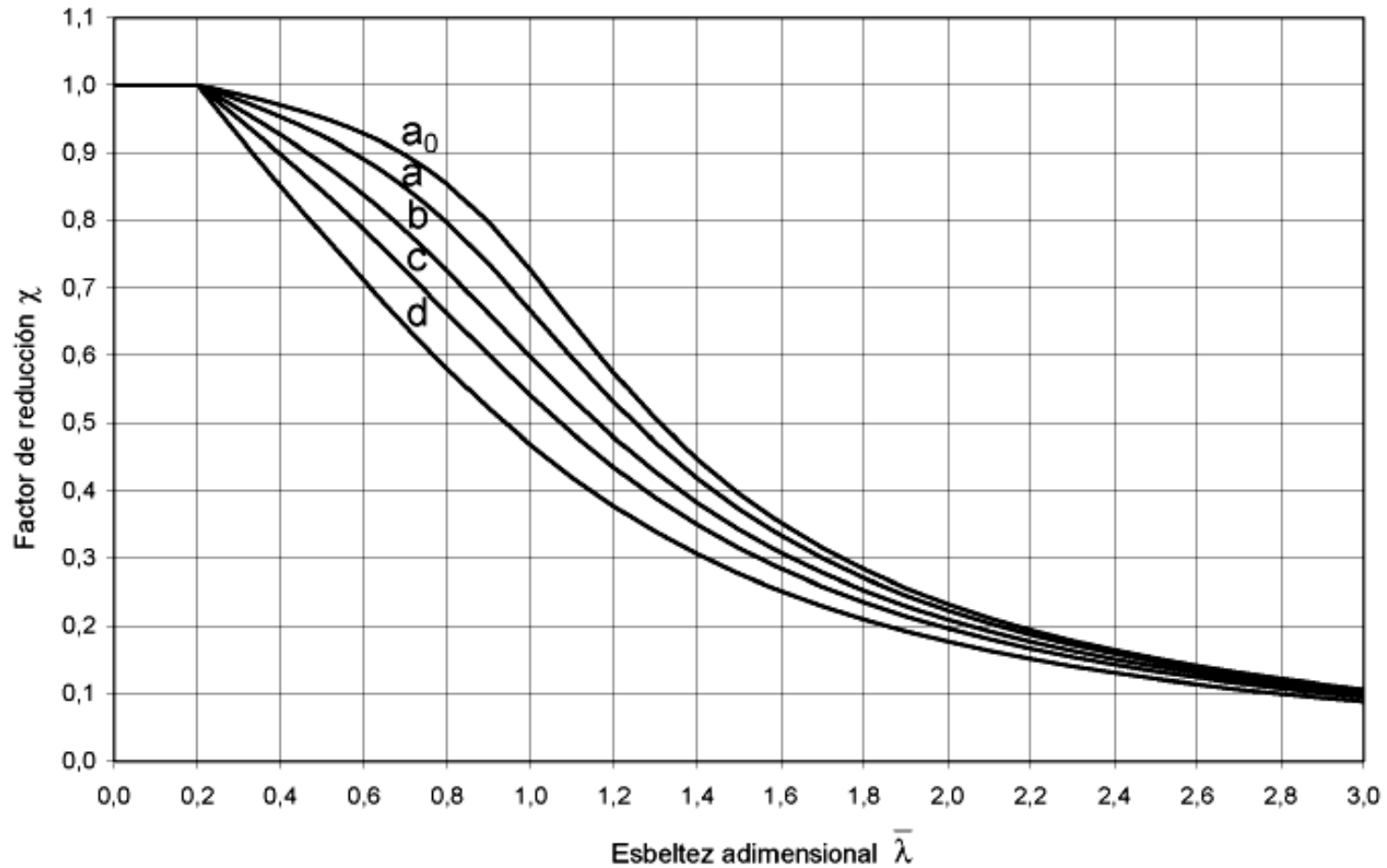


### CORBES EUROPEES DE VINCLAMENT (2 de 4)

- Finalment s'observa que hi ha una sèrie de perfils que no queden representats amb les corbes bàsiques i es construeixen dues corbes més:
  - **Corba a0**, per a perfils sotmesos a un tractament de reducció de tensions residuals.
  - **Corba d**, per a perfils ordinaris amb gruixos superiors a 40mm.



### CORBES EUROPEES DE VINCLAMENT (3 de 4)





### CORBES EUROPEES DE VINCLAMENT (4 de 4)

Sección transversal	Límites	Pandeo alrededor del eje	Curva de pandeo	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm $40$ mm $< t_f \leq 100$	y - y z - z	a a <sub>0</sub>
			y - y z - z	b a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ mm $t_f > 100$ mm	y - y z - z	b a
			y - y z - z	d c
	$t_f \leq 40$ mm	y - y z - z	b c	
	$t_f > 40$ mm	y - y z - z	c d	

Secciones huecas		Acabados en caliente	cualquiera	a	a <sub>0</sub>
		Conformados en frío	cualquiera	c	c
Secciones en cajón o en simple T y de vigas soldadas		En general (excepto el caso del recuadro inferior)	cualquiera	b	b
		Soldaduras gruesas: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	cualquiera	c	c
Secciones en U o en simple T y secciones macizas			cualquiera	c	c
Secciones de perfiles de angulares			cualquiera	b	b





### ELEMENTS SOTMESOS A COMPRESSIÓ (1 de 4)

- Per a elements sotmesos a compressió, el valor de càlcul de l'esforç normal de compressió  $N_{Ed}$  haurà de verificar:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

- $N_{Ed}$  = valor de càlcul de l'esforç normal.
- $N_{b,Rd}$  = resistència de càlcul a vinclament de l'element comprimit.

- La resistència de càlcul a vinclament d'un element sotmès a compressió  $N_{b,Rd}$  es determinarà del següent mode:

- Seccions classe 1, 2 o 3: 
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Seccions classe 4: 
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{ef} f_y}{\gamma_{M0}}$$

- $\chi$  = coeficient de reducció per al mode de vinclament considerat.



### ELEMENTS SOTMESOS A COMPRESSIÓ (2 de 4)

- Per a elements amb secció transversal constant sotmesos a un esforç de compressió de valor constant, es defineix el coeficient de reducció de vinclament  $\chi$  de la següent manera:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad ; \quad \chi \leq 1$$

- $\chi$  = coeficient de reducció per al mode de vinclament considerat.
- $\bar{\lambda}$  = esveltesa adimensional adient.
- $\Phi$  = coeficient.  $\Phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$
- $\alpha$  = coeficient d'imperfeció.

Curva de pandeo	$a_0$	a	b	c	d
Coefficiente de imperfección $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76



### ELEMENTS SOTMESOS A COMPRESSIÓ (3 de 4)

- El valor de l'esveltesa adimensional dependrà de la classe de secció que s'estigui analitzant:

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

➤ Classe 1, 2 y 3.

➤ Classe 4.

- $N_{cr}$  = esforç normal crític elàstic per al mode de vinclament considerat, obtingut amb les característiques de la secció transversal bruta.

$$N_{cr} = \left( \frac{\pi}{L_{cr}} \right)^2 EI$$

- $L_{cr}$  = longitud de vinclament en el pla de vinclament per flexió considerat.



### ELEMENTS SOTMESOS A COMPRESSIÓ (4 de 4)

- Es podrà ometre el dimensionament i comprovació en front al vinclament, havent de dur a terme únicament la comprovació resistent de la secció transversal, sempre que es compleixi alguna de les següents condicions:

$$\Rightarrow \bar{\lambda} \leq 0,2$$

$$\Rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0,04$$



### LONGITUD DE VINCLAMENT (1 de 4)

- Es defineix la longitud de vinclament d'un element sotmès a compressió ( $L_{cr}$ ) com la distància entre dos punts d'inflexió consecutius de la deformada de l'element estructural. Es determina mitjançant la següent expressió:

$$L_{cr} = \beta \cdot L$$

- $\beta =$  coeficient de vinclament ( $\beta \geq 0$ ).
- $L =$  longitud de l'element.

- Degut a que la morfologia de la deformada d'un element depèn del tipus de les condicions de vinculació (restricció de graus de llibertat en els extrems), es pot afirmar que el vinclament d'un element estructural variarà en funció de dites condicions de vinculació.



### LONGITUD DE VINCLAMENT (2 de 4)

- A continuació es mostren les longituds de vinclament en funció de les diferents tipologies de vinculació d'elements intranslacional:

**Biarticulat**



$$\beta = 1 ; L_{cr} = L$$

**Encastat-articulat**



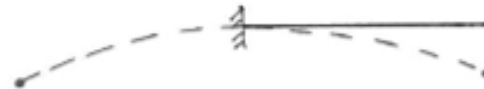
$$\beta = 0,7 ; L_{cr} = 0,7 \cdot L$$

**Biencastat**



$$\beta = 0,5 ; L_{cr} = 0,5 \cdot L$$

**Voladís**

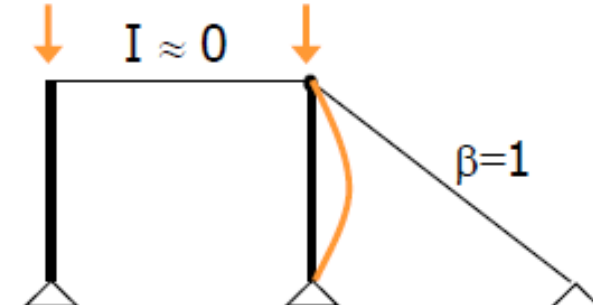
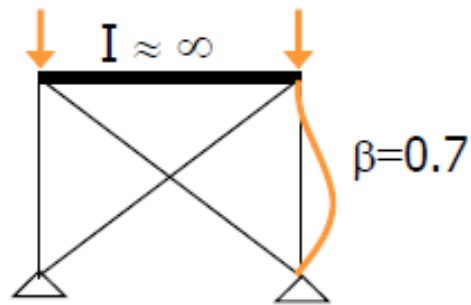
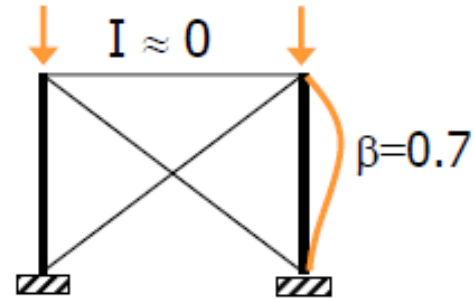
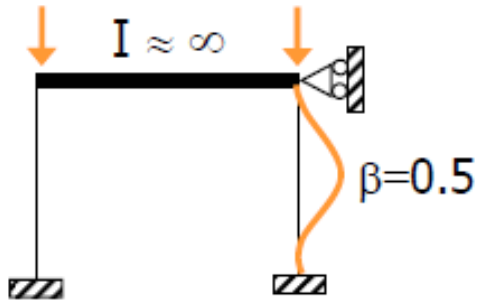


$$\beta = 2 ; L_{cr} = 2 \cdot L$$



### LONGITUD DE VINCLAMENT (3 de 4)

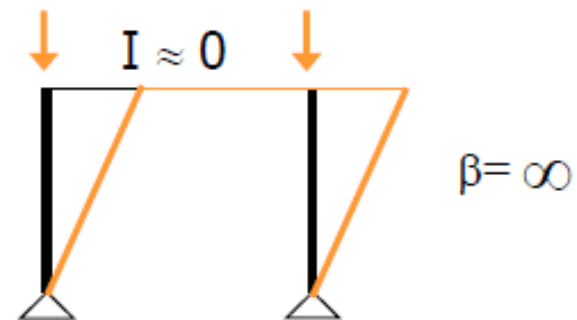
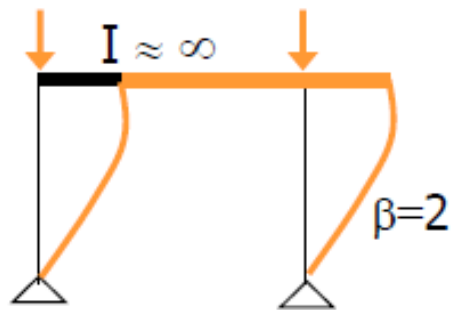
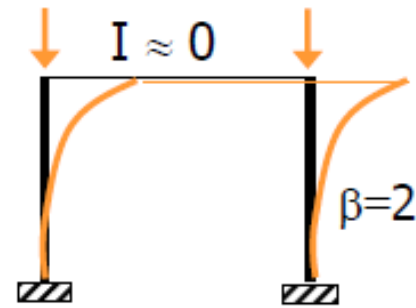
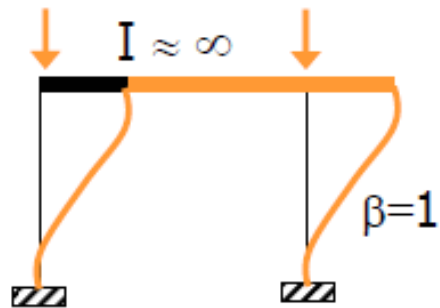
- Per a pòrtics intranslacional d'una alçada es té:





### LONGITUD DE VINCLAMENT (4 de 4)

- Per a pòrtics translacionals d'una alçada es té:

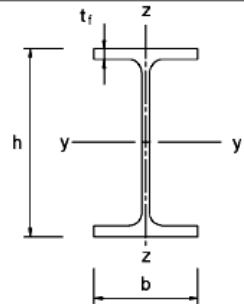




### RESUM DE LA METODOLOGIA DE CÀLCUL (1 de 4)

– A continuació es mostra un resum de la metodologia a seguir per a comprovar elements sotmesos a l'efecte del vinclament:

- 1) Determinació de la corba de vinclament del perfil a comprovar mitjançant la taula.

Sección transversal	Límites	Pandeo alrededor del eje	Curva de pandeo	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y - y	a
			z - z	b
	$h/b \leq 1,2$	$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y - y	b
			z - z	c
$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y - y	b	
		z - z	c	
$h/b \leq 1,2$	$t_f > 100 \text{ mm}$	y - y	d	
		z - z	d	

- 2) Determinació de la longitud de vinclament de l'element  $L_{cr}$ .



### RESUM DE LA METODOLOGIA DE CÀLCUL (2 de 4)

- 3) Determinació de l'esforç normal crític elàstic  $N_{cr}$  per al mode de vinclament estudiat.

$$N_{cr} = \left( \frac{\pi}{L_{cr}} \right)^2 EI$$

- 4) Determinació de l'esveltesa reduïda de la peça  $\bar{\lambda}$  segons la classe del perfil.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} \text{ para clase 1, 2 y 3}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ef}f_y}{N_{cr}}} \text{ para clase 4}$$

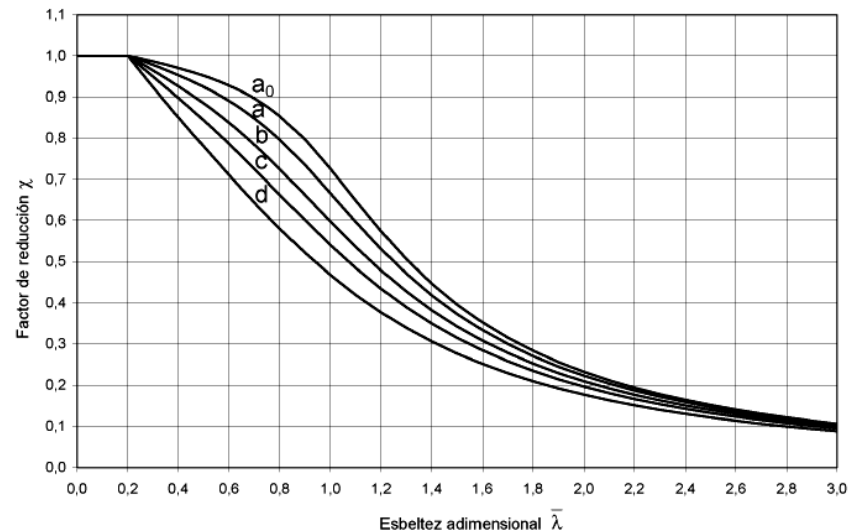
### RESUM DE LA METODOLOGIA DE CÀLCUL (3 de 4)

5a) Determinació analítica del coeficient de reducció per vinclament  $\chi$ .

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

Curva de pandeo	$a_0$	a	b	c	d
Coefficiente de imperfección $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

5b) Determinació gràfica del coeficient de reducció per vinclament  $\chi$ .





### RESUM DE LA METODOLOGIA DE CÀLCUL (4 de 4)

- 6) Determinació de la resistència de càlcul a vinclament de l'element comprimit segons classe de perfil.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M0}} \text{ para clases 1, 2 y 3}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{ef} f_y}{\gamma_{M0}} \text{ para clase 4}$$

- 7) Comprovació condició de dimensionament.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$



### RECOMANACIONS DE DIMENSIONAMENT

- És recomanable no sobrepassar esvelteses de  $\lambda=200$  en elements principals i de  $\lambda=250$  en elements secundaris d'arriostament.
- Per a barres sol·licitades a tracció d'elements resistents principals l'esveltesa no ha de superar el valor  $\lambda=300$  degut a una possible inversió d'esforços en alguna combinació d'accions.
- Per a elements secundaris d'arriostament, sotmesos a tracció, l'esveltesa no ha de superar el valor  $\lambda=400$ .
- A títol orientatiu, en general es poden seguir els següents criteris:
  - $\lambda=50$  per a suports molt carregats.
  - $\lambda=100$  per a suports menys sol·licitats.
  - $\lambda=130$  per a peces en gelosia.

# CONSTRUCCIONS INDUSTRIALS

Christian Escrig Pérez

## TEMA 11: Estructures de formigó armat prefabricat

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola d'Enginyeria de Terrassa

Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria



Attribution-Noncommercial 2.5

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/es/deed.ca>





## TEMA 11: ESTRUCTURES DE FORMIGÓ ARMAT PREFABRICAT

### - INTRODUCCIÓ

- Visió global
- Activitat complementària 11.1

### - DEFINICIÓ

- Què és la construcció industrialitzada?
- Grau de prefabricació
- Tipus de sistemes constructius industrialitzats

### - EVOLUCIÓ HISTÒRICA

- Precedents
- Desenvolupament segle XX

### - MARC ACTUAL

- Crisi econòmica: crisi de la construcció i oportunitat
- Mitjans de producció
- Organització de la producció



## TEMA 11: ESTRUCTURES DE FORMIGÓ ARMAT PREFABRICAT (2h)

- COMPARATIVA DE PROCESSOS PRODUCTIUS
  - Avantatges de la construcció industrialitzada vs. la construcció “in situ”
  - Desavantatges de la construcció industrialitzada vs. la construcció “in situ”
- OBJECTIUS A MIG TERMINI
  - Desenvolupament de la construcció industrialitzada oberta
- APLICACIONS REPRESENTATIVES
  - Casa Kyoto
  - VPO a Zabalaga (Vitoria)
  - Wolverhampton Student Hall
- CONCLUSIONS
  - Conclusions





### VISIÓ GLOBAL

CONSTRUCCIÓ  
INDUSTRIALIZADA

DEFINICIÓ

EVOLUCIÓ HISTÒRICA

COMPARATIVA PROCESSOS  
CONSTRUCTIUS

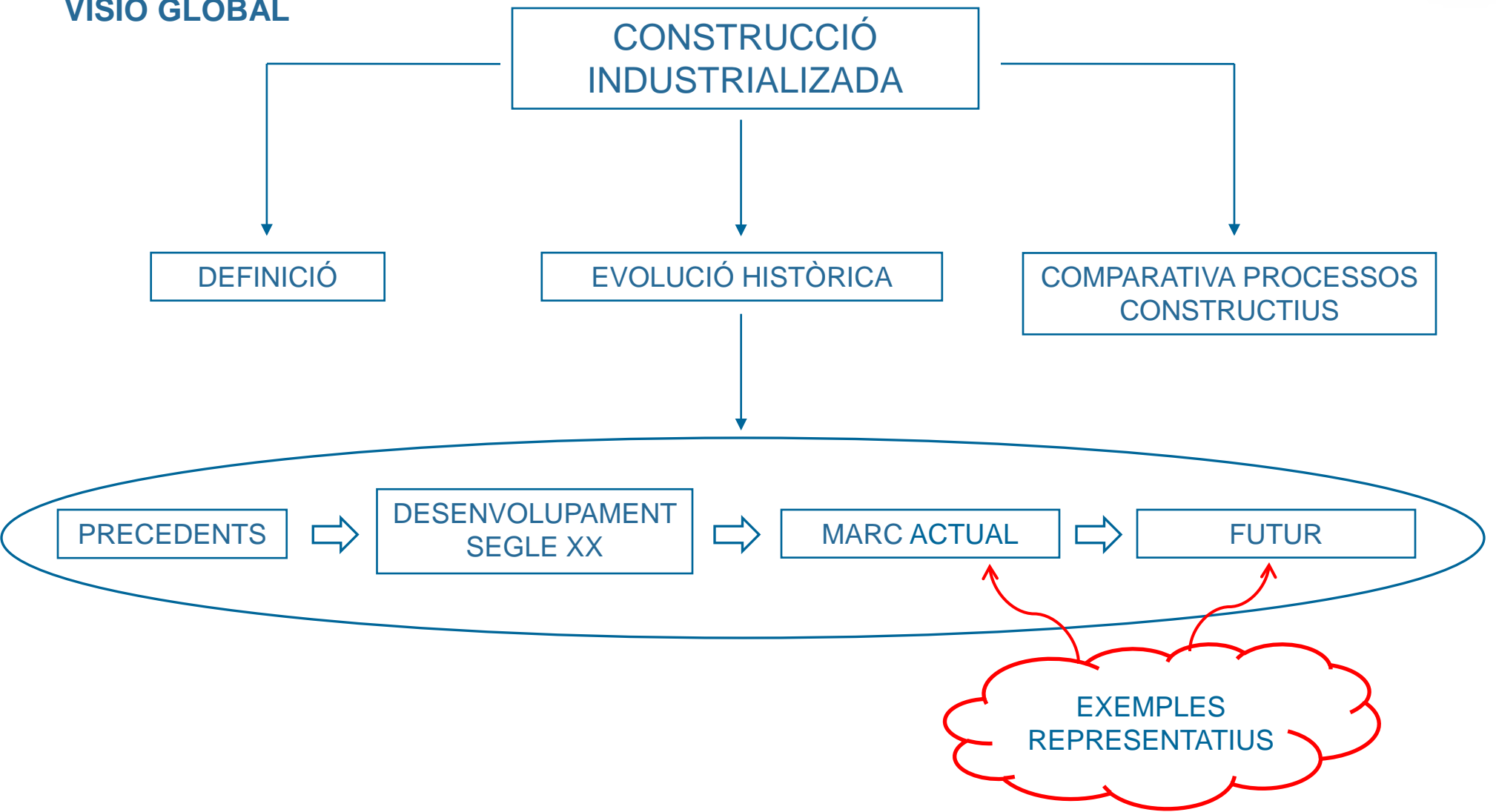
PRECEDENTS

DESENVOLUPAMENT  
SEGLE XX

MARC ACTUAL

FUTUR

EXEMPLES  
REPRESENTATIUS





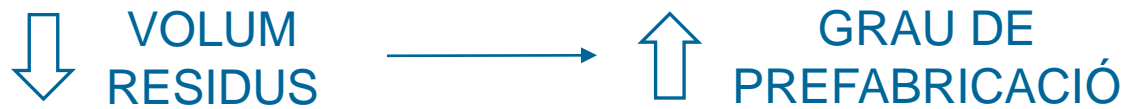
### QUÈ ÉS LA CONSTRUCCIÓ INDUSTRIALITZADA?

- Sistema constructiu basat en la prefabricació de components i subsistemes que, després d'una fase de muntatge “in situ”, conformen una construcció o part d'ella.



### GRAU DE PREFABRICACIÓ

- Indicatiu de l'elaboració de components constructius a la industria.
- Valoració del volum de residus generats a la obra.





## TIPUS DE SISTEMES CONSTRUCTIUS INDUSTRIALITZATS

### *Sistemes tancats*

- Elements prefabricats específics i gamma de productes reduïda.
- El projecte ha de subordinar-se al sistema.

### *Us parcial de components*

- Gamma de productes fixa.
- Admet variacions dimensionals de petita entitat.

### *Sistemes tipus Mecano*

- Evolució dels sistemes tancats.
- Permet la combinació de múltiples elements de diferents productors.

### *Sistemes oberts*

- Elements de diferent procedència industrial aptes per a ser muntats en diferents contextos.
- Flexibilitat en el projecte (quasi) total.



### PRECEDENTS (1 de 2)

#### S. XVI

- Projecció de ciutats amb fàbrica de components al centre i origen de les mateixes. Edificis de tipologia variable, però amb un mínim d'elements comuns. Leonardo Da Vinci.
- Disseny de campaments militars amb pavellons prefabricats de fusta. Permetien el muntatge i el desmuntatge. Transport naval.

#### S. XVII

- Great House. Casa de fusta de panells i modular. Fabricada a Anglaterra i transportada/muntada a EEUU. Edward Winslow.

#### S. XVIII

- A Europa, construcció de cobertes i ponts amb fosa de ferro. Antecedent de les estructures de ferro.



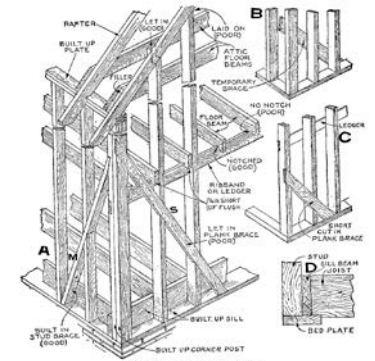
### PRECEDENTS (2 de 2)

#### S. XVIII

- A Estats Units, edificacions tipus Ballon Frame. Construcció a base de llistons de fusta prefabricats units mitjançant claus industrials.

#### S. XIX

- Inici de l'ús del formigó en la prefabricació.
- Disseny d'un edifici mitjançant mòduls tridimensionals de formigó apilables. Edward T. Potter.
- Prefabricació i muntatge de les primeres bigues de formigó armat. Casino de Biarritz, 1891.



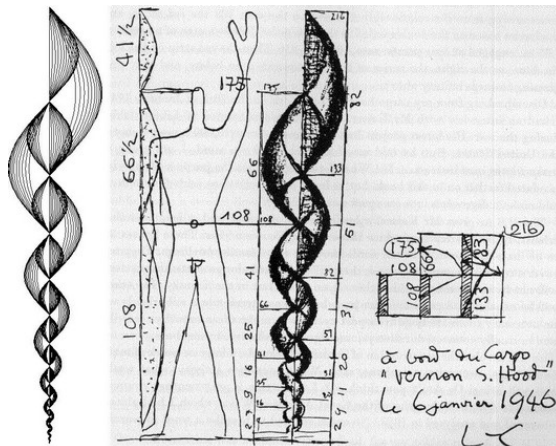
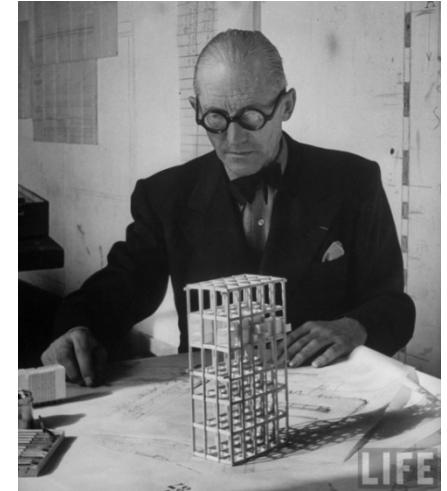
**Balloon Frame Construction**  
The parts are: A, corner of frame showing the various members; B, a substantial built-up stud beam; and C, a strong built-up plank brace. D, detail of built-up sill.  
Balloon frames are probably so called because of their extreme lightness and rigidity, as they appear when in the construction of the building, including everything of construction and workmanship of entire, but hidden frames would be a more appropriate name for them, as their construction borrows much of the heaviest timber-work in use. They have upright stays or studs, but wood instead of wicker covering.



### DESENVOLUPAMENT SEGLE XX (1 de 3)

Le Corbusier – “Màquines de viure”

- Producció d'edificis residencials de forma anàloga al sistema de la indústria automobilística.
- Publicació del **Modulor**: tractat que pretén relacionar l'ordre i la proporció, basats en traçats reguladors geomètrics i sèries matemàtiques anàlogues a composicions matemàtiques, amb la cultura moderna de la construcció industrialitzada.





### DESENVOLUPAMENT SEGLE XX (2 de 3)

Reconstrucció d'Europa després de la IIa Guerra Mundial

- Gran demanda d'edificació residencial.
- Principalment, a Europa de l'Est, desenvolupament de sistemes tancats de construcció industrialitzada a base de grans panells de formigó:
  - Edificis amb un mínim de 1000 vivendes.
  - Projectes amb variacions formals mínimes.
  - Llums mínimes de forjats per a facilitar el transport. Condicionament de la mida dels espais habitables.
  - El sistema de construcció condiona el projecte arquitectònic. Optimització econòmica de l'edificació.







### DESENVOLUPAMENT SEGLE XX (3 de 3)

1970: Crisi de la vivenda en altura

- Demanda de vivendes unifamiliars de major qualitat.
- El sistema tancat de construcció industrialitzada queda obsolet.
- Evolució dels sistemes prefabricats: diversificació de productes, flexibilitat de disseny i producció de sèries curtes de components.
- Introducció en el mercat d'edificis públics i edificis industrials.







### CRISI ECONÒMICA: CRISI DE LA CONSTRUCCIÓ I OPORTUNITAT

- La crisi econòmica ha ofert una oportunitat a les indústries prefabricadores per a guanyar mercat, oferint productes de qualitat, adaptant-se al disseny del projecte i optimitzant costos en el sector de la construcció.
- Per això ha estat necessari evolucionar els processos de producció dels elements prefabricats a partir de dos aspectes:
  - Millora dels mitjans de producció.
  - Optimització de l'organització de la producció.



## MITJANS DE PRODUCCIÓ

- Millores tecnològiques aplicades als materials i al sistema productiu.
- Desenvolupament de formigons especials (HAR, HAC, etc.). Oferta de diverses gammes de productes prefabricats amb diferents usos, mides i acabats.
- Desenvolupament de la xarxa de transport i proliferació de les plantes de formigonat. Reducció de recorreguts del formigó fresc i manteniment de productes prefabricats en cas de forta demanda puntual.
- Evolució del tractament del formigó durant el procés productiu:
  - Sistemes de distribució homogènia del formigó en el motlle.
  - Reducció del temps d'enduriment.
  - Concentració de la fase de curat en zones aïllades para evitar pèrdues de calor.
  - Ús de formigons autocompactants per a evitar la fase de vibrat. Augment de la vida útil del motlle.



## ORGANITZACIÓ DE LA PRODUCCIÓ

- Flexibilització del procés productiu. Major gamma de solucions per a les diferents parts de l'edifici o construcció.
- Millora dels mitjans productius.
- Automatització de tasques.
- Utilització de mitjans susceptibles d'usos alternatius.



### AVANTATGES DE LA CONSTRUCCIÓ INDUSTRIALITZADA VS. LA CONSTRUCCIÓ “IN SITU”

- Major qualitat dels materials i acabats.
- Reducció dels terminis d’obra.
- Reducció de les tasques en obra (només muntatge).
- Reducció de l’espai necessari per a apilament i producció de peces en obra.
- Reducció d’equips de treball en obra.
- Especialització de la mà d’obra.
- Reducció de la sinistralitat laboral.
- Control dels residus generats. Menor consum energètic. Menor impacte medi ambiental.



### DESVANTATGES DE LA CONSTRUCCIÓ INDUSTRIALITZADA VS. LA CONSTRUCCIÓ “IN SITU”

- Rigidesa en el disseny del projecte.
- Problemàtica modular. Incompatibilitat de peces entre diferents industrials.
- Qüestions tècniques no resoltes: unions estructurals i monolitisme.
- Desperfectes dels components en fase de transport.
- Inversió econòmica inicial.
- Rebuig cultural del consumidor (específic d'Espanya).



### DESENVOLUPAMENT DE LA CONSTRUCCIÓ INDUSTRIALITZADA OBERTA

- Aplicació de procediments d'estandardització, modularitat, industrialització i tecnologia a l'àmbit de l'edificació residencial.
- Compatibilitat de peces entre diferents industrials. Construccions realitzades amb components de diferents orígens.
- Evolució dels components prefabricats (formes, materials, etc.), mètodes de fabricació i resolució de problemes tècnics.
- Minimitzar les actuacions en obra. Construcció en sec.
- Disminució dels accidents laborals en la construcció.



### CASA KYOTO



- Construcció modular residencial.
- Vivenda unifamiliar de 3 plantes, 250m<sup>2</sup> útils.
- Permet cert grau de flexibilitat de disseny i personalització de materials.
- Cost fix i termini d'entrega de 4 mesos.
- Muntatge en sec. Permet deconstrucció.

Autor projecte: ***Pich-Aguilera Arquitectes***

Industrial: ***Prefabricats Pujol***



### VPO A ZABALAGA (VITORIA)

- Construcció modular en altura.
- Edifici plurifamiliar (9 plantes i 2 soterranis). 156 vivendes.
- Optimització de llums estructurals i modulacions de façana.



Autor projecte: ***Pich-Aguilera Arquitectes***

Industrial: ***Norten PH***

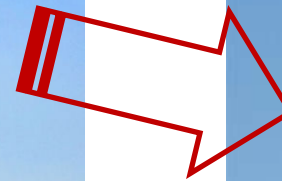




### WOLVERHAMPTON STUDENT HALL



- Construcció modular més alta d'Europa.
- Edifici residencial per a estudiants de 24 plantes amb 805 mòduls habitables.
- Temps d'execució: 6 mesos.



Autor projecte: ***O'Connell East Architects***



## CONCLUSIONS

- Per a garantir el desenvolupament de la construcció industrialitzada és necessari establir una coordinació industrial que permeti estandarditzar les diferents gammes de productes prefabricats.
- El fet de dotar una construcció de mobilitat, intercanviabilitat de components i un major aprofitament de recursos, és fonamental per a afrontar els problemes econòmics i mediambientals de l'edificació actual.
- A nivell estatal, és indispensable eradicar la desconfiança cap a la construcció industrialitzada, aspecte que fa que els avanços en la matèria siguin lents i tortuosos.
- Per a aconseguir-ho és necessària la implicació de tots els agents participants: projectistes, empreses constructores, empreses productores, administracions i usuari final.