

DISSENY SÍSMIC AVANÇAT PER A EDIFICACIONS

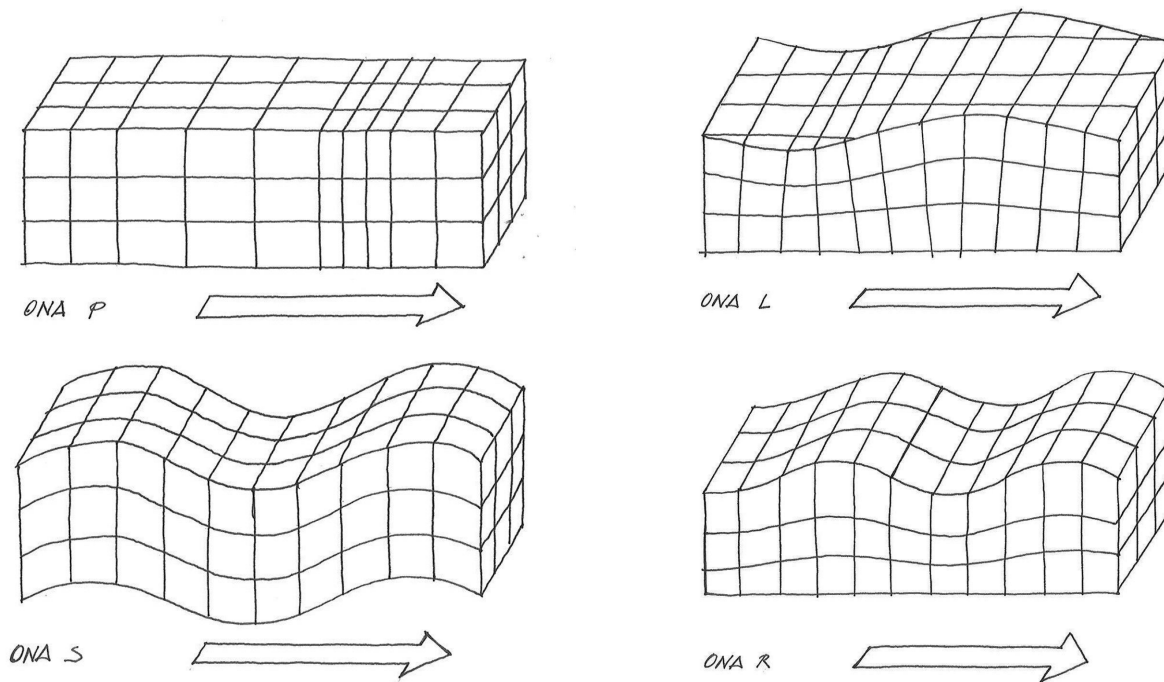
ENERGIA vs. FORCES

2^a Llei del moviment de Newton,

Forces inercials = m edifici. a

on a és la variació de la velocitat propagada per les ones sísmiques, expressada com a fracció de g .

0.24 g Granada, 0.11 g Girona $\longrightarrow$ sísmes moderats



Acceleracions, velocitats i desplaçaments del sol depenen de la freqüència de les ones sísmiques. En general:

ω altes (>10 hz) $\longrightarrow$ acceleracions $\uparrow$
desplaçaments i velocitats $\downarrow$

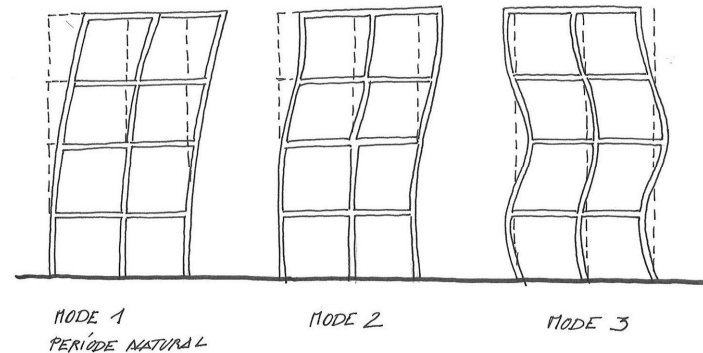
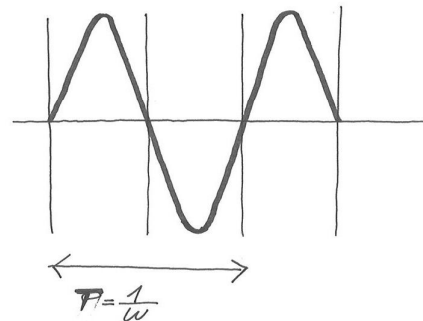
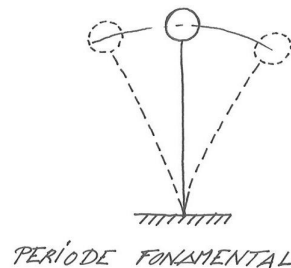
ω baixes (<10 hz) $\longrightarrow$ acceleracions $\downarrow$
desplaçaments i velocitats $\uparrow$

Amplificació dinàmica del sòl

En períodes llargs i sòls tous de certa potència (1.5 a 6 vegades respecte sòls rocosos)

Incorporada en el càlcul a través de models lineals corregits per a tenir en compte la no-linealitat del terreny, manifestada bàsicament per la degradació del seu mòdul de tall i el increment del coeficient d'esmoreïment.

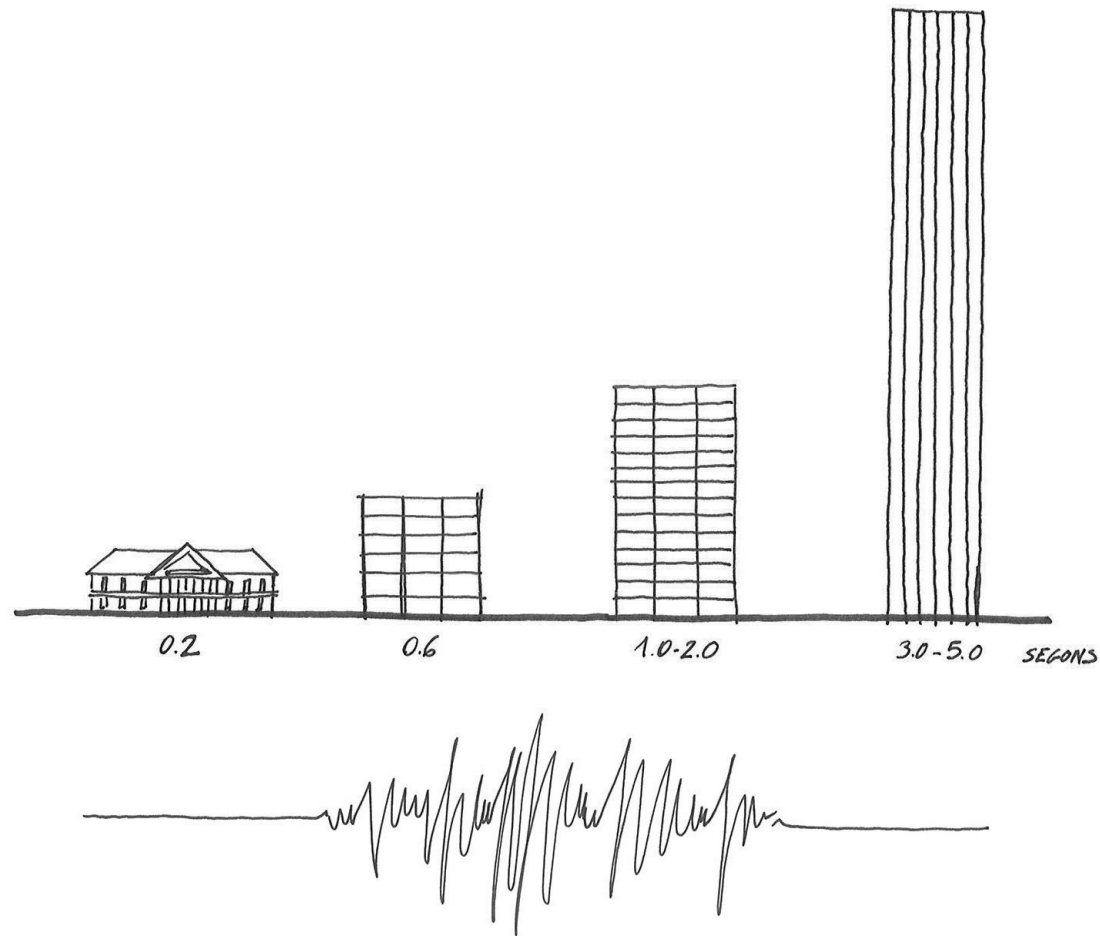
Període Natural o Freqüència Pròpia de Vibració



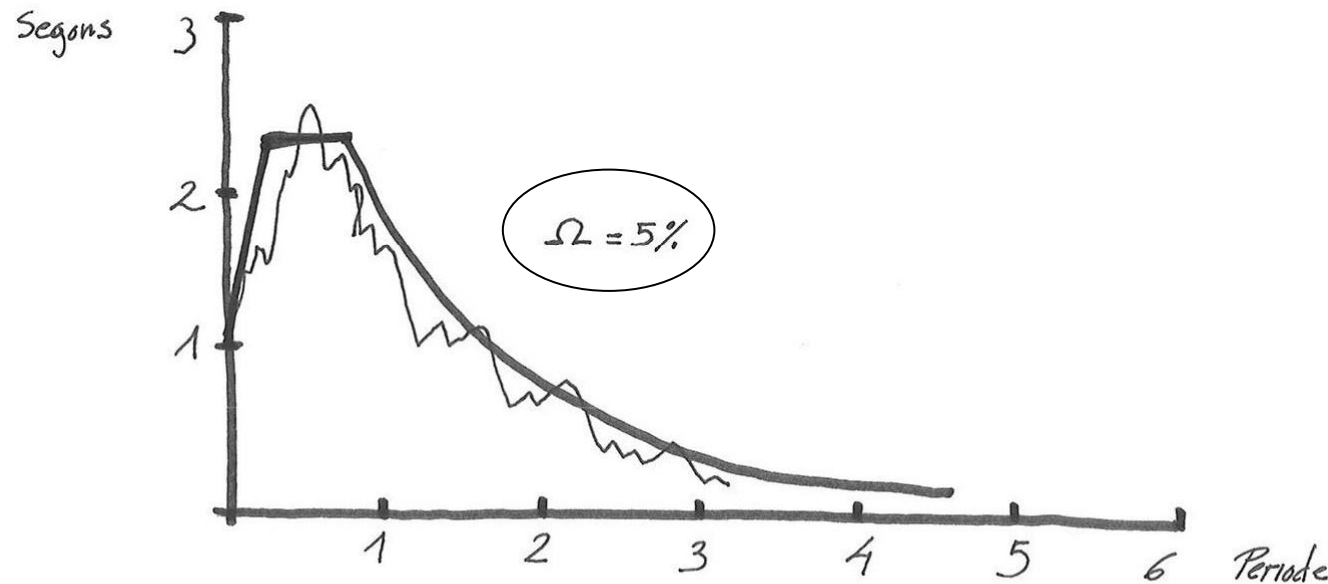
Ritz Vectors, Vectors Propis

0.4 s per a roca fins a 2 s en terrenys tous.

Ressonància: excitació propera al període natural



Espectre de resposta: acceleracions, velocitats i desplaçaments contra el període de la sol·licitació.

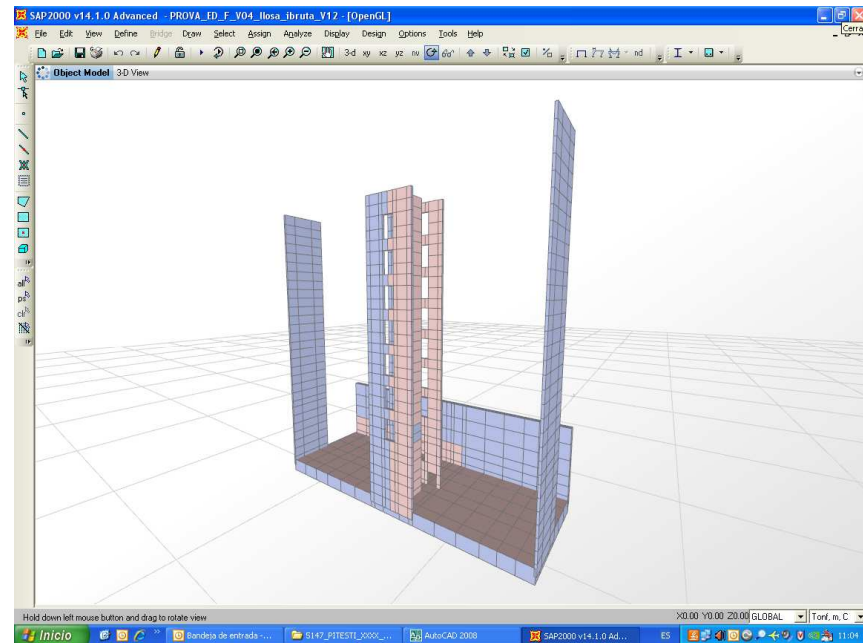
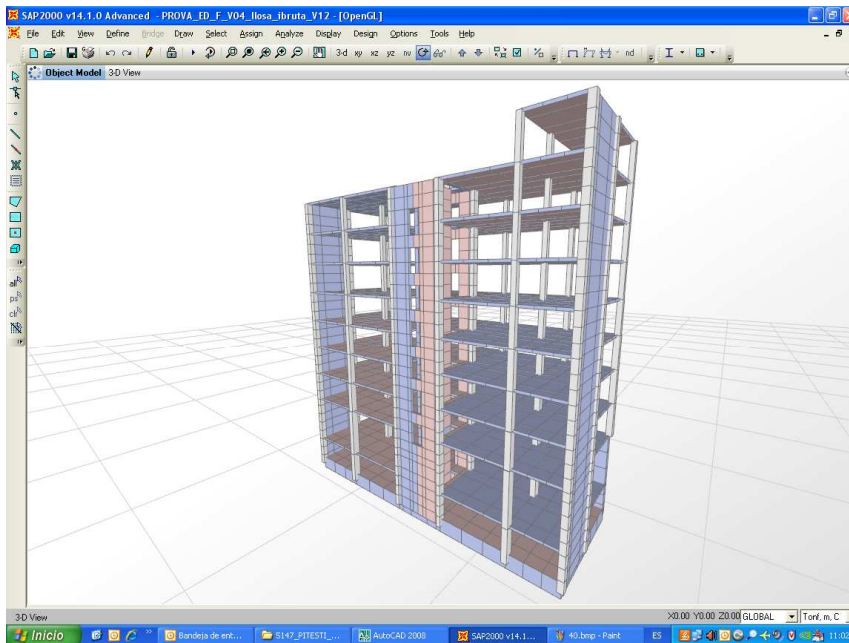


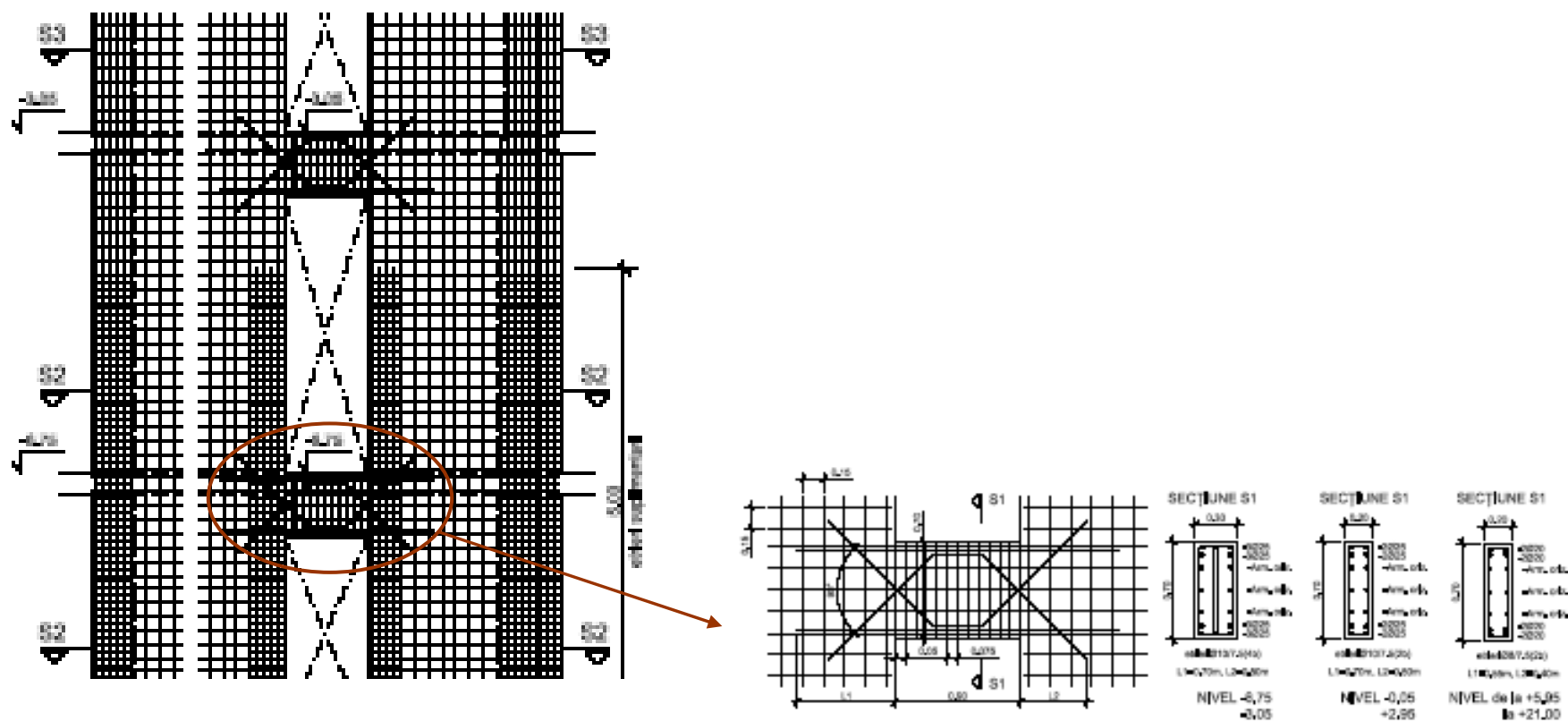
Esmorteïment: decreixement de l'amplitud de les oscil·lacions el temps.
Histèresi elàstico-plàstica, friccions en les unions estructurals, microfissures en els materials.

Histèresis: tendència d'un material a mantenir una de les seves propietats -deformació- en absència de l'estímul que l'ha provocat.

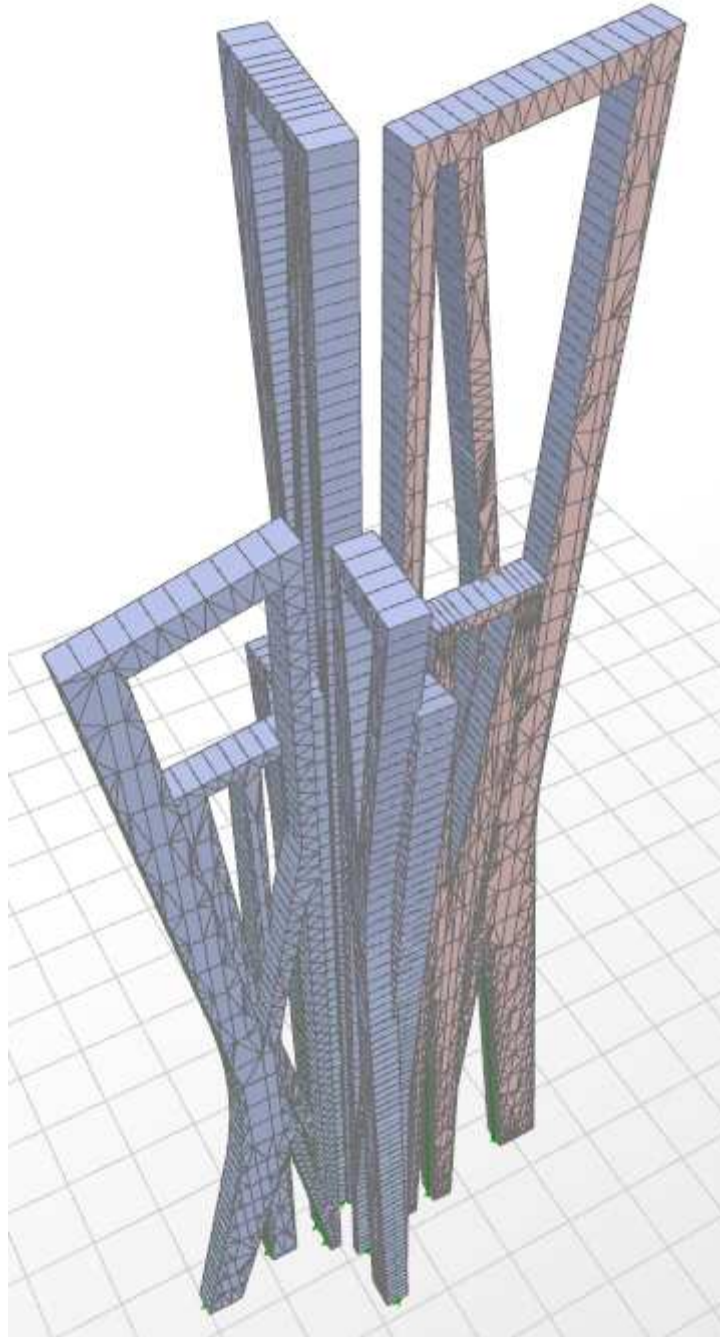
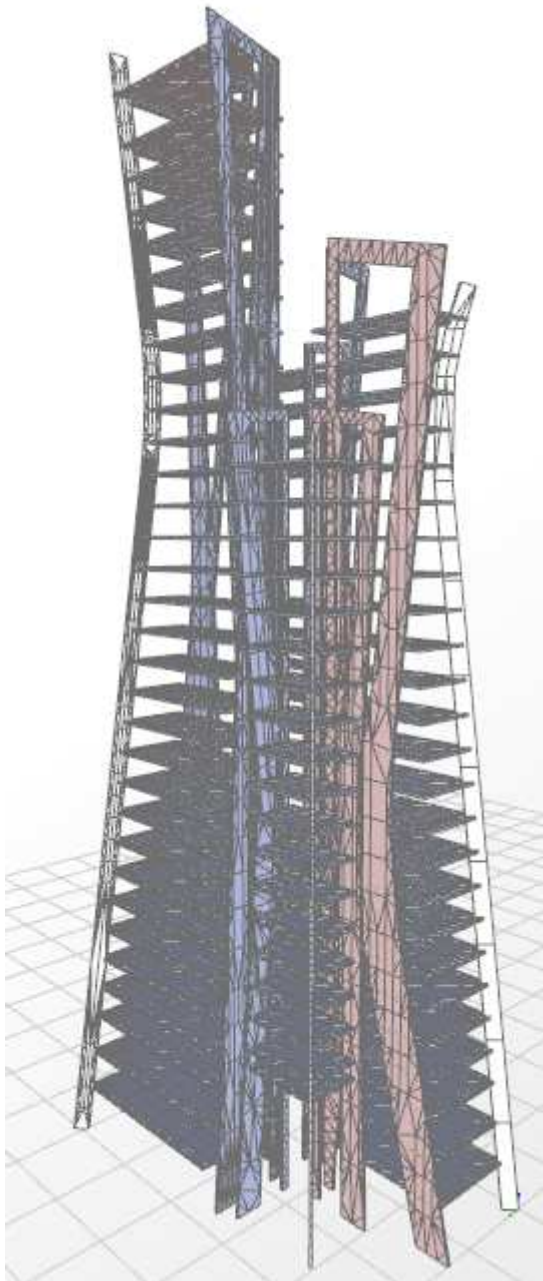
Ductilitat: mesura de la capacitat d'un material de deformar-se abans de trencar-se (contrari de **Rigidesa**)

El **disseny convencional d'estructures sismo-resistents** (NCSE-02) es basa en la redundància estructural i la ductilitat global de l'estructura, garantida aquesta per la capacitat de plastificació local de certs elements de l'estructura, típicament barres de formigó dúctils a moments, de pantalles a tallant simples o acoblades dúctils, o bé de tirants metàl·lics dúctils que suportin forces laterals.





- Constant del sistema: possibilitats de concentració en elements no previstos.
- Relació lineal amb desplaçaments: no calculables amb exactitud.
- Implica plastificació – no recuperable- de l'estructura.
- Dificultat d'aplicació tal i com es contempla en el m.m.e. En geometries no regulars, variacions de seccions, etc.



El disseny sismorresistent avançat procura reduir les accions degudes al sisme sobre l'estructura fent ús de un o varis dels següents recursos:

- i) Modificar les propietats dinàmiques de l'edifici (període fonamental, esmorteïment)
- ii) Dissipar l'energia introduïda pel sisme en el sistema de manera controlada a través de peces especialitzades

$$E=W_p+W_h+W_e$$

W_h esmorteïment viscós

W_p esmorteïment histerètic

W_e deformació elàstica i energia cinètica.

SISTEMES DE PROTECCIÓ SÍSIMICA			
SISTEMES PASSIUS	SISTEMES ACTIUS	SISTEMES HÍBRIDS	SISTEMES SEMI-ACTIUS
AÏLLAMENT DE BASE	ARRIOSTRAMENTS ACTIUS	AÏLLAMENTS ACTIUS	DISSIPADORS DE PAS (ORIFICI) VARIABLE
DISSIPADORS D'ENERGIA	TENDONS ACTIUS	OSCILADORS HÍBRIDS (ADM hybrid mass dampers)	DISPOSITIUS DE FRICCIÓ VARIABLE
OSCILADORS RESSONANTS (TDM <i>tuned mass dampers</i>)	OSCILADORS ACTIUS (ADM <i>active mass dampers</i>)		DISSIPADORS FLUID-CONTROLABLES

CONTROL PASSIU AMB AILLAMENT DE BASE

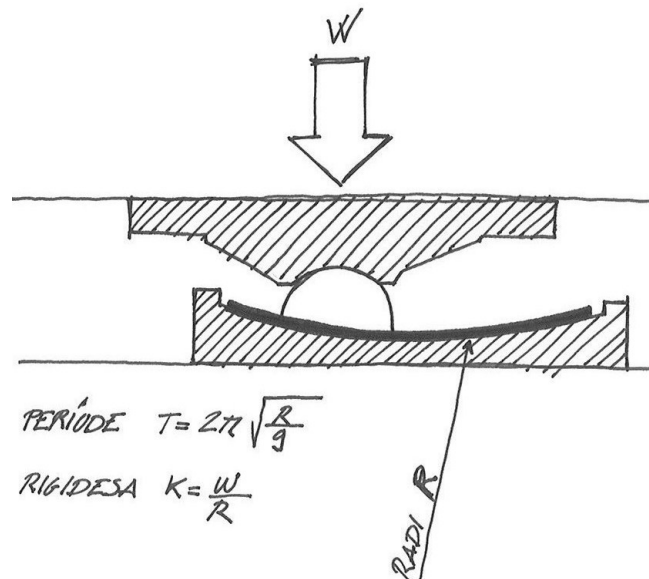
Desacoblament de l'estructura respecte del moviment del sòl interposant uns dispositius entre fonamentació i superestructura, que concentren les no linealitats en la seva base:

- 1) **Elements que treballen a fricció**, limitant la força transmesa a la superestructura a la que permet el coeficient de fregament:

Interfases de tefló i acer.

No hi ha cap força restitutiva que retorni l'edifici a la seva posició original.

↓
Sistema de lliscament sobre superfícies còncaues (aïllador pendular)



2) Elements elastòmers de gran deformació, típicament neoprè armat.

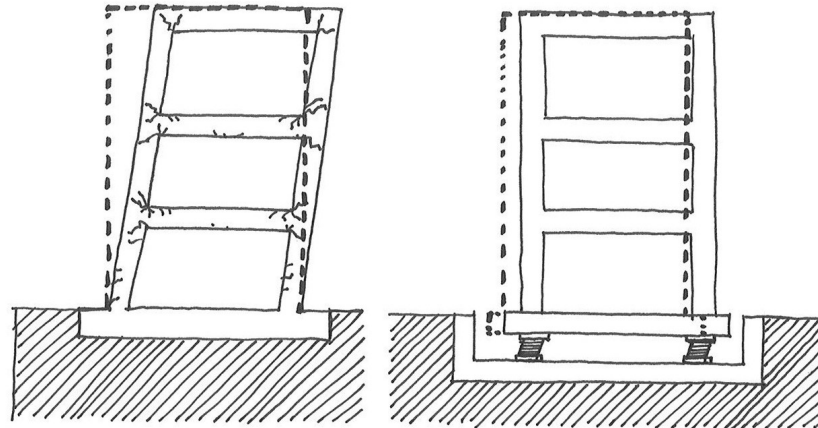
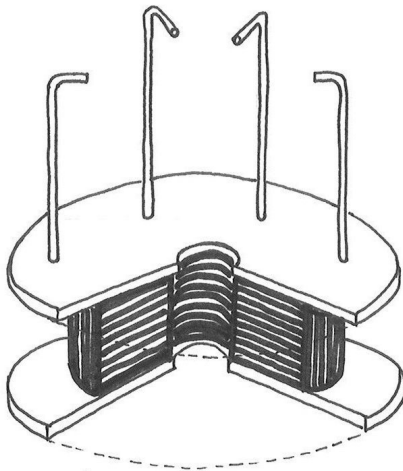
Capacitat dissipativa baixa



Introducció d'esmoreïment per limitar els desplaçaments de la superestructura i suprimir ocasionalment ressonàncies en les freqüències d'aïllament



Dissipadors de neoprè armat amb nucli de plom.





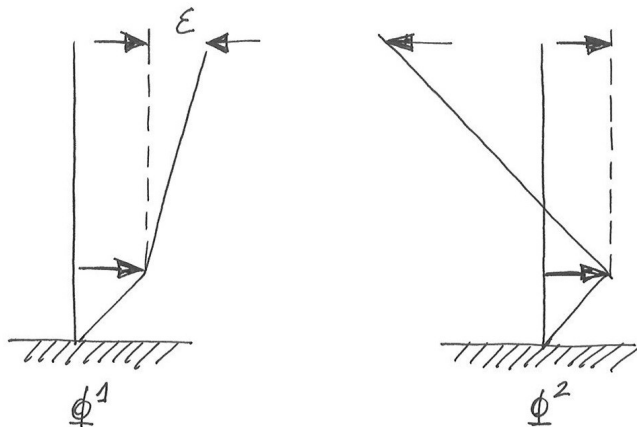
J.M. KELLY, 1990 "BASE ISOLATION: LINEAR THEORY AND DESIGN"
 J. EARTHQUAKE SPECTRA, 6, pàg 223-224.

S'ASSUMEIX:

- SUPER ESTRUCTURA VIRTUALMENT RÍGIDA
- ω_s i ω_b MOLT DISTANTS ($\epsilon = \omega_b^2 / \omega_s^2 \approx 10^{-1} \text{ a } 10^{-2}$)
- $\frac{m_s}{m_s+m_b} \ll 1$

FACTORS D'AÏLLAMENT NOTIONAL:

$$\beta_s = \frac{c_s}{2 \cdot m_s \cdot \omega_s} \quad / \quad \beta_b = \frac{c_b}{2 \cdot (m_s+m_b) \cdot \omega_b}$$



-El període fonamental del sistema s'aproxima al de l'element d'aïllament, mantenint-se la superestructura en règim elàstic, concentrant-se la totalitat dels desplaçaments en la base i resultant el desplaçament relatiu entre plantes coma una variable de segon ordre.

-En els modes superiors, amb baix coeficient de participació, deformacions relatives de la superestructura significatives, encara que sense que apareguin forts tallants de base

Adequat per a :

- a) edificis rígids
- b) de proporció baixa entre alt i ample
- c) amb possibilitats de grans moviments horitzontals
- d) sobre sols fermes.

CONTROL PASSIU AMB SISTEMES INERCIALS ACOBLATS

Els oscil·ladors ressonants, TDM (*tuned mass dumpers*) són sistemes amb un grau de llibertat, constituïts per:

- Massa oscil·lant
- Dissipador d'energia
- Element restitüiu (ressort)

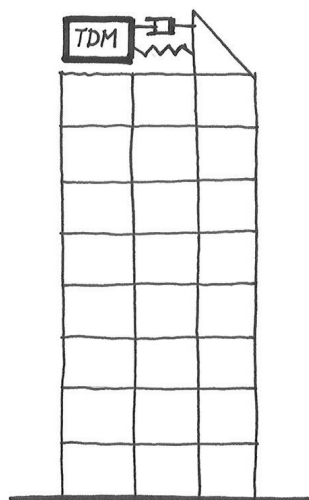
La massa de l'oscil·lador i la rigidesa del resort determinaran el període del sistema, que al coincidir amb el període natural de l'estructura reduirà la seva resposta dinàmica.

CONTROL PASSIU AMB SISTEMES INERCIALS ACOBLATS

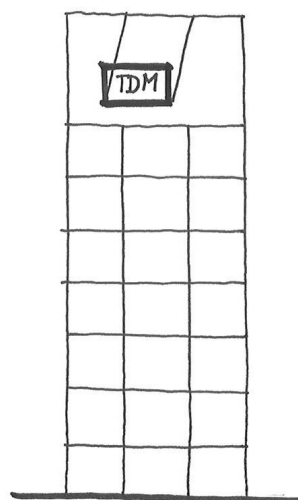
Els oscil·ladors ressonants, TDM (*tuned mass dumpers*) són sistemes amb un grau de llibertat, constituïts per:

- Massa oscil·lant
- Dissipador d'energia
- Element restitüiu (ressort)

La massa de l'oscil·lador i la rigidesa del ressort determinaran el període del sistema, que al coincidir amb el període natural de l'estructura reduirà la seva resposta dinàmica.



TDM



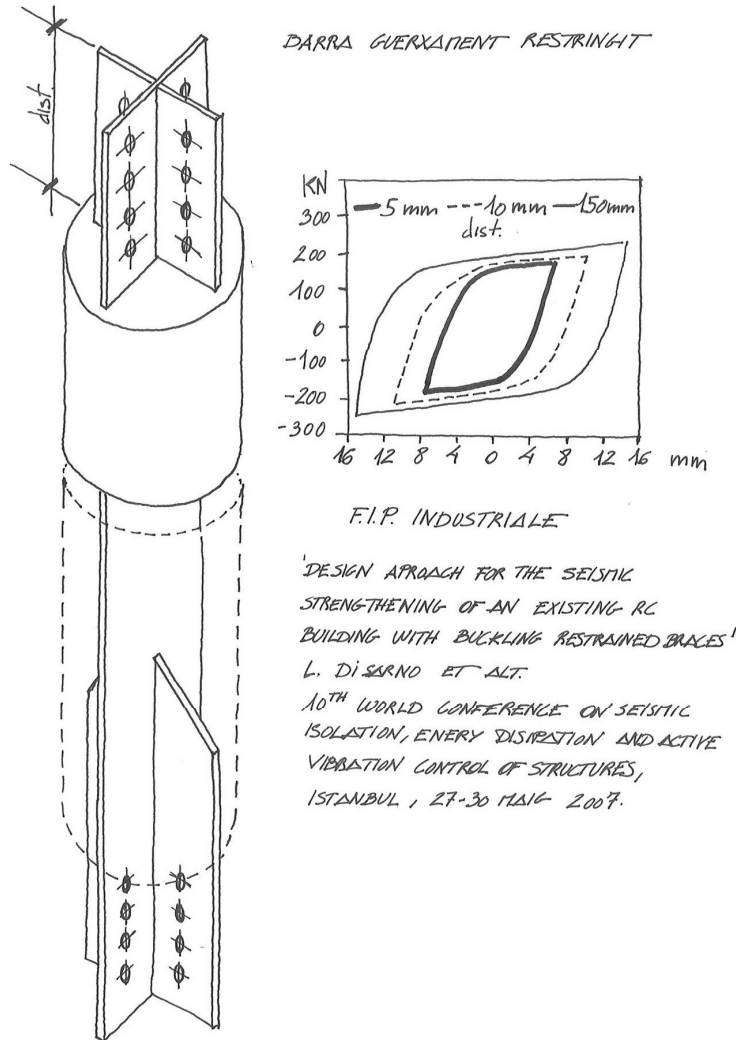
TDM PENDULAR

Efectivitat per a un rang de freqüències limitat, (proper a les fonamentals de l'edifici).

Desintonització per ampliació de les freqüències naturals de l'estructura per plastificació sota sisme sever.

CONTROL PASSIU AMB DISSIPADORS D'ENERGIA

Reducció de les forces sísmiques disposant uns elements que absorbeixen la major part d'aquesta energia, evitant que aquesta sigui dissipada pel resta de l'estructura amb resultats destructius.



Els dissipadors histerètics: basats en la plastificació d'un metall sota esforços axials, de flexió, tallant o torsió, o en la fricció entre dues superfícies.

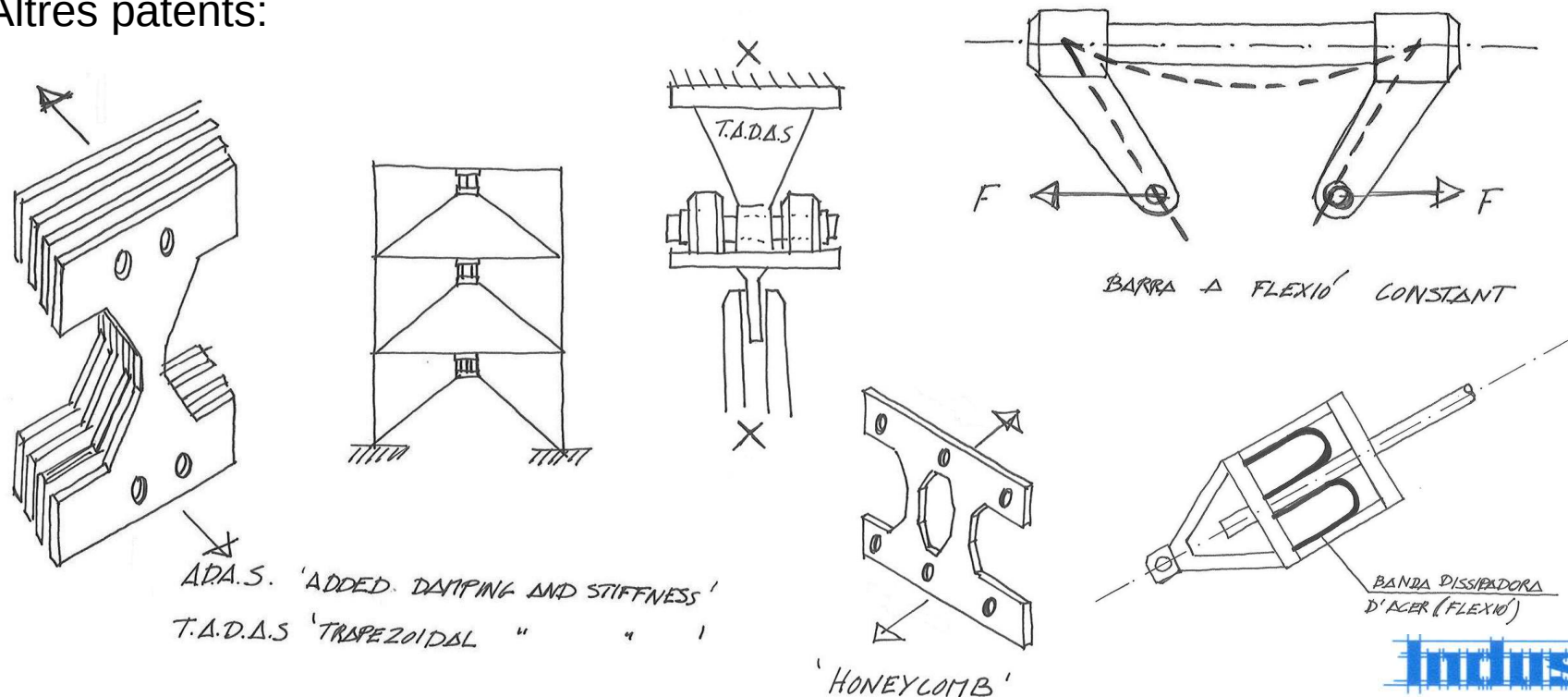
Dissipadors per axials: barres de guerxament restringit

Dissipadors per flexió: ADAS (*Added Damping And Stiffness*), formats per un conjunt de plaques en paral·lel, de gruix constant però secció variable, sotmeses a flexió. El nombre de plaques permet regular-ne el comportament.

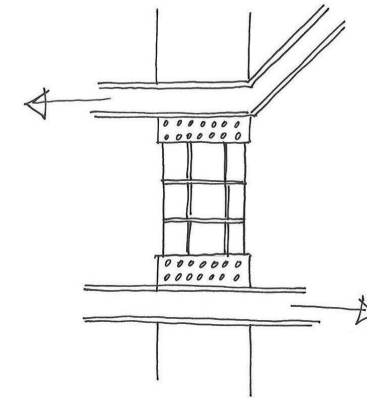
El mateix principi de plastificació per flexió per curvatura simple perpendicular al pla es emprat pel sistema TADAS (*Trapezoidal Added Damping And Stiffness*), també una sèrie de làmines d'espessor constant i geometria variable (trapezoidal) disposades en paral·lel, empotrades en un extrem i articulades en el oposat.

Un altre patent de dissipador per flexió és l'anomenat Honeycomb, per la geometria dels alleugeriments de la xapa.

Altres patents:

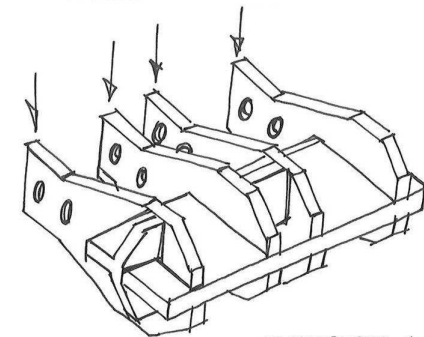


Dissipadors per tallant: Bàsicament constituïts per panells sotmesos a tallant, i estabilitzats per diferents sistemes de rigidització de l'ànima. En general s'empren acers d'alta ductilitat i baix límit elàstic amb gruixos importants per evitar abonyegaments locals, però també n'existeixen amb plaques d'aliatges d'alumini.



PANEL A TALLANT INTEGRAT
A UNA ESTRUCTURA PORTICADA.

Dissipadors per torsió: Els elements que dissipen energia per plastificació sota esforços torsionals són a dia d'avui els que tenen menys patents, però estan essent profundament estudiats, pel que cal esperar que aquesta situació canviï properament.



DISSIPADOR A TORSIÓ

Dissipadors per fricció: Basats en el fregament i el lliscament entre dues superfícies sotmeses a pressió. En general, aquests sistemes es regulen per pretesat amb clau dinamomètrica dels perns que pressionen les dues superfícies i la determinació de la força mínima de lliscament. Aquets sistemes presenten unes corbes histerètiques molt rectangulars però resulta complex parametritzar el seu comportament atès que el coeficient de fricció varia durant el desplaçament amb la velocitat i la pressió.

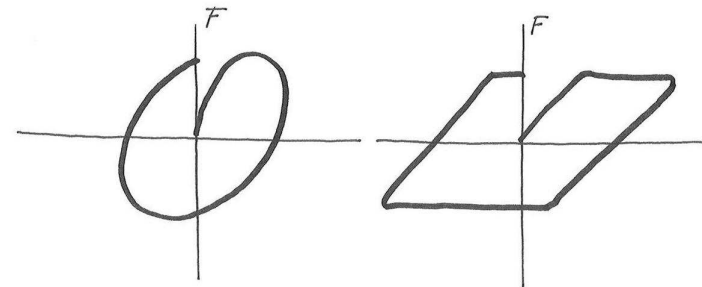
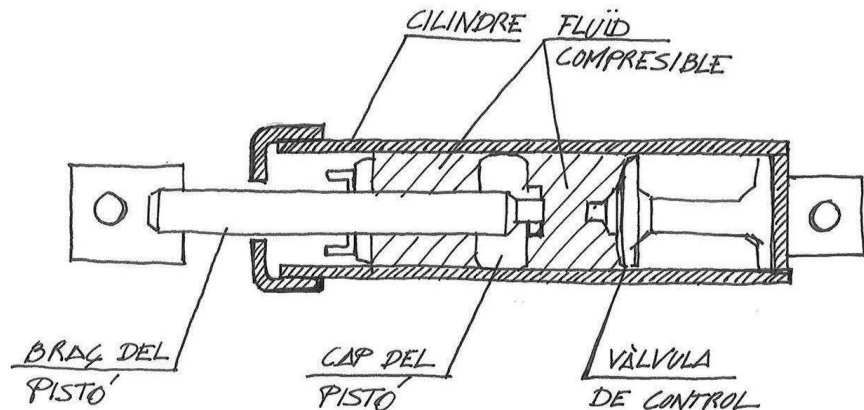
Els dissipadors velocitodependents:

Sòlids viscoelàstics: constituïts per una intercalació de làmines d'acer i capes d'un material viscoelàstic.

Fluïds viscoelàstics: dissipen l'energia per mitjà de les deformacions induïdes en un èmbol dins d'un medi altament viscos)

Dissipadors fluids-viscosos: dissipen energia forçant el pas d'un fluid viscos a través d'un orifici.

- Corbes histerètiques característicament el·líptiques.
- Comportament linealitzable: no requereixen d'una força llinda per activar la dissipació d'energia (entrada en règim plàstic).
- La reducció de forces es basa en el increment de l'esmortiment estructural; les característiques dinàmiques de l'estructura – període- no varien sensiblement.
- La reducció de la demanda d'esforços sísmics assolida per un augment de l'esmoreïment, és menor que les aconseguïdes proporcionant ductilitat.
- La mateixa constància en el període fa que no es pugin descartar comportaments ressonants.
- El comportament dels materials viscoelàstics és sensible a les variacions de temperatura, freqüència i deformació.



Disposicions dels dissipadors; sistema dual no estàndard:

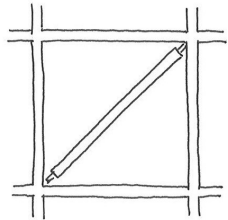
Disseny d'estructures amb control sísmic basat en l'augment de la ductilitat per dissipadors, i que consta de:

Sub-sistema estructural porticat flexible per a suportar les càrregues gravitatòries.

Sub-sistema més rígid que concentra les càrregues horitzontal.

Elements d'unió entre ambdós (*seismic links*) on es situen els dissipadors histerètics.

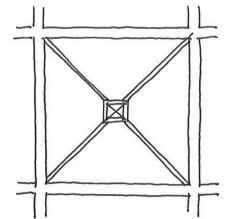
Com més especialitzat sigui cada sistema, i més gran la diferència de rigideses entre ambdós – buscant el valor màxim en el sistema dissipatiu horitzontal- millor funcionarà el conjunt, assolint en la llinda màxima d'eficàcia un sistema estructural lineal rígid sota unes càrregues de disseny previstes però dúctil a partir de la plastificació dels connectors sota uns desplaçament horitzontals determinats.



DISSIPADORS AMB LÀMINA CARBADA
VISCOELÀSTICS
BARRES DE GUERXAMENT RESTRINGIT



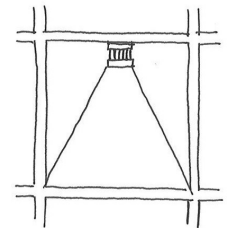
Cal procurar que les càrregues gravitatòries afectin en la menor mesura possible el sistema dissipatiu; s'instal·len un cop l'estructura vertical està acabada i carregada.



DISSIPADORS PER FRICCIÓ
PALL & MARSH



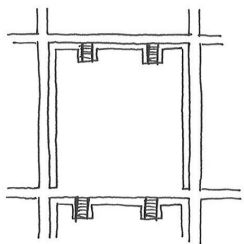
Cal minimitzar les components verticals degudes a les sobrecàrregues o fluència de les càrregues.



A.D.A.S
T.A.D.A.S
PLASTIFICACIÓ PER TALLANT

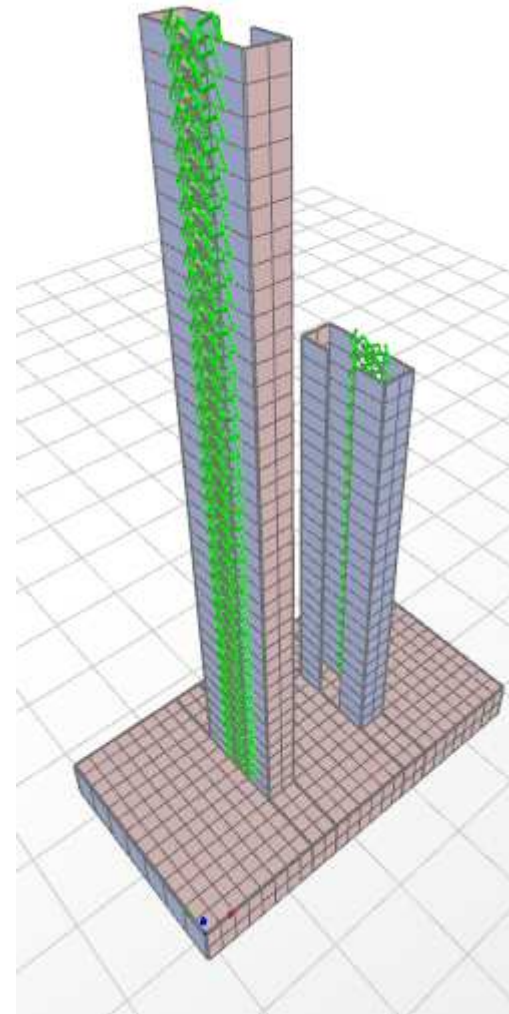
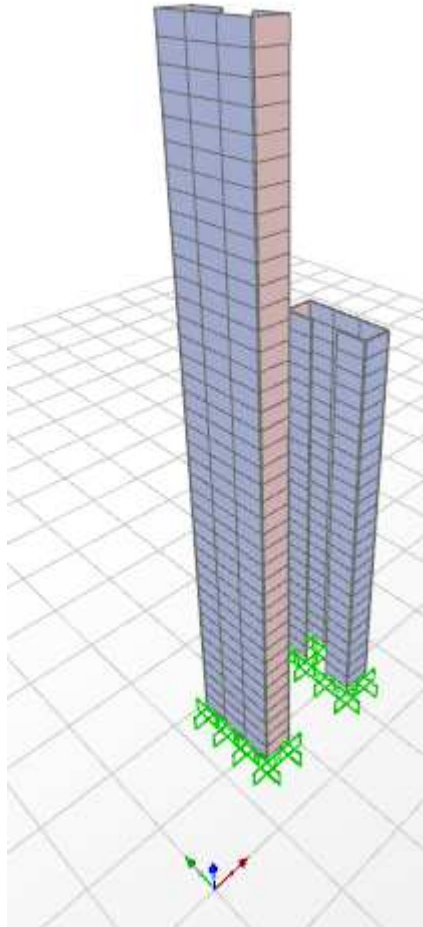
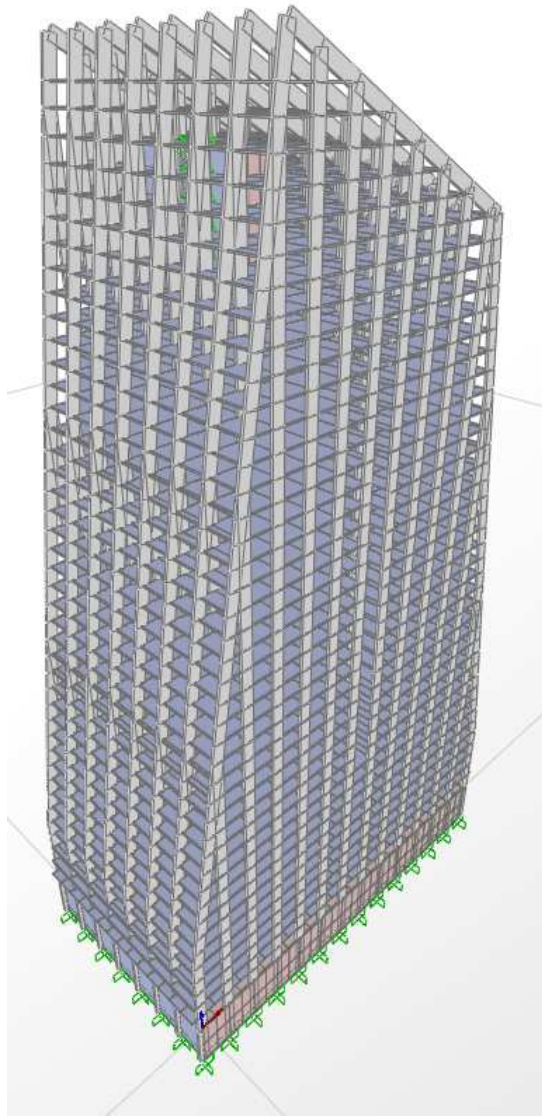


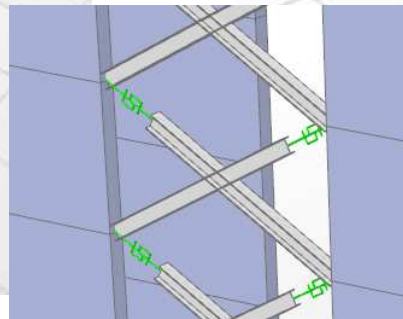
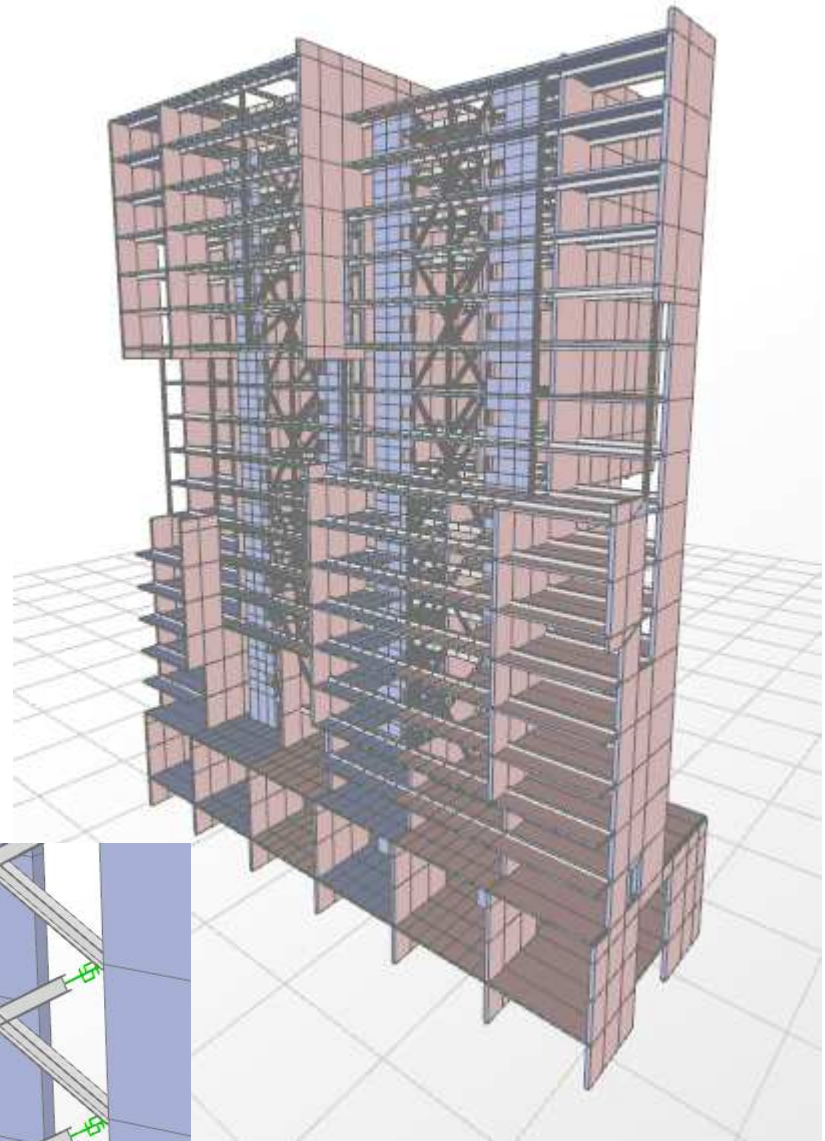
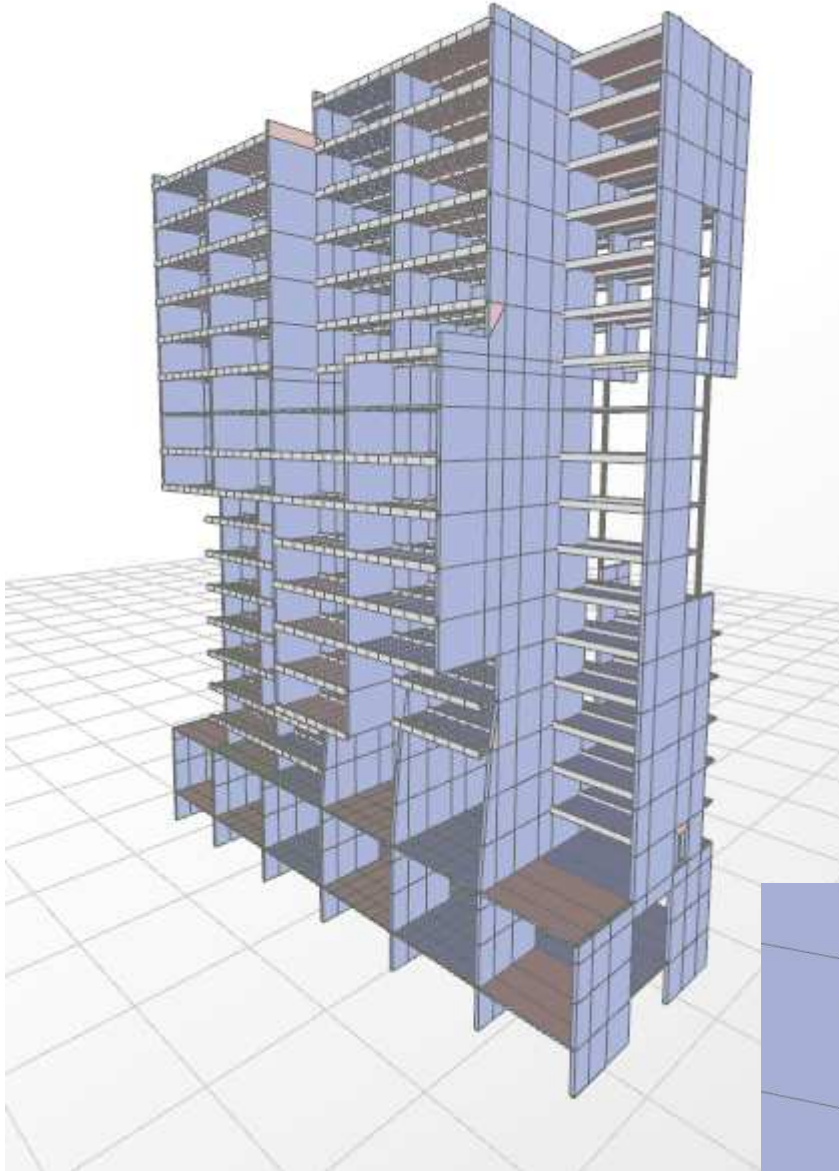
Cal considerar altres esforços horitzontals diferents del sisme –eòlics- i dissenyar els dissipadors per que només s'activin –entrin en règim plàstic- sota forces horitzontals severes.



MURS DE TALLANT AMB
DISSIPADORS "SHEAR LINK"

Aquest sistema ens permet fer una previsió molt més acurada del comportament de l'estructura amb modelitzacions assequibles –els connectors es calculen com ròtules plàstiques-, reduint les sol·licitacions sísmiques sobre l'edifici i concentrant els danys en uns elements fàcil i econòmicament reparables o substituïbles.





CONCLUSIONS: FORÇA vs. ENERGIA

El disseny sísmic convencional, basat en la resistència de l'estructura davant unes forces inercials produïdes per l'acceleració de les masses de l'edifici, presenta un problema inherent: quant més gran sigui l'acceleració, més grans seran les forces, i quan majors aquestes més resistent haurà de ser l'estructura, i conseqüentment més rígida, el que és contrari a la ductilitat.

Una estructura rígida pot ser aparentment una bona solució, perquè minimitza els desplaçaments, però ho fa a costa de grans tallants de base, i altes sol·licitacions sobre els elements estructurals.

Una alternativa a aquest plantejament, és reduir la demanda d'energia que actua sobre l'estructura, mitjançant aïllament basal, dissipació, o esmorteïment. Això permet dissenyar estructures amb comportament predictable, estables, i no degradables sota accions cícliques, però a costa de relativament grans deformacions.

Per obtenir la millor resposta amb el cost més competitiu sota sismes severos, cal integrar en el disseny aquestes consideracions, cercant noves tipologies adequades a aquest nou paradigma.

