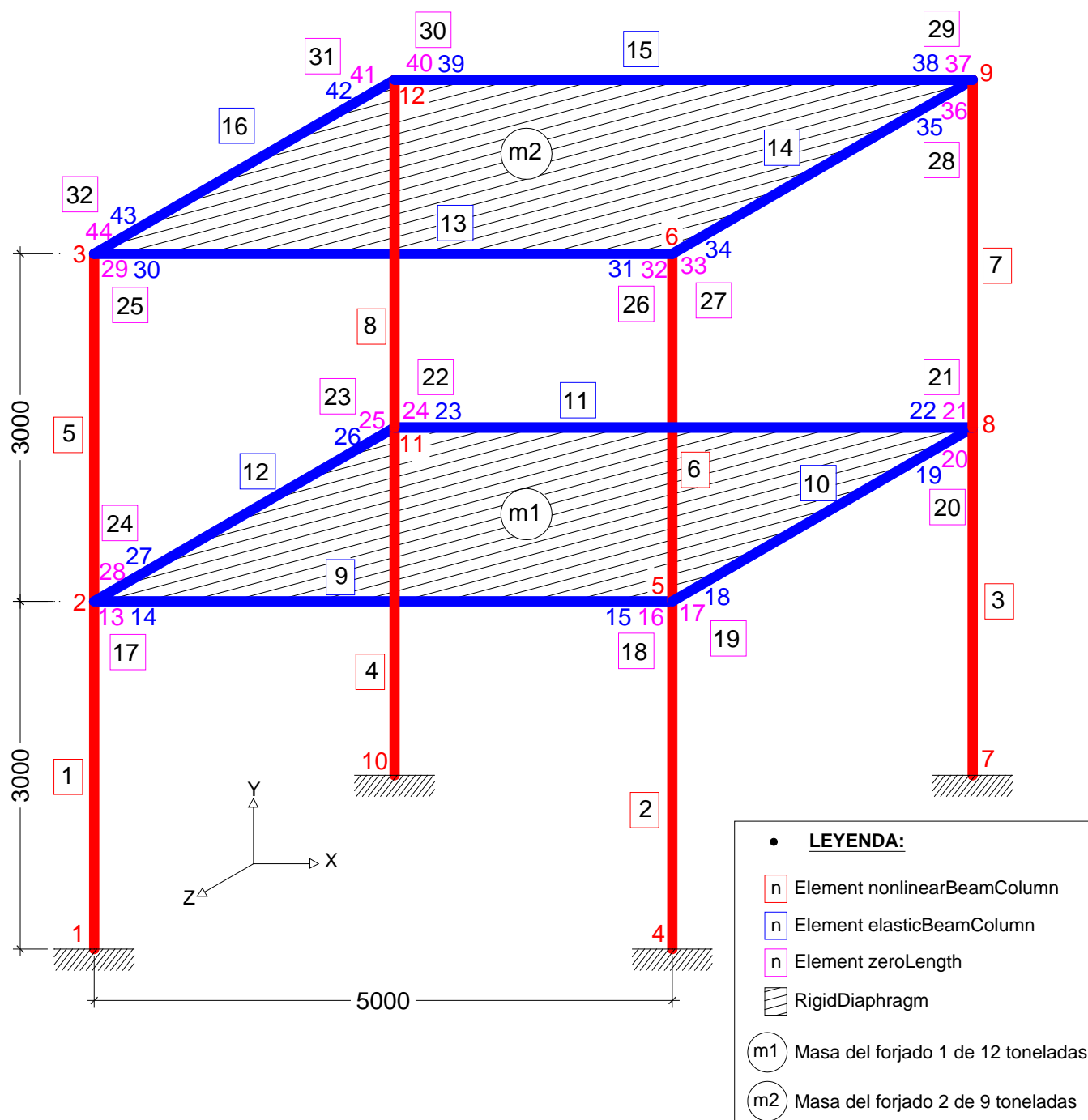


OPENSEES EJERCICIO PRÁCTICO

1. MODELO:

Tenemos la estructura siguiente que será la misma para ambos casos. Se han definido los números de los elementos (especificados por colores), nudos y masas a colocar. Las masas pueden colocarse o bien repartidas en cada pilar o bien concentradas en el centro de gravedad que coincidirá en este caso con el centro de masas.





POLITÉCNICA

2. ANÁLISIS:

- **Análisis gravitatorio.**
 - o Con las cargas verticales especificadas en las masas.
 - o Introduciendo la fuerza total progresivamente en 5 pasos (20% cada paso).
- **Análisis modal espectral.**
 - o Obtener los períodos y frecuencias para los primeros modos de vibración más representativos.
- **Análisis pushover.**
 - o Para un desplazamiento objetivo de 100 mm en la dirección X.
 - o Introduciendo el desplazamiento en 100 pasos.
 - o Asignando el nudo 3 como nudo de control.
- **Análisis dinámico en el dominio del tiempo.**
 - o Para la señal facilitada del terremoto Calitri en la dirección X.
 - o Frecuencia de muestreo de 200 Hz.
 - o Amortiguamiento del sistema tipo Rayleigh del 5%.

El amortiguamiento lo definimos en el archivo de análisis de la siguiente según lo define la doctora Silvia Mazzoni (programadora de Opensees). Para ello debemos sustituir el código que teníamos para el “Modelo de amortiguamiento” por estas líneas de código donde sólo contemplaremos un modelo de amortiguamiento más robusto.

```
# RAYLEIGH damping parameters, Where to put M/K-prop damping, switches (http://opensees.berkeley.edu/OpenSees/manuals/usermanu)
# D=$alphaM*M + $betaKcurr*Kcurrent + $betaKcomm*KlastCommit + $beatKinit*$Kinitial
set xDamp 0.05; # damping ratio
set MpropSwitch 1.0;
set KcurrSwitch 0.0;
set KcommSwitch 1.0;
set KinitSwitch 0.0;
set nEigenI 1; # mode 1
set nEigenJ 2; # mode 2
set lambdaN [eigen [expr $nEigenJ]]; # eigenvalue analysis for nEigenJ modes
set lambdaI [lindex $lambdaN [expr $nEigenI-1]]; # eigenvalue mode i
set lambdaJ [lindex $lambdaN [expr $nEigenJ-1]]; # eigenvalue mode j
set omegaI [expr pow($lambdaI,0.5)];
set omegaJ [expr pow($lambdaJ,0.5)];
set alphaM [expr $MpropSwitch*$xDamp*(2*$omegaI*$omegaJ)/($omegaI+$omegaJ)]; # M-prop. damping; D = alphaM*M
set betaKcurr [expr $KcurrSwitch*2.*$xDamp/($omegaI+$omegaJ)]; # current-K; +beatKcurr*KCurrent
set betaKcomm [expr $KcommSwitch*2.*$xDamp/($omegaI+$omegaJ)]; # last-committed K; +betaKcomm*KlastCommitt
set betaKinit [expr $KinitSwitch*2.*$xDamp/($omegaI+$omegaJ)]; # initial-K; +beatKinit*$Kini
rayleigh $alphaM $betaKcurr $betaKinit $betaKcomm; # RAYLEIGH damping
```

3. ESTRUCTURA DE HORMIGÓN:

Se modelará la estructura como si fuera de hormigón armado con todos los pilares iguales de 350x350 mm y 2Ø16 por cada cara; y las vigas de 500x350 mm con 4Ø12 en la cara superior y en la cara inferior. Las vigas estarán colocadas de canto.

Los pilares se discretizarán en secciones fibra con 30x30 fibras en cada dirección.



POLITÉCNICA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS INDUSTRIALES

Propiedades de los materiales no lineales:

```
# UNIDADES:

Unidades mm, N, s, T

# CONSTANTES GENERALES:
set g 9810.0; # Aceleración de la gravedad
set pi [expr acos(-1.0)]; # El arccoseno de -1 es el valor de pi

# MATERIAL NO LINEAL ACERO:
set ::Acero 1;
set fy 525; # Tensión de fluencia en ensayo
set Es 2.1e5; # Módulo elasticidad longitudinal
set vs 0.3; # Coeficiente de Poisson
set Gs [expr $Es/(2*($vs+1.0))]; # Módulo elasticidad transversal
set ds 7.85e-9; # Densidad del acero

# Valores recomendados para b = 0.0003; R0 = 10 - 20 ; cR1 = 0.925 ; cR2 = 0.15

uniaxialMaterial Steel02 $matTag $Fy $E $b $R0 $cR1 $cR2
uniaxialMaterial Steel02 $::Acero $fy $Es 0.0003 18.5 0.925 0.15 ;

# MATERIAL NO LINEAL DEL HORMIGÓN:
set ::Hormigon 2;
set Ec 30000; # Módulo elasticidad longitudinal
set fc -25.0; # Tensión característica a los 28 días
# (Negativo por que la compresión es negativa para OpenSees)
set epsc [expr 2.0*$fc/$Ec]; # Deformación para la tensión característica
set fcu -43.0; # Tensión de rotura en ensayo
set epscu [expr 2.0*$fcu/$Ec]; # Deformación para la tensión de rotura
set ft 2.8; # Tensión de tracción en ensayo
set Ets [expr 0.1*$Ec]; # Tensión para la pérdida de rigidez
set beta 0.1; # Radio entre la pendiente de descarga y la pendiente inicial
set vc 0.2; # Coeficiente de Poisson
set Gc [expr $Ec/(2*($nuc+1.0))]; # Módulo elasticidad transversal
set dc 2.4e-9; # Densidad del hormigón

uniaxialMaterial Concrete02 $::Hormigon $fc $epsc $fcu $epscu $beta $ft $Ets

# DEFINICIÓN DE LA RÓTULA EN VIGAS:
set ::Muelle 3;
set Lp 500.0; # Longitud de plasticidad concentrada
# Podemos considerarla igual al canto de la sección
set My [expr 100.09e6]; # Momento de fluencia
set Xy [expr 0.0078/$Lp]; # Rotación de fluencia
set Xu [expr 0.0437/$Lp]; # Rotación última
set Ko [expr $My/$Xy]; # Rigidez inicial

set s1p $My;
set e1p $Xy;
set s2p $My;
set e2p $Xu;

# Definimos una ley de comportamiento bilineal marcando las coordenadas positivas y negativas
uniaxialMaterial Hysteretic $matTag $s1p $e1p $s2p $e2p $s1n $e1n $s2n $e2n $pinchX $pinchY $damage1 $damage2 $beta
uniaxialMaterial Hysteretic $::Muelle $s1p $e1p $s2p $e2p -$s1p -$e1p -$s2p -$e2p 1 1 0 0 0.4
```



POLITÉCNICA

4. ESTRUCTURA DE ACERO:

Se modelará la estructura como si fuera de acero con todos los pilares iguales de HEB-200 y las vigas IPE-220 colocadas de canto.

Los pilares se discretizarán en secciones fibra con 4x2 fibras cada rectángulo compuesto del perfil como vimos en clase. La inercia fuerte de los perfiles de los pilares estará orientada en la dirección X. Esto quiere decir que la inercia alrededor del eje Z local de la sección debe coincidir con el eje Z global.

Propiedades de los materiales no lineales:

```
# UNIDADES:

Unidades mm, N, s, T

# CONSTANTES GENERALES:
set g 9810.0;           # Aceleración de la gravedad en mm/s^2
set pi [expr acos(-1.0)]; # El arccoseno de -1 es el valor de pi

# MATERIAL NO LINEAL ACERO:
set ::Acero 1;
set fy 355;             # Tensión de fluencia en ensayo
set Es 2.1e5;           # Módulo elasticidad longitudinal
set vs 0.3;             # Coeficiente de Poisson
set Gs [expr $Es/(2*($vs+1.0))]; # Módulo elasticidad transversal
set ds 7.85e-9;         # Densidad del acero

# Valores recomendados para b = 0.0003; R0 = 10 - 20 ; cR1 = 0.925 ; cR2 = 0.15

#uniaxialMaterial Steel02 $matTag $fy $Es $b $R0 $cR1 $cR2
uniaxialMaterial Steel02 ::Acero $fy $Es 0.0003 18.5 0.925 0.15

# DEFINICIÓN DE LA RÓTULA EN VIGAS:
set ::Muelle 2;
set Lp 220.0;           # Longitud de plasticidad concentrada
                        # Podemos considerarla igual al canto de la sección
set My [expr 101.175e6]; # Momento de fluencia
set Xy [expr 0.00158/$Lp]; # Rotación de fluencia
set Xu [expr 0.0853/$Lp]; # Rotación última
set Ko [expr $My/$Xy];   # Rigidez inicial

set s1p $My;
set e1p $Xy;
set s2p $My;
set e2p $Xu;

# Definimos una ley de comportamiento bilineal marcando las coordenadas positivas y negativas
#uniaxialMaterial Hysteretic $matTag $s1p $e1p $s2p $e2p $s1n $e1n $s2n $e2n $pinchX $pinchY $damage1 $damage2 $beta
uniaxialMaterial Hysteretic ::Muelle $s1p $e1p $s2p $e2p -$s1p -$e1p -$s2p -$e2p 1 1 0 0 0.4
```