



**Patricio Palacios B.**

Autor Proyecto de Titulación

Contacto  
Teléfono: 0960773618  
Correo: pxpalacios@jepengineering.com  
ppalacios92@gmail.com



**Carlos Celi S.**

Director Proyecto de Titulación

Contacto  
Teléfono: 0987931842  
Correo: caceli@puce.edu.ec

**ANÁLISIS DE FRAGILIDAD PARA LA TIPOLOGÍA DE EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO HECHO EN SITIO CON MAMPOSTERÍA DE RELLENO Y LOSAS PLANAS MACIZAS O ALIVIANADA (CR+CIP / LFLSINF + DUC: 4, 6) CONSIDERANDO EFECTOS DE TORSIÓN CON BASE A MÉTODOS ESTÁTICOS DIRECTOS ENMARCADO EN EL PROYECTO TREQ-GEM**

Palacios Patricio (1)  
Celi Carlos (2)

(1) Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,  
Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Sangolquí, Ecuador.

(2) Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Departamento de Ingeniería Civil, Quito, Ecuador.



**ResearchGate** | Patricio Palacios (researchgate.net)



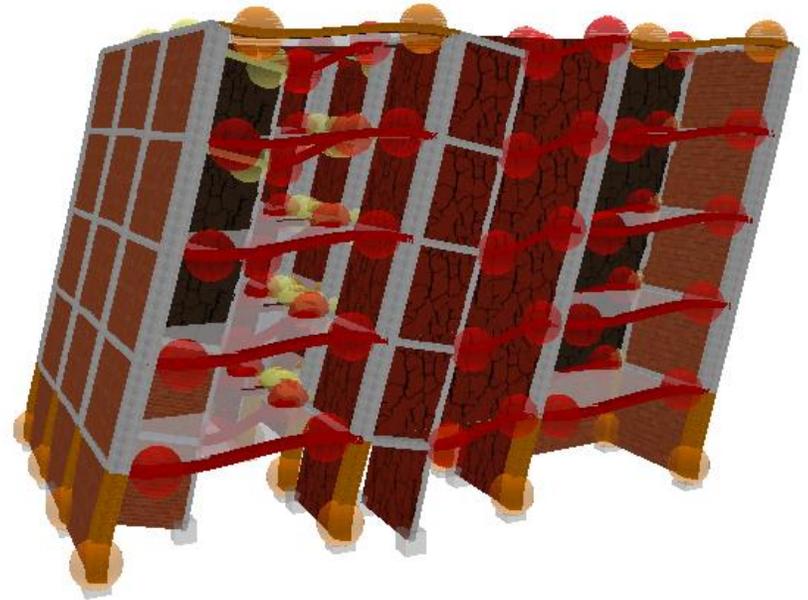
**ResearchGate** | Carlos Celi (researchgate.net)



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Contenido

1. Justificación & Objetivos
2. Descripción de la Tipología 4
3. Mamposterías
4. Calibración matemática de la tipología
5. Daño en edificaciones
6. Criterio para filtrado de curvas
7. Puntos notables de desempeño
8. ATC40 & Amenaza
9. Curvas de fragilidad
10. Conclusiones & Recomendaciones



# Justificación

Este trabajo es una contribución al análisis de fragilidad con base a métodos estáticos directos de las edificaciones pertenecientes a la tipología 4 y aporta al análisis del riesgo sísmico en un área urbana situada en una zona de alta sismicidad enmarcado en el proyecto de la Fundación GEM. Además, con los resultados finales, se pretende profundizar y pulir las métricas de riesgo calculadas en el mencionado proyecto para la Ciudad de Quito

[\(PDF\) Proyecto TREQ - Reporte D261: Evaluación de Riesgo Sísmico para el Distrito Metropolitano de Quito \(researchgate.net\)](#)



Training and Communication for  
Earthquake Risk Assessment  
TREQ Project

**Evaluación de Riesgo Sísmico para  
el Distrito Metropolitano de Quito**

Entregable 2.6.1 – versión 0.1.0



**Global  
Earthquake  
Model (GEM)  
Foundation**

[www.globalquakemodel.org](http://www.globalquakemodel.org)

Evaluación del riesgo sísmico para  
el Distrito Metropolitano de Quito

## Objetivo General

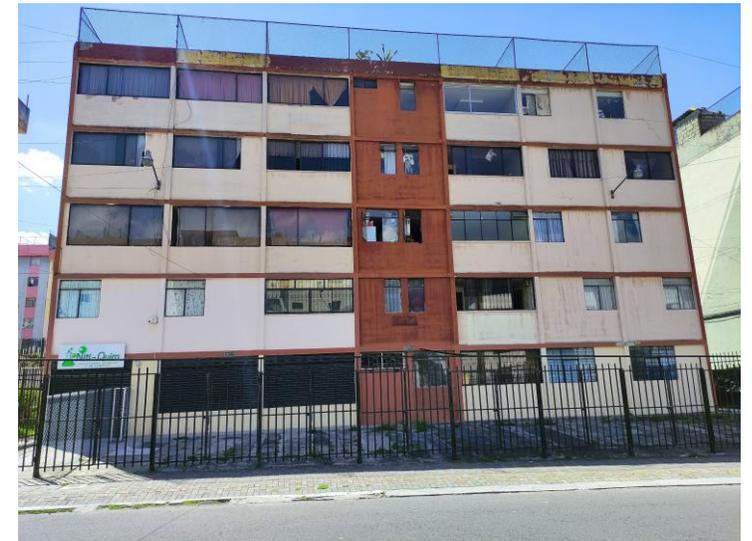
Realizar el análisis de fragilidad de la tipología 4 considerando los efectos de torsión en planta con base a métodos estáticos directos.

## Objetivos Específicos

- Generar las permutaciones necesarias que contemplen la variabilidad de la tipología (CR+CIP / LFLSINF + DUC: 4, 6) con la consideración del aporte no lineal de la mampostería dentro de la capacidad resistente lateral de la estructura.
- Calcular las curvas de capacidad resultantes de las permutaciones generadas con el fin de determinar las curvas características máximas, mínimas y medias.
- Determinar los espectros con base a las aceleraciones máximas esperadas en el estrato competente PGA (Peak Ground Acceleration), por sus siglas en inglés, para los periodos de retorno desde 25 a 475 años en intervalos de 10 años con variaciones de suelo tipo C y D.
- Verificar la existencia de la intersección entre el espectro de capacidad y espectro de capacidad para las diferentes intensidades determinadas.
- Realizar el análisis probabilístico empleando la metodología Hazus con base en el proceso de simulación de Monte Carlo para obtener el nivel de daño sísmico probable de la estructura y representarlo mediante curvas de fragilidad

## Tipología 4

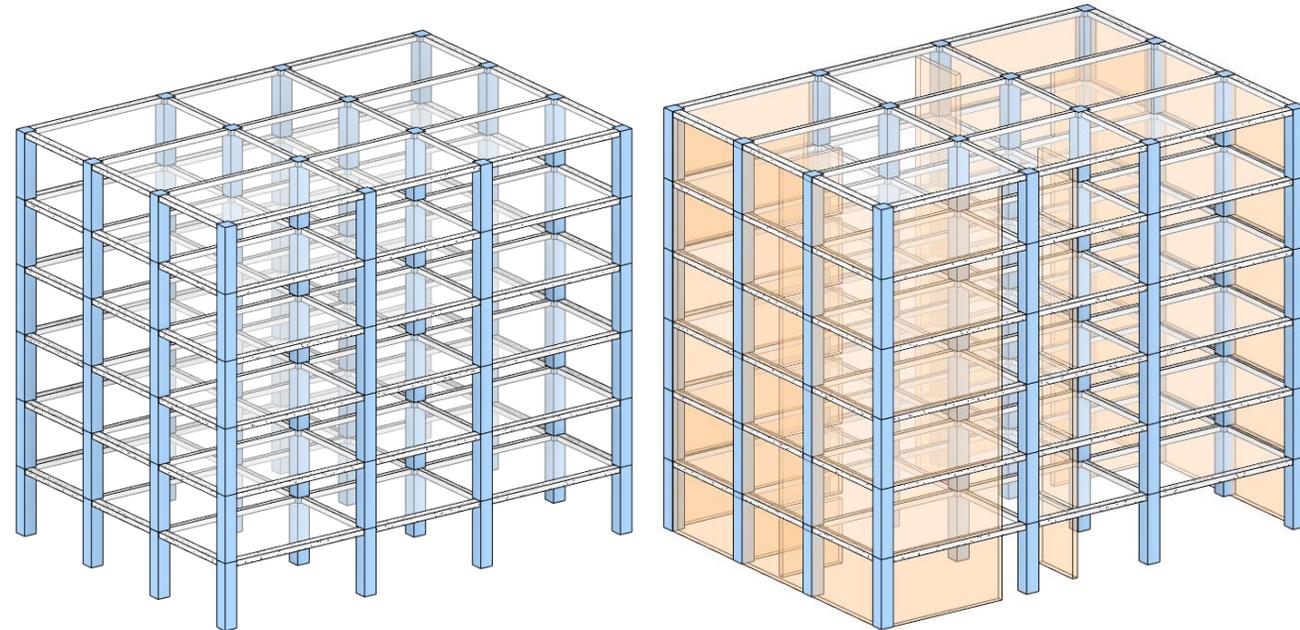
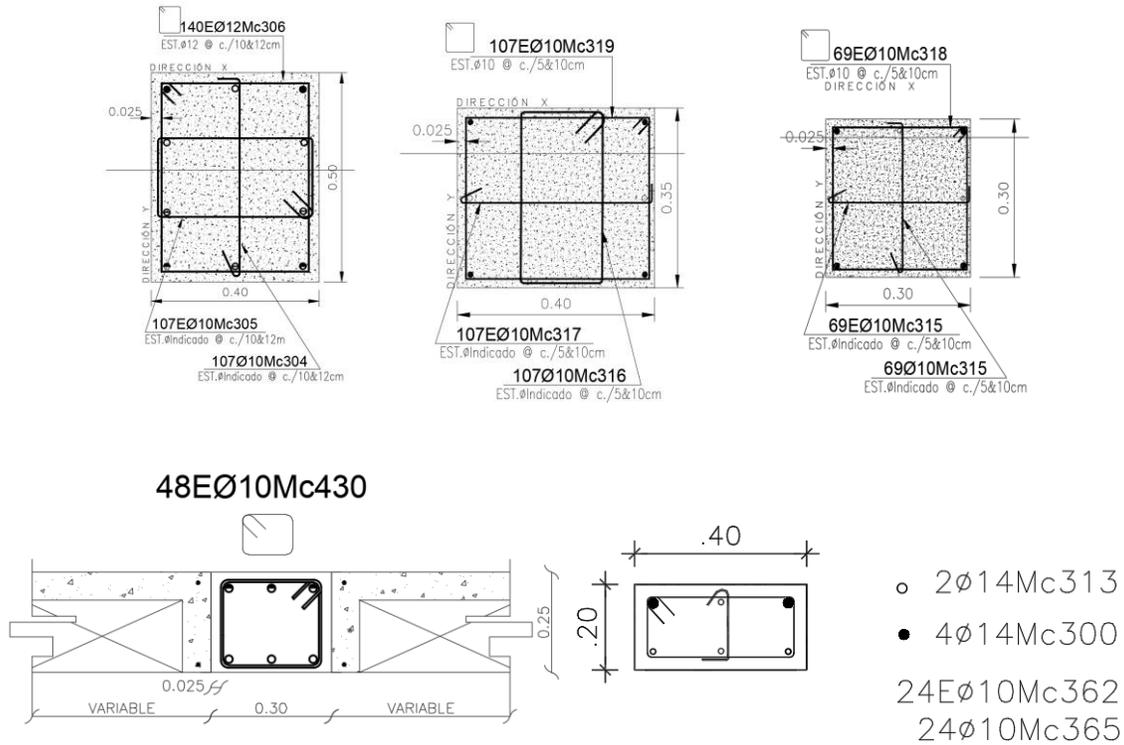
La tipología 4 comprende edificaciones de cuatro a seis pisos con un sistema resistente a carga lateral basado en pórticos de hormigón, estos se encuentran rellenos en su mayoría por mampostería, la cual provoca un comportamiento estructural diferente al que se obtendría si se considera solamente el aporte de los pórticos; el sistema de entrepiso está basado en losas macizas de hormigón donde se encuentran las vigas embebidas. Esta tipología presenta predominantemente una falla frágil en la base de las columnas toda vez que las mamposterías alcanzan su capacidad límite ante la sollicitación sísmica, debido a la baja relación de rigidez entre vigas y columnas, la reducida capacidad a cortante de las secciones y la distribución irregular de mamposterías en planta, según indica [Celi & Pantoja \(2017\)](#).



Palacios & Celi (2022)

# Tipología 4

Algunas de las secciones utilizadas en los diseños estructurales de la documentación facilitada por el CAE-P se pueden visualizar seguidamente.



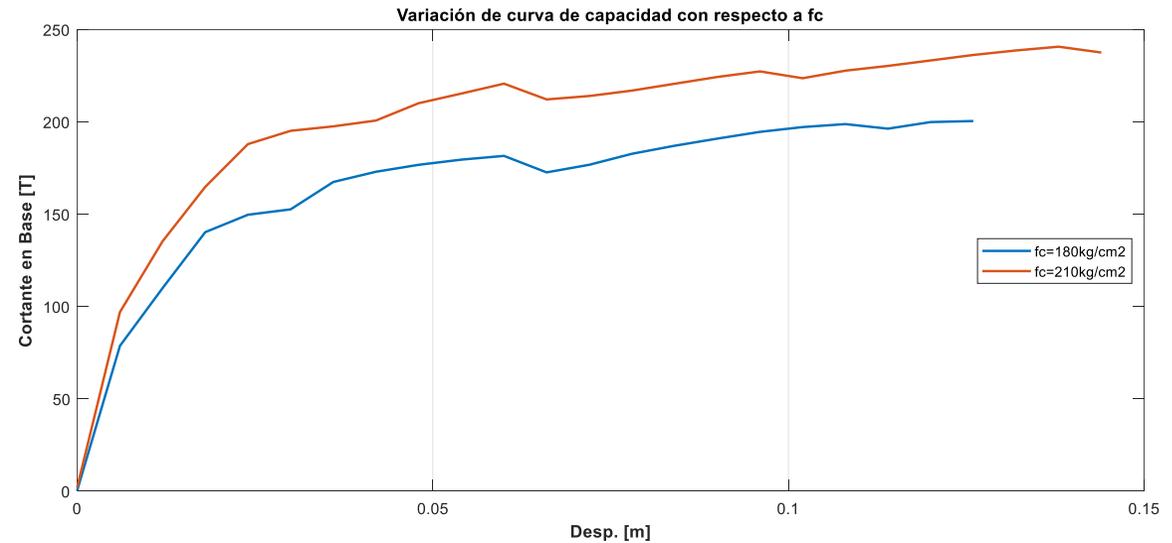
Palacios & Celi (2022)

# Tipología 4

Se buscó determinar la influencia de las mamposterías de relleno en el análisis de fragilidad de la tipología analizada, por lo que fue necesario considerar los efectos torsionales que provoca la distribución irregular de estas en la estructura



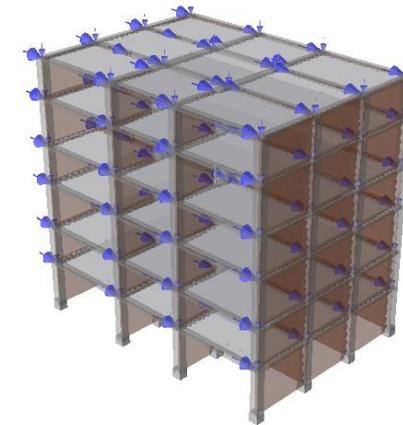
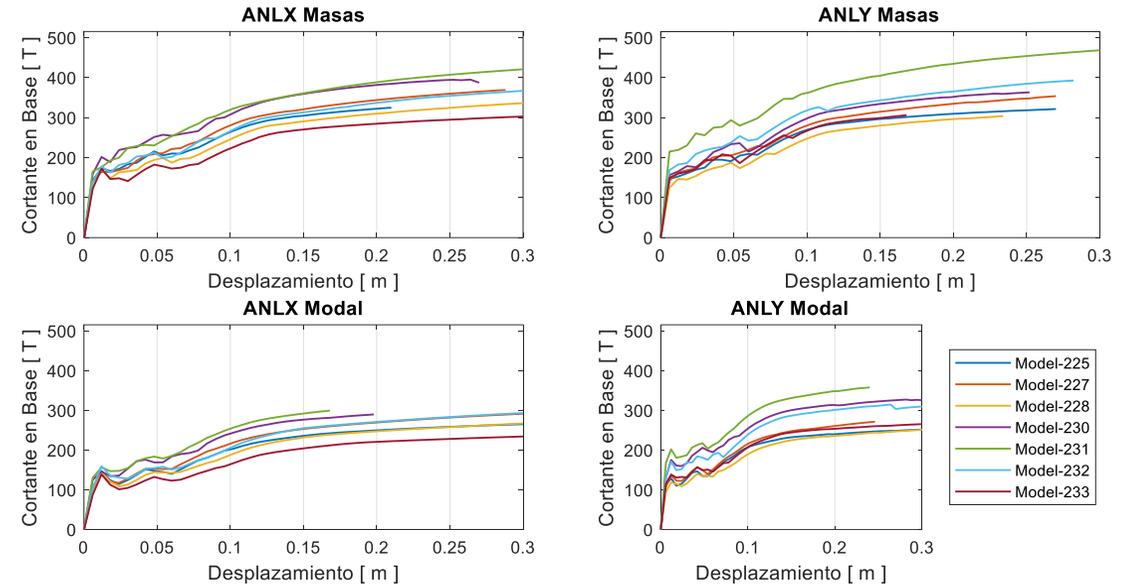
Modelo 073



Palacios & Celi (2022)

## Tipología 4

Al tener una contribución alta de torsión por la forma irregular de distribución de mampostería, esta investigación fue realizada utilizando un patrón de cargas definido no solo por el primer modo de vibración, sino que se realizó las modelaciones correspondientes para encontrar la respuesta con la forma de fuerzas del segundo modo de vibración y las formas de fuerzas que sean directamente proporcionales a las masas asignadas en dirección X y dirección Y; de esta forma se considerará los comportamientos posibles de la tipología analizada debido a la alta variabilidad que se maneja desde el enfoque de comportamiento estructural con el fin de escoger las curvas de capacidad que se encuentren dentro de un rango probable de ocurrencia.

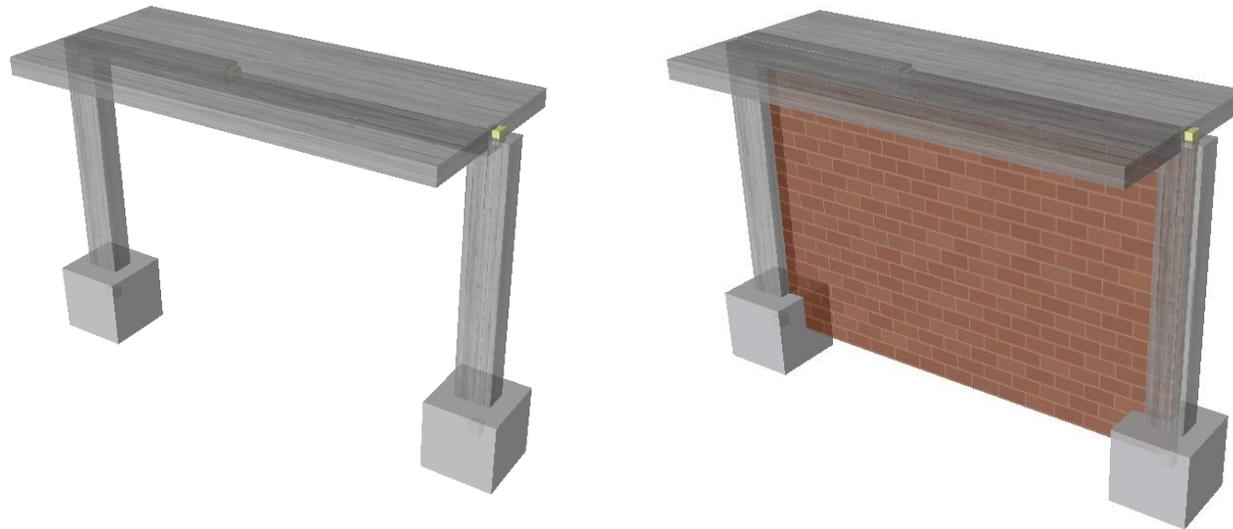


Modelo 129

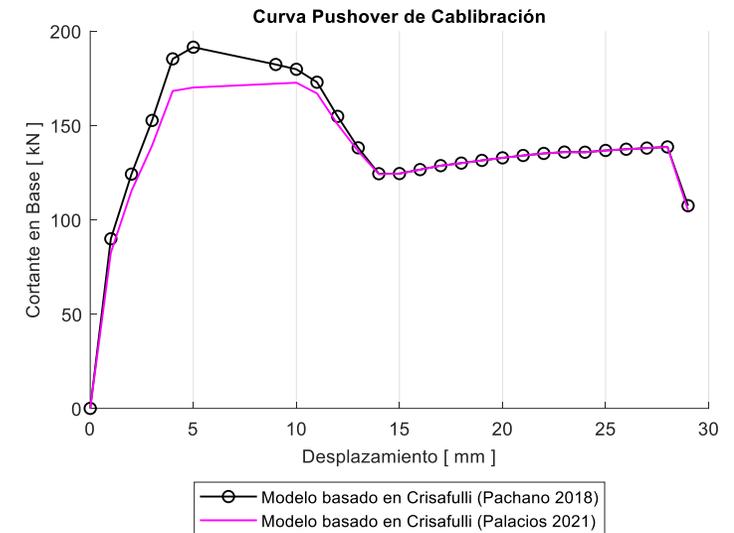
Palacios & Celi (2022)

# Mamposterías

El modelo adoptado para las mamposterías de relleno se basa en la investigación realizada por [Pachano \(2018\)](#) y [Albuja & Pantoja \(2017\)](#) donde se utilizan los resultados obtenidos en las calibraciones de modelos mediante el software SeismoStruct v2020 y el empleo del modelo de puntales de [Crisafulli \(1997\)](#)

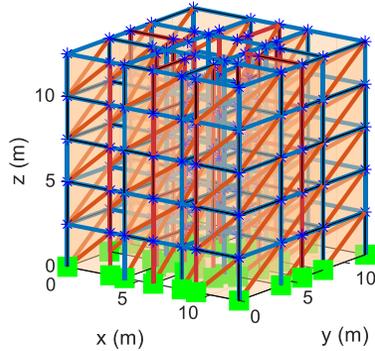


[Palacios & Celi \(2022\)](#)

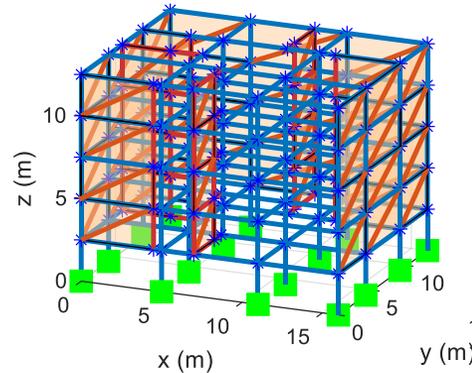




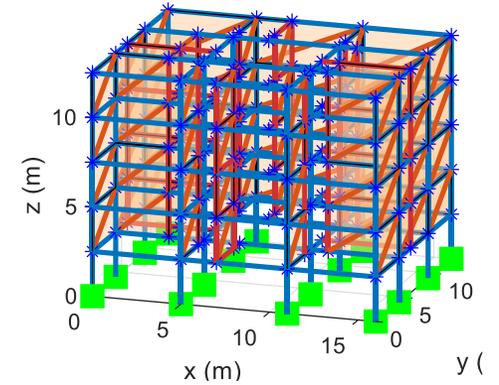
# Tipología 5 pisos



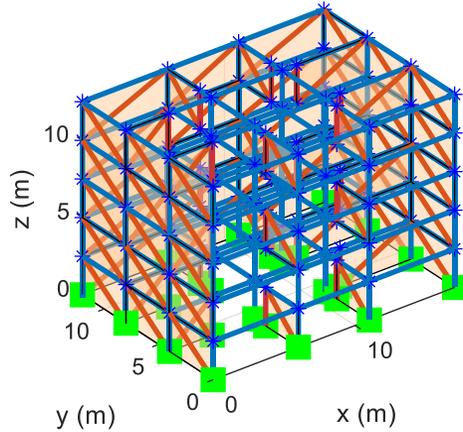
Modelo 003



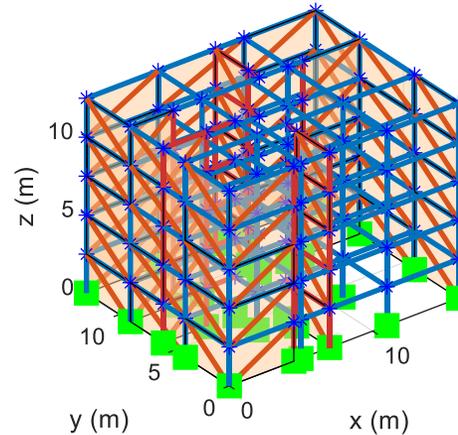
Modelo 038



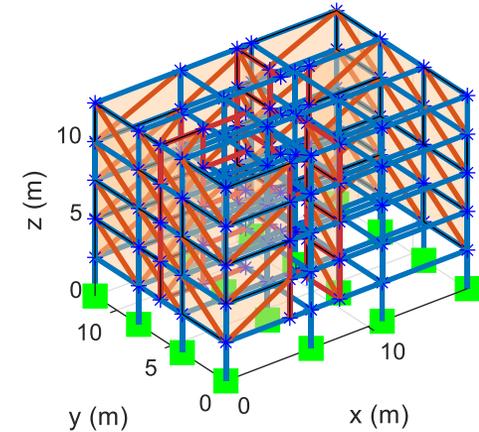
Modelo 051



Modelo 025



Modelo 069



Modelo 079

Palacios & Celi (2022)

## Tipología 5 pisos



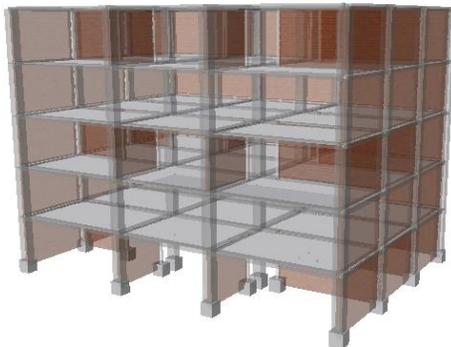
Modelo 003



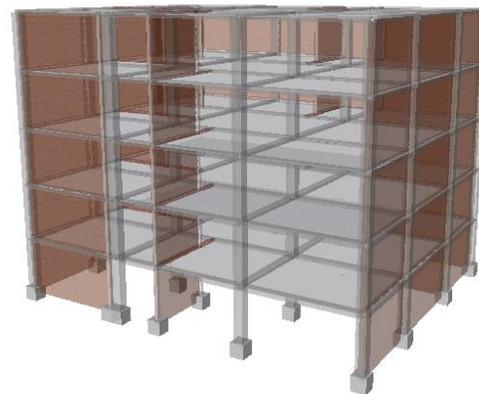
Modelo 038



Modelo 051



Modelo 025



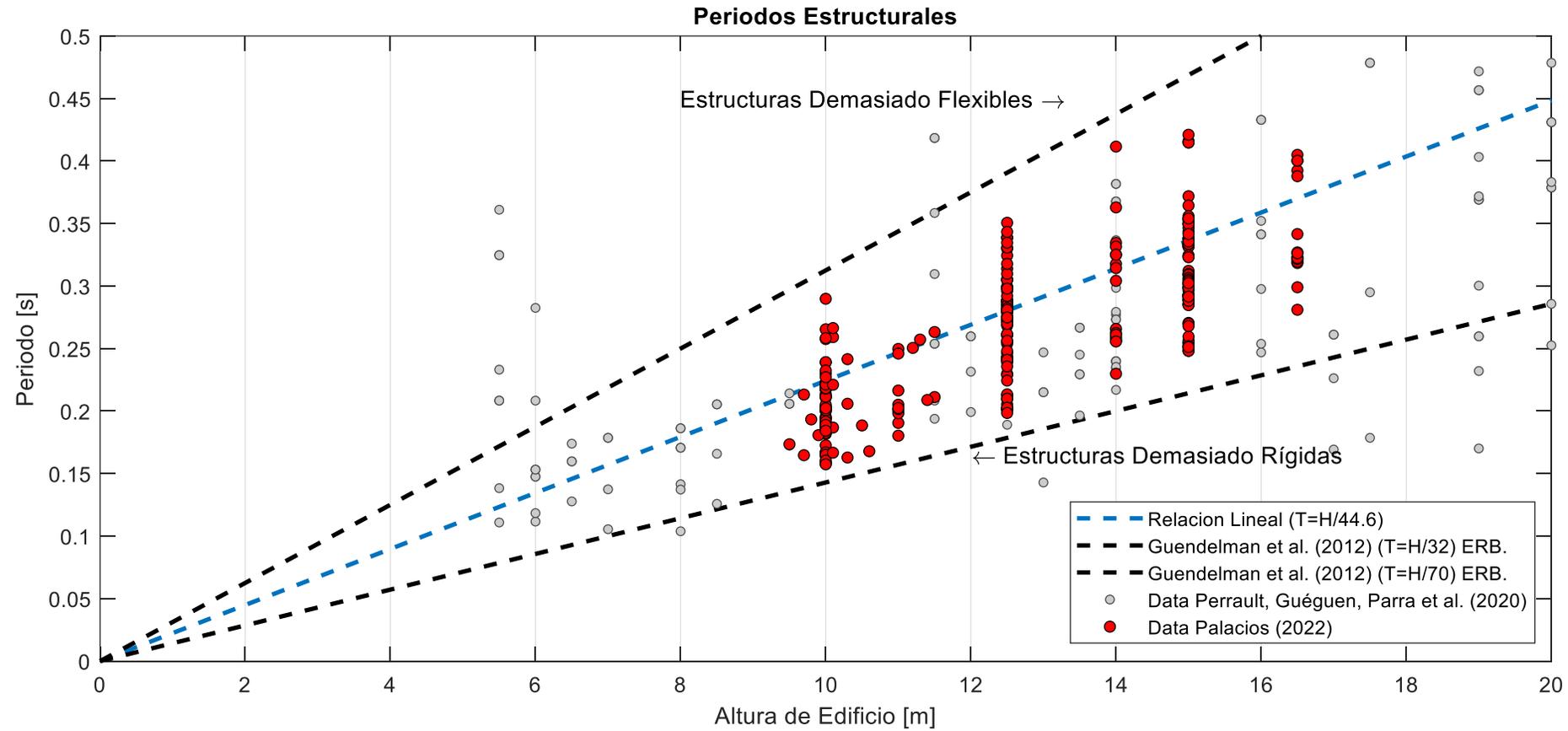
Modelo 069



Modelo 079

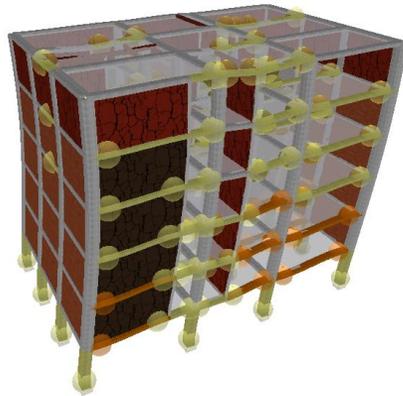
Palacios & Celi (2022)

# Calibración

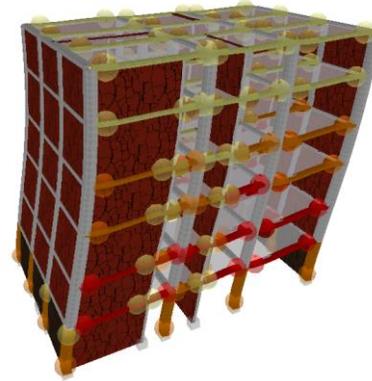


Perrault et al., (2020)

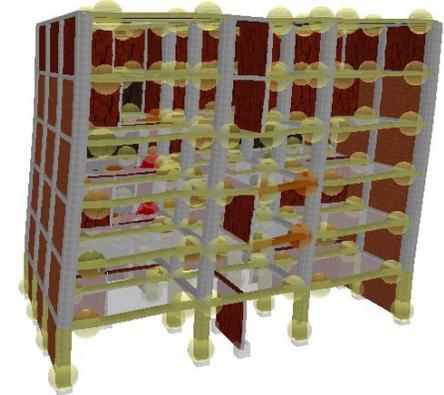
# Daño en edificaciones



Modelo 174



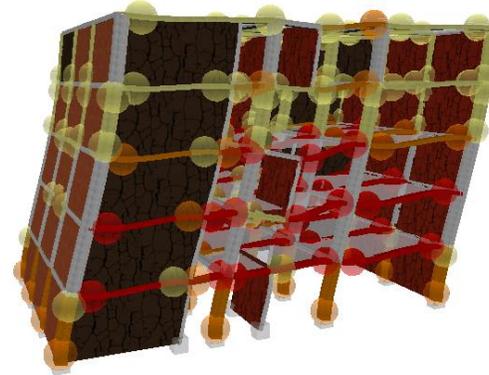
Modelo 156



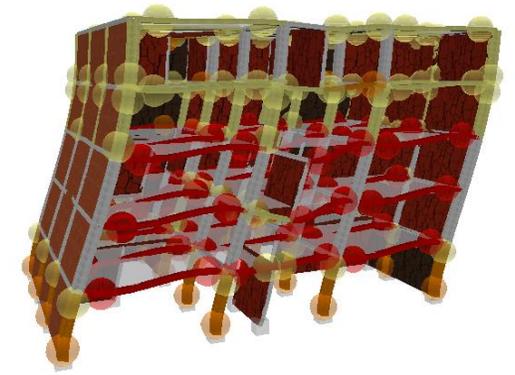
Modelo 140



Modelo 005

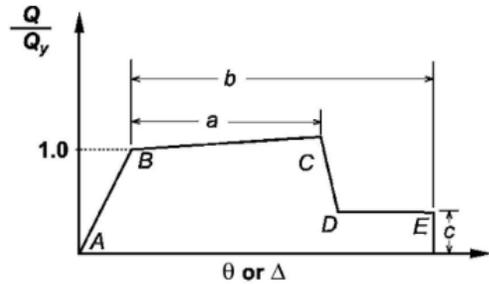


Modelo 028

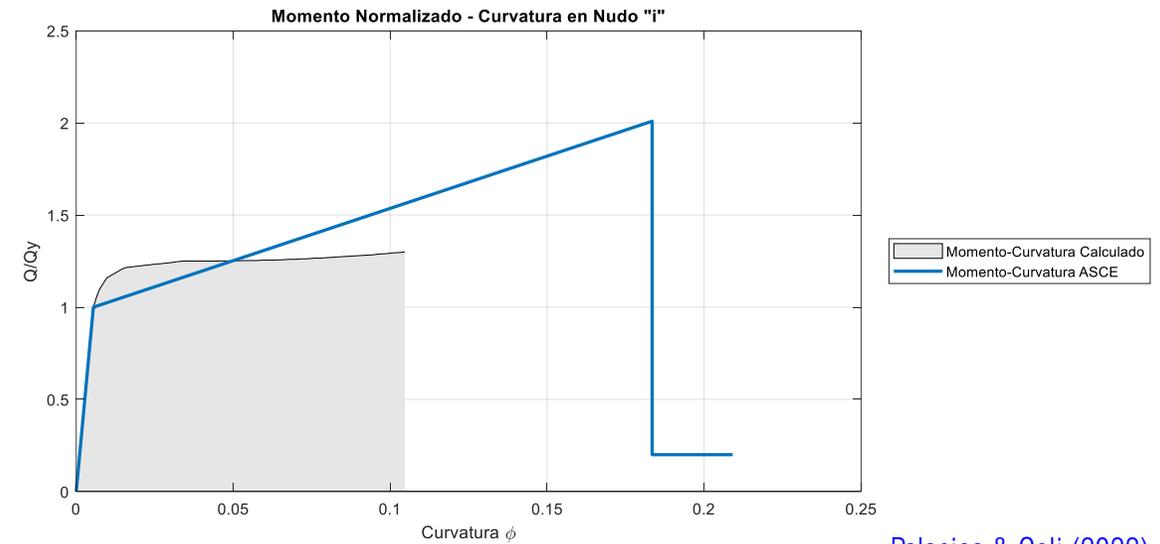
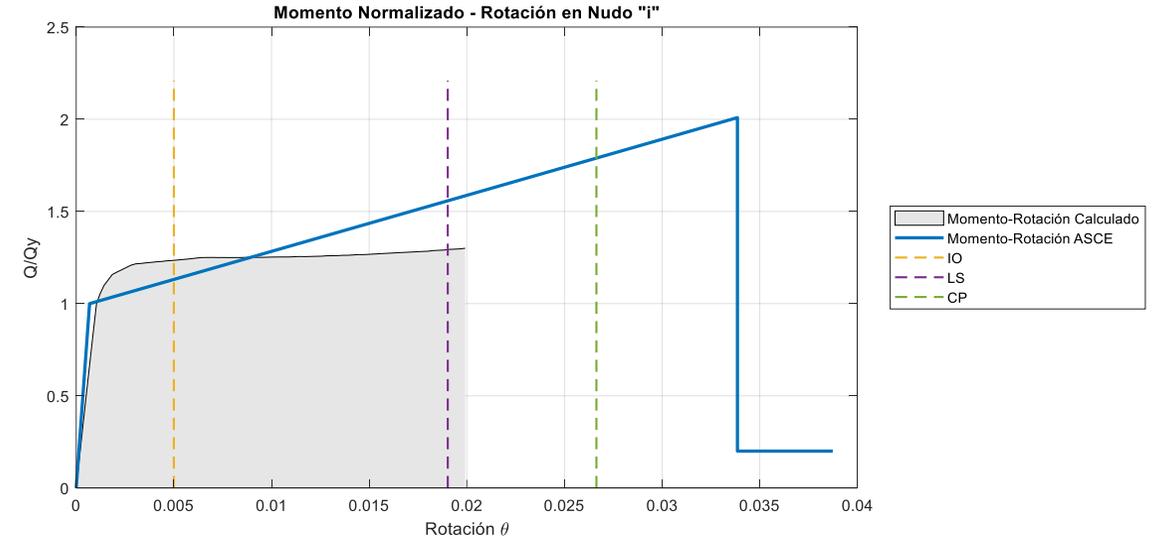
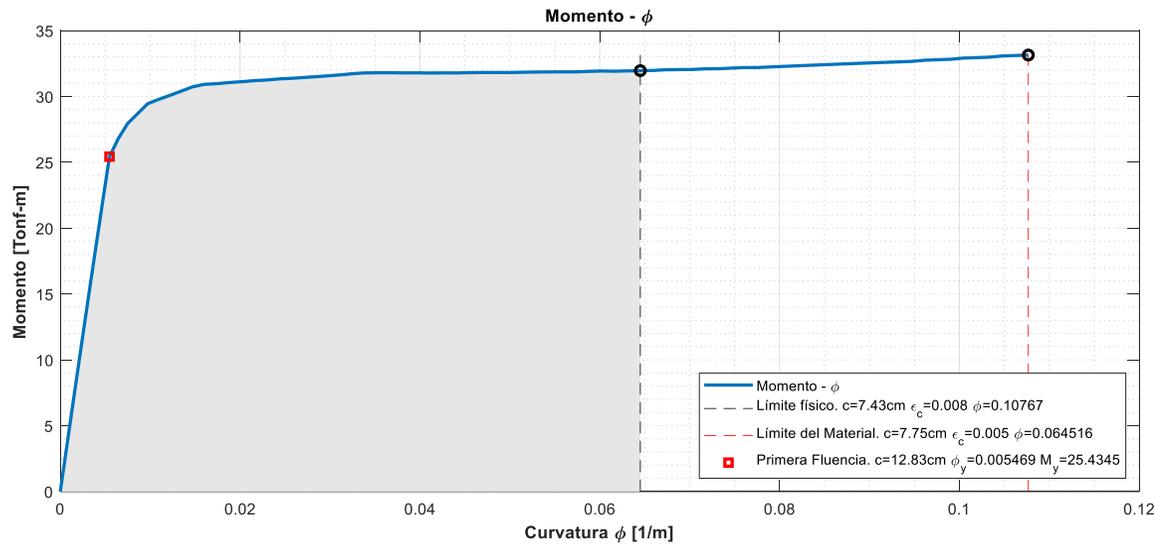


Modelo 140

# Daño en edificaciones



ASCE 41 (2017)



Palacios & Celi (2022)

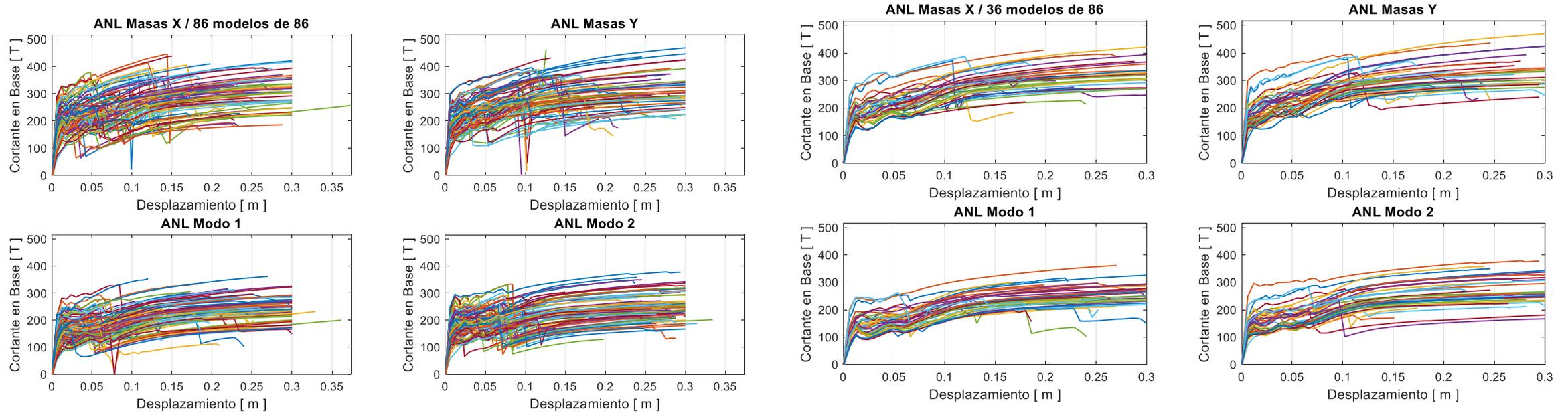
## Criterio de filtrado de curvas

- *Mampostería alcanza su desplazamiento lateral último ( $D_u$ ) o su capacidad lateral última ( $F_u$ ):* al momento de alcanzar los límites a desplazamiento o capacidad lateral establecidos por [Pachano \(2018\)](#), se produjeron caídas repentinas de capacidad global a desplazamiento bajos, observando que los paneles de relleno no pudieron continuar aportando a la rigidez de la edificación y se produjo una redistribución de fuerzas en los marcos resistentes y en los paneles que quedan. No se observó en las muestras visitadas in situ este tipo de comportamiento, por lo que las curvas que presentan decaimientos de capacidad a bajos desplazamientos se han eliminado.
- *Inestabilidad matemática:* en varios casos se han planteado geometrías irregulares en planta y elevación de forma aleatoria, estas presentaron afecciones a la capacidad global estructural a bajos desplazamientos, lo que provocó que el algoritmo previamente programado, no pueda realizar iteraciones convergentes en los nudos del modelo matemático; las tolerancias establecidas no fueron suficientes para encontrar convergencia matemática y se alcanzaron desplazamientos laterales globales bajos.
- *Caída súbita de capacidad:* se verificó modelos estructurales que presentaron caídas de capacidad debido a pérdida de aporte de rigidez de algunos paneles de relleno localizados, las razones fueron netamente matemáticas del software utilizado. Este fenómeno se mantuvo presente aún después de modificar las propiedades del algoritmo de iteración y convergencia, por lo que estas curvas no fueron parte del análisis final.

## Criterio de filtrado de curvas

- *Geometría no convencional:* con el fin de capturar los efectos torsionales provocados por la irregularidad de mamposterías en planta y elevación, se generaron modelos de forma aleatoria que distribuyan la mampostería dentro de un cuadro delimitado que se apegue a la realidad del DMQ. Algunos de estos modelos presentaron accesos cortos, espacios reducidos y arquitectura no convencional, debido a la aleatoriedad programada, esto se ve reflejado en la curva de capacidad estructural, donde los decaimientos de capacidad y los desplazamientos laterales bajos son las características de estos modelos, por lo que no son usados en la base de datos final.
- *Sistemas de rotulación:* con los cálculos de rotación según el [ASCE 41 \(2017\)](#) para cada rótula plástica en la estructura, se verifica iterativamente que estas no alcancen los límites planteados, comprobando la congruencia entre la realidad física observable y el modelo matemático. Cuando la estructura alcanza límites peligrosos de rotulación en columnas o vigas a bajos desplazamientos, estas curvas no se las utiliza, ya que en el DMQ no se han observado comportamientos de este tipo en la tipología en análisis.

# Filtrado de curvas 4p

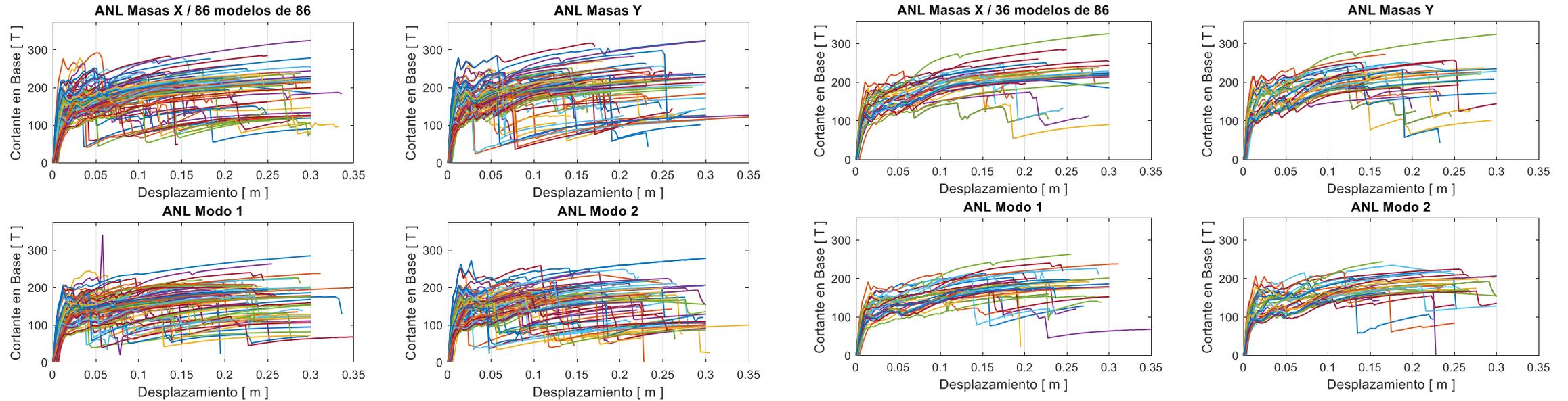


Curvas no filtradas

Curvas filtradas

Palacios & Celi (2022)

# Filtrado de curvas 5p

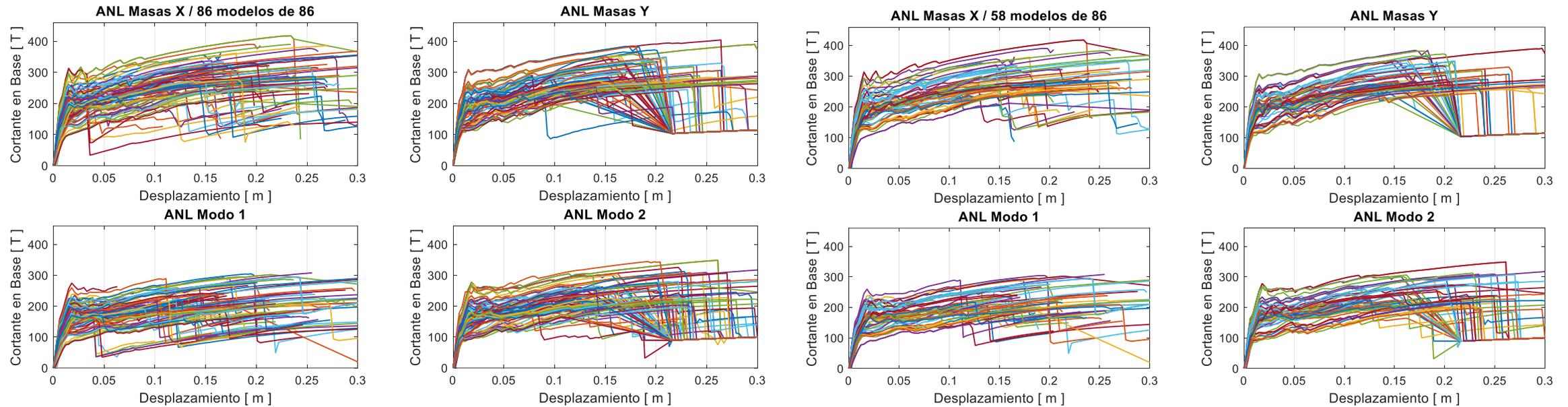


Curvas no filtradas

Curvas filtradas

Palacios & Celi (2022)

# Filtrado de curvas 6p

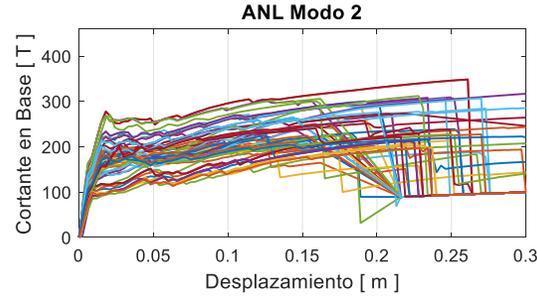
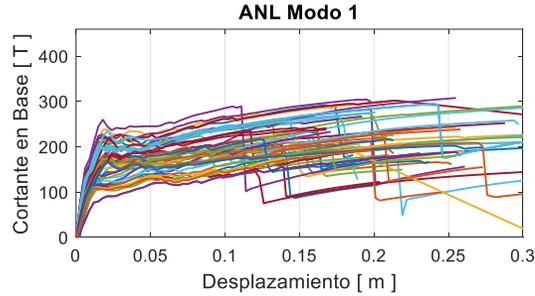
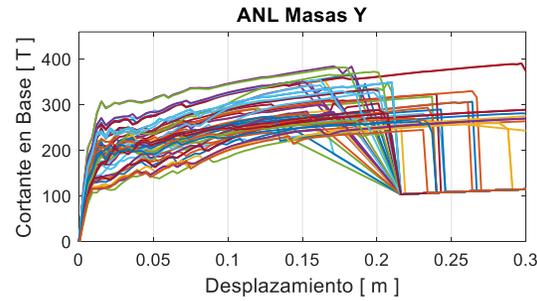
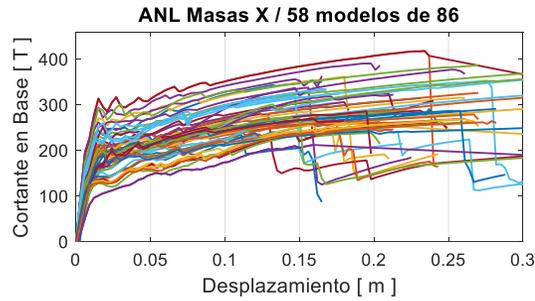


Curvas no filtradas

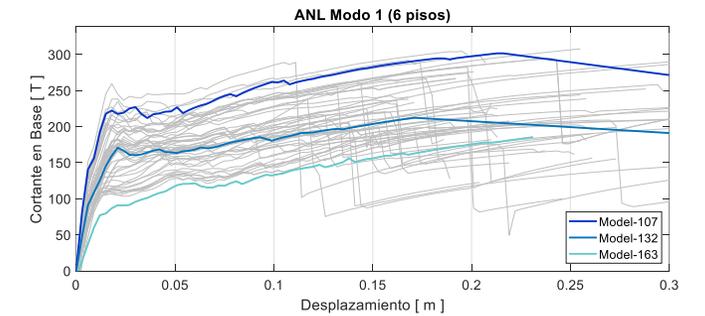
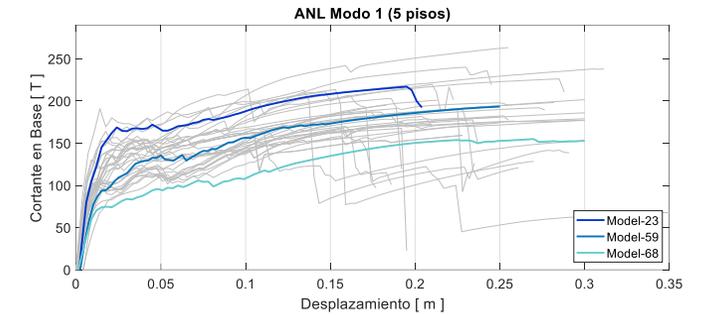
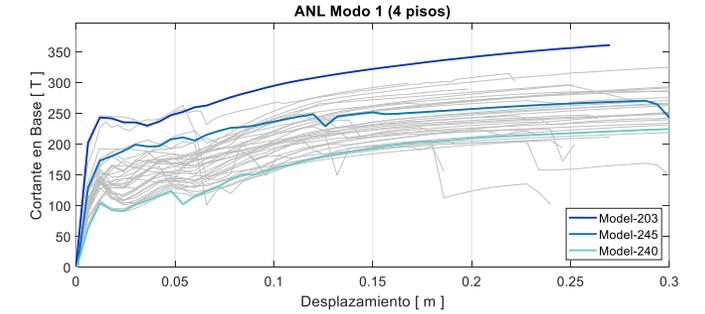
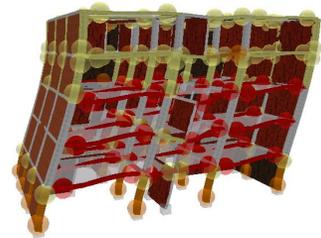
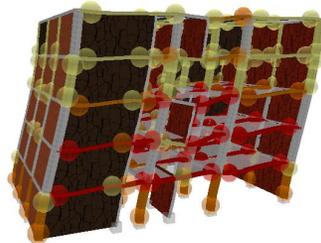
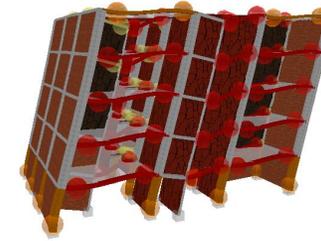
Curvas filtradas

Palacios & Celi (2022)

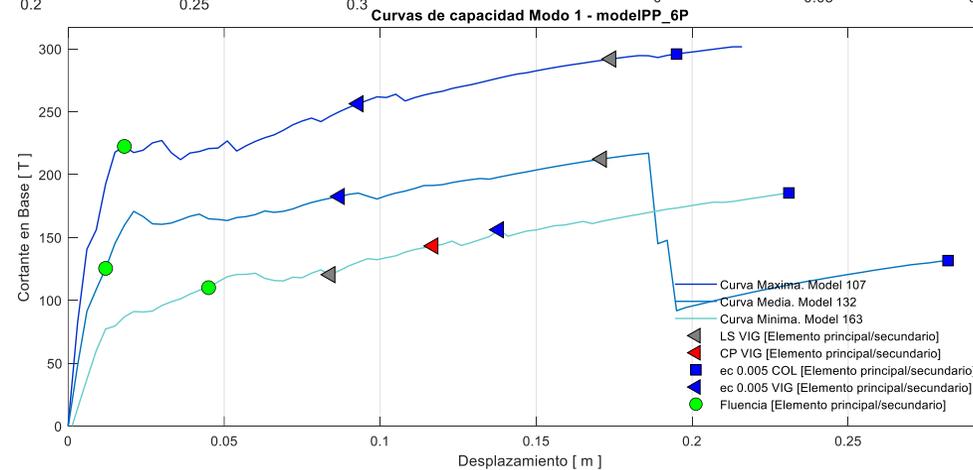
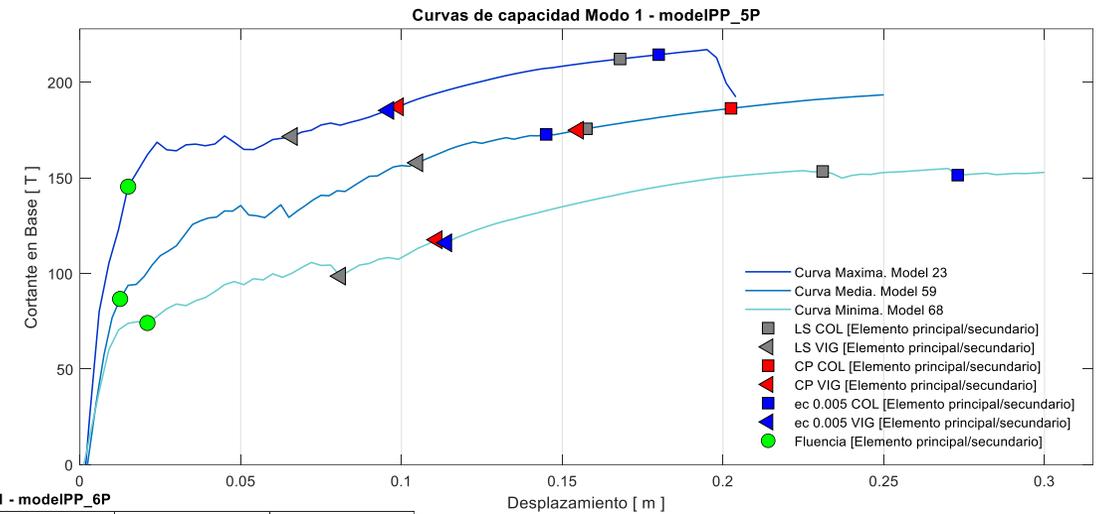
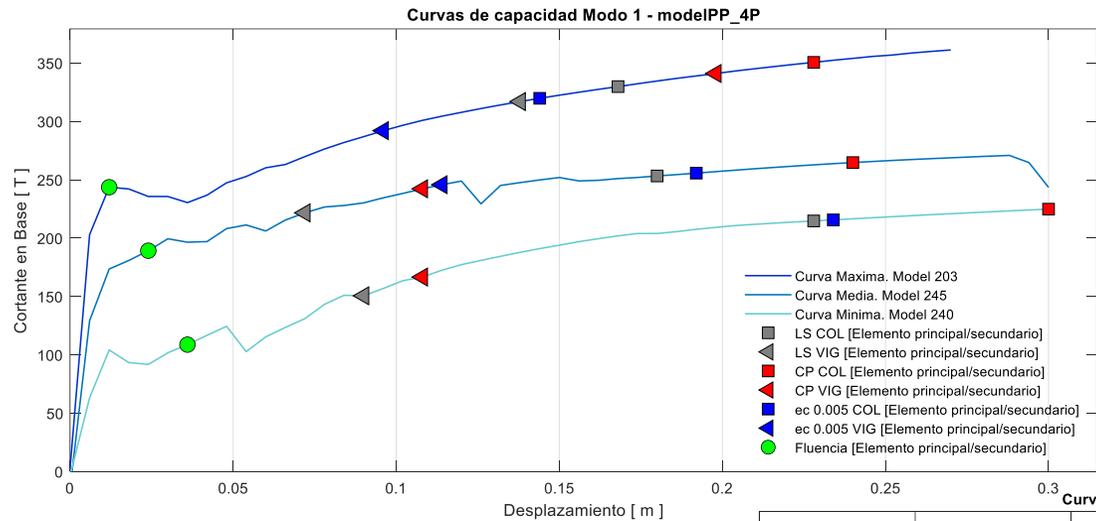
# Filtrado de curvas



Palacios & Celi (2022)



# Puntos notables



Palacios & Celi (2022)

# Puntos notables

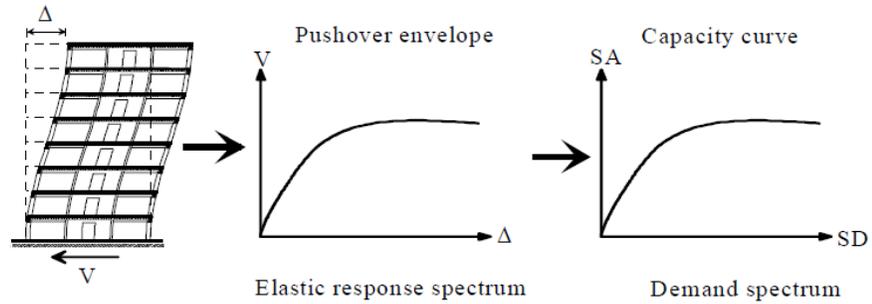
|                              |                           | Umbrales del estado de daño | Desplazamiento (m) | Criterio          |
|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|
| Variación 4<br>pisos Masas X | Curva Máxima<br>Model 203 | es=0.002 (-)                | 0.0180             | $Sd1, ds=dy$      |
|                              |                           | Daño Leve                   | 0.0780             | $Sd1, ds=0.3*du$  |
|                              |                           | Daño Moderado               | 0.1260             | $Sd1, ds=0.55*du$ |
|                              |                           | Daño Extensivo              | 0.144              | $Sd1, ds=0.8*du$  |
|                              |                           | Daño Completo               | 0.198              | $Sd1, ds=du$      |
|                              |                           | Umbrales del estado de daño | Desplazamiento (m) | Criterio          |
| Variación 4<br>pisos Masas X | Curva Media<br>Model 245  | es=0.002 (-)                | 0.0240             | $Sd1, ds=dy$      |
|                              |                           | Daño Leve                   | 0.0840             | $Sd1, ds=0.3*du$  |
|                              |                           | Daño Moderado               | 0.1260             | $Sd1, ds=0.55*du$ |
|                              |                           | Daño Extensivo              | 0.156              | $Sd1, ds=0.8*du$  |
|                              |                           | Daño Completo               | 0.21               | $Sd1, ds=du$      |
|                              |                           | Umbrales del estado de daño | Desplazamiento (m) | Criterio          |
| Variación 4<br>pisos Masas X | Curva Mínima<br>Model 240 | es=0.002 (-)                | 0.0300             | $Sd1, ds=dy$      |
|                              |                           | Daño Leve                   | 0.0780             | $Sd1, ds=0.3*du$  |
|                              |                           | Daño Moderado               | 0.1020             | $Sd1, ds=0.55*du$ |
|                              |                           | Daño Extensivo              | 0.18               | $Sd1, ds=0.8*du$  |
|                              |                           | Daño Completo               | 0.24               | $Sd1, ds=du$      |

| Umbrales del estado de daño | Criterio         |
|-----------------------------|------------------|
| Leve                        | $Sd1, ds=0.4*du$ |
| Moderado                    | $Sd1, ds=0.6*du$ |
| Extensivo                   | $Sd1, ds=0.8*du$ |
| Completo                    | $Sd1, ds=du$     |

| Niveles de control | Deriva            |
|--------------------|-------------------|
| Leve               | 0.5% de la altura |
| Medio              | 1.0% de la altura |
| Fuerte             | 2.0% de la altura |

Palacios & Celi (2022)

# ATC 40

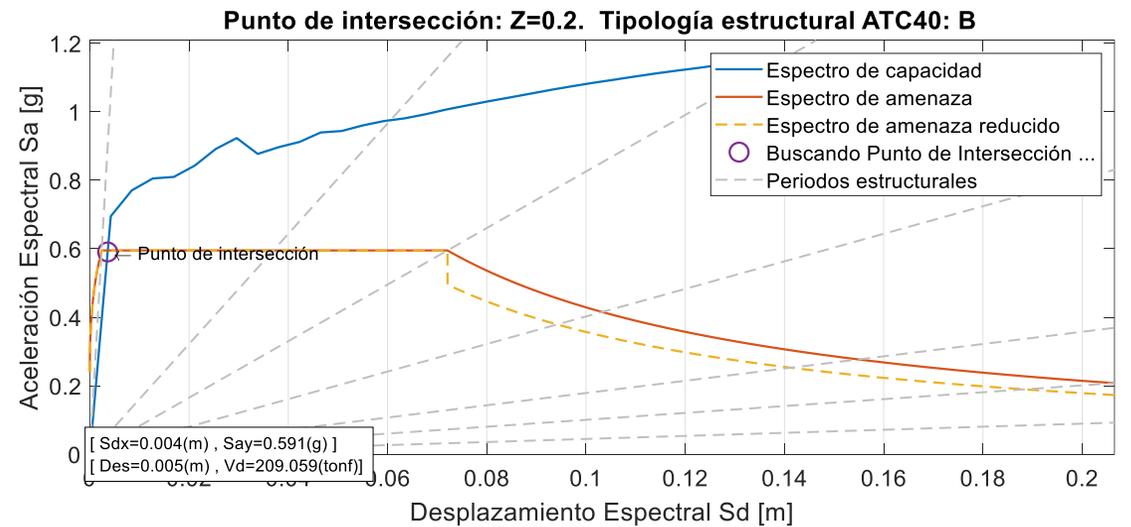
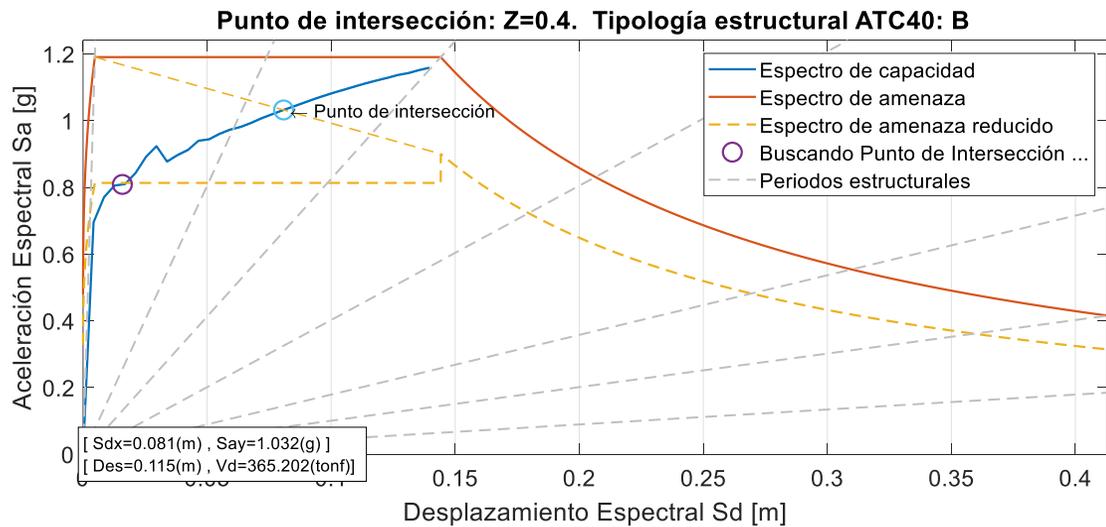


$$S_{ai} = \frac{V_i/W}{\alpha_1}$$

$$S_{di} = \frac{\Delta_{roof}}{(PF_1 * \phi_{1,roof})}$$

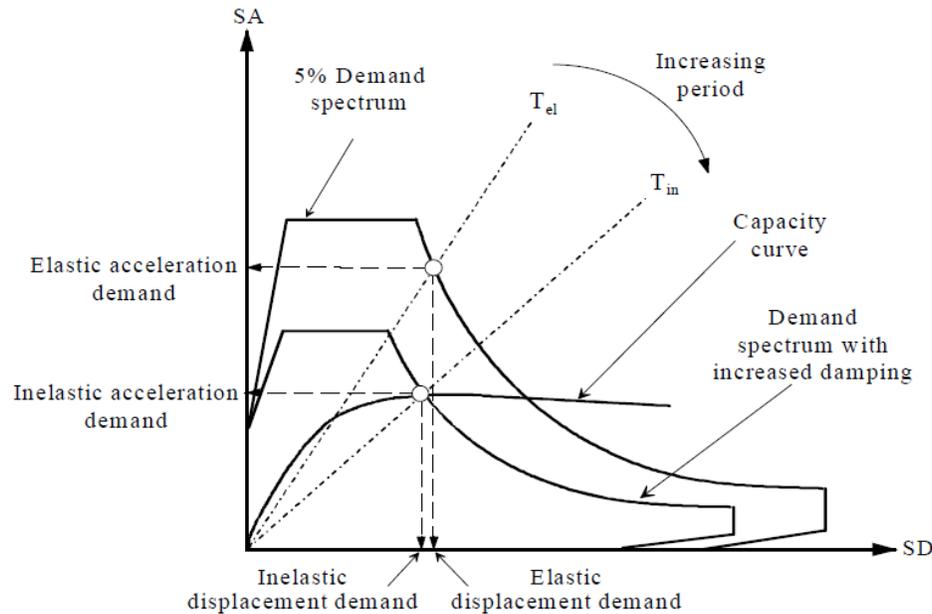
$$PF_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_{i1})}{g} \right]}{\left[ \sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_{i1}^2)}{g} \right]}$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_{i1})}{g} \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^N (w_i)/g \right] \left[ \sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_{i1})}{g} \right]}$$



Palacios & Celi (2022)

# ATC 40



ATC40 (1996)

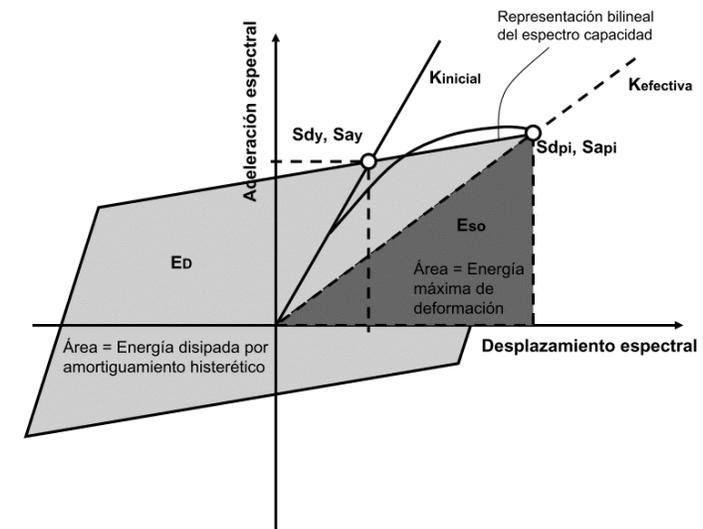
$$\beta_{eq} = \beta_0 + 0.05$$

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S_0}}$$

$$E_D = 4 * (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})$$

$$E_{S_0} = \frac{a_{pi} d_{pi}}{2}$$

$$\beta_{eq} = \frac{0.637 * k * (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 0.05$$



# ATC 40

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 0.05$$

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S_0}}$$

$$E_D = 4 * (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})$$

$$E_{S_0} = \frac{a_{pi} d_{pi}}{2}$$

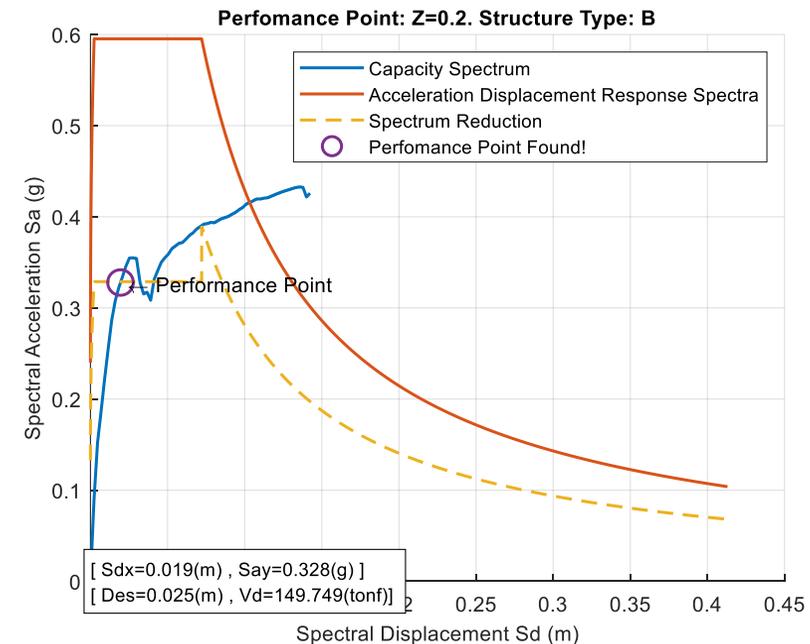
$$\beta_{eq} = \frac{0.637 * k * (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 0.05$$

| Tipo de comportamiento estructural | $\beta_0$ (%)   | $k$  |
|------------------------------------|-----------------|--|
| Tipo A                             | $\leq 16.25$    | 1.0  |
|                                    | $> 16.25$       | $1.13 - \frac{0.51(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$   |
| Tipo B                             | $\leq 25$       | 0.67   |
|                                    | $> 25$          | $0.845 - \frac{0.446(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$ |
| Tipo C                             | Cualquier valor | 0.33   |

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 * \ln(\beta_{eq})}{2.12}$$

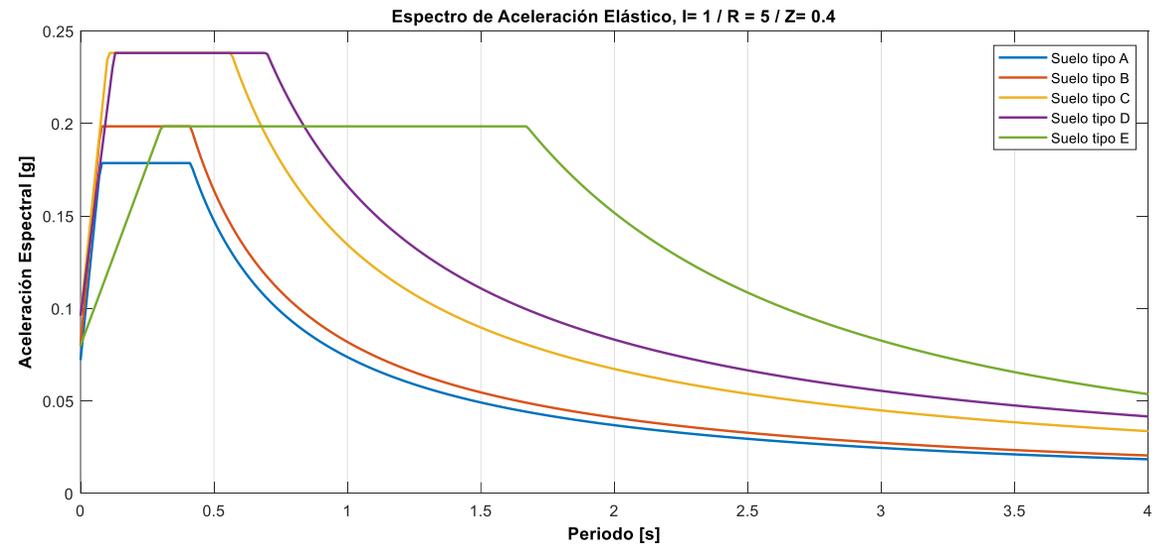
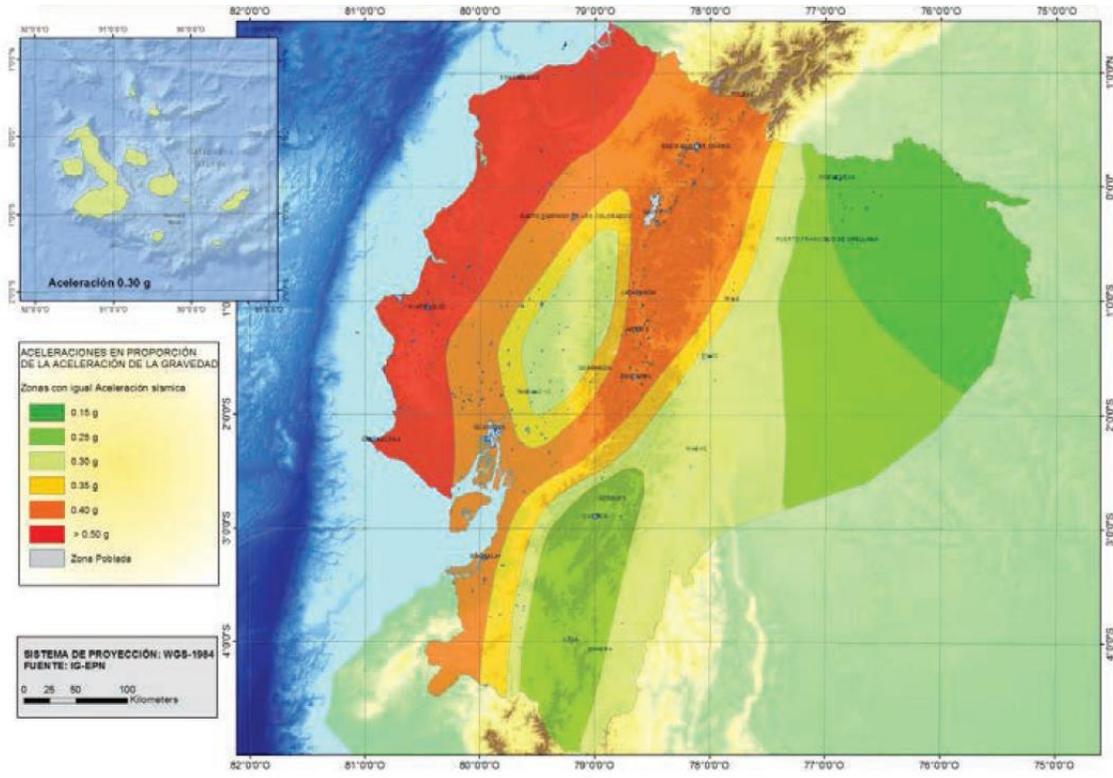
$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 * \ln(\beta_{eq})}{2.12}$$

| Tipo de comportamiento estructural | $SR_A$ | $SR_V$ |
|------------------------------------|--------|--------|
| Tipo A                             | 0.33   | 0.50   |
| Tipo B                             | 0.44   | 0.56   |
| Tipo C                             | 0.56   | 0.67   |



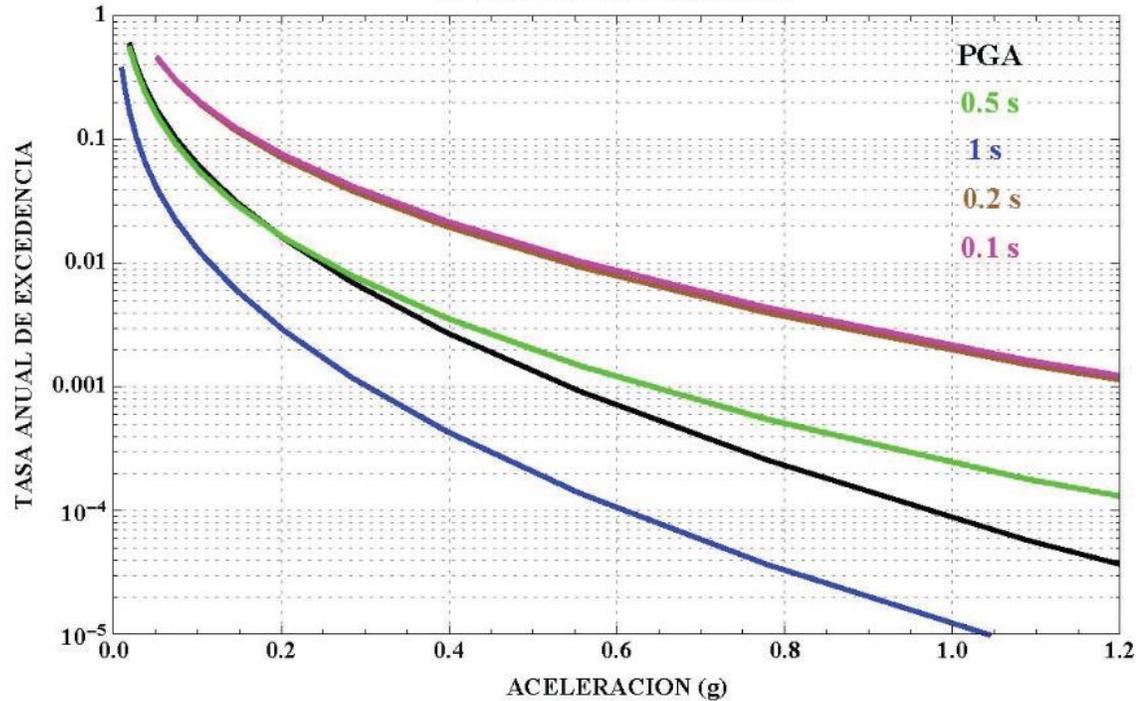
Palacios & Celi (2022)

# Amenaza



# Amenaza

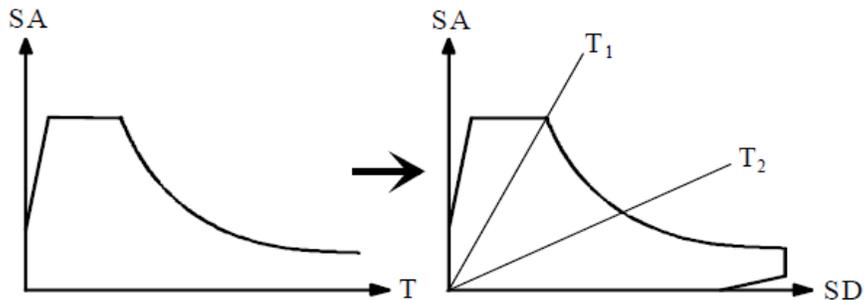
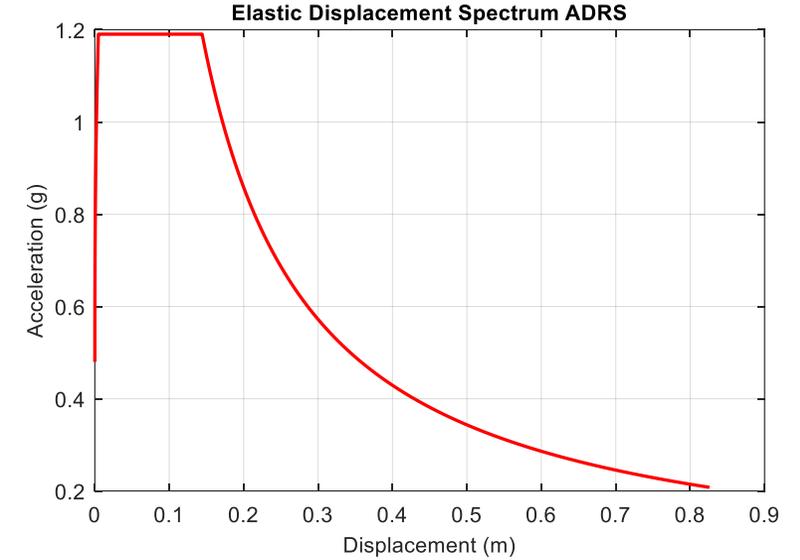
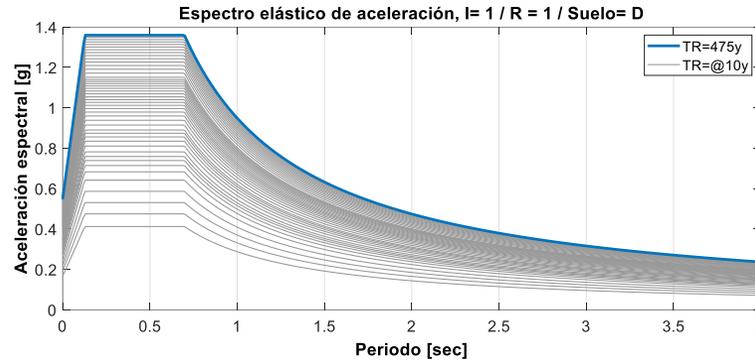
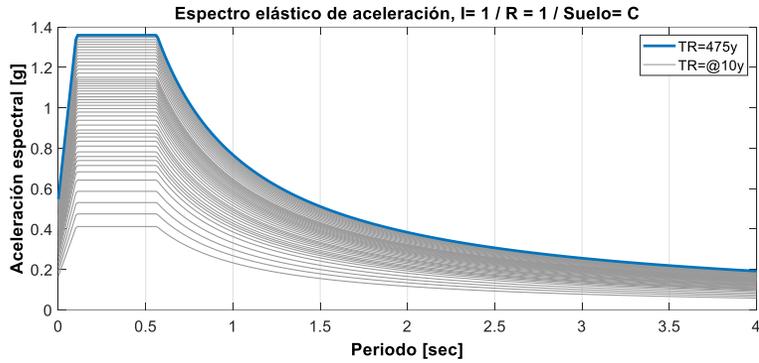
Curvas de Peligro Sísmico para QUITO (-0.2; -78.51) a diferentes Periodos Estructurales



| Tr (años) | Tasa Anual Ex. | PGA (g) | Tr (años) | Tasa Anual Ex. | PGA (g) |
|-----------|----------------|---------|-----------|----------------|---------|
| 25        | 0.0400         | 0.139   | 255       | 0.0039         | 0.354   |
| 35        | 0.0286         | 0.160   | 265       | 0.0038         | 0.359   |
| 45        | 0.0222         | 0.178   | 275       | 0.0036         | 0.364   |
| 55        | 0.0182         | 0.197   | 285       | 0.0035         | 0.368   |
| 65        | 0.0154         | 0.216   | 295       | 0.0034         | 0.372   |
| 75        | 0.0133         | 0.230   | 305       | 0.0033         | 0.376   |
| 85        | 0.0118         | 0.240   | 315       | 0.0032         | 0.380   |
| 95        | 0.0105         | 0.248   | 325       | 0.0031         | 0.383   |
| 105       | 0.0095         | 0.255   | 335       | 0.0030         | 0.387   |
| 115       | 0.0087         | 0.263   | 345       | 0.0029         | 0.394   |
| 125       | 0.0080         | 0.272   | 355       | 0.0028         | 0.400   |
| 135       | 0.0074         | 0.281   | 365       | 0.0027         | 0.406   |
| 145       | 0.0069         | 0.288   | 375       | 0.0027         | 0.412   |
| 155       | 0.0065         | 0.294   | 385       | 0.0026         | 0.418   |
| 165       | 0.0061         | 0.299   | 395       | 0.0025         | 0.423   |
| 175       | 0.0057         | 0.307   | 405       | 0.0025         | 0.428   |
| 185       | 0.0054         | 0.315   | 415       | 0.0024         | 0.433   |
| 195       | 0.0051         | 0.323   | 425       | 0.0024         | 0.437   |
| 205       | 0.0049         | 0.329   | 435       | 0.0023         | 0.441   |
| 215       | 0.0047         | 0.335   | 445       | 0.0022         | 0.446   |
| 225       | 0.0044         | 0.340   | 455       | 0.0022         | 0.450   |
| 235       | 0.0043         | 0.345   | 465       | 0.0022         | 0.453   |
| 245       | 0.0041         | 0.350   | 475       | 0.0021         | 0.457   |

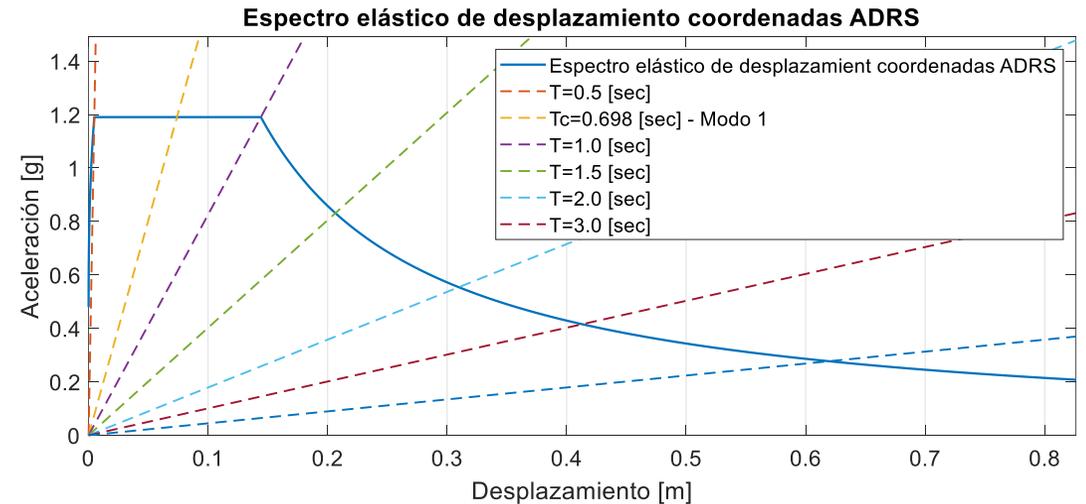
Palacios & Celi (2022)

# Amenaza

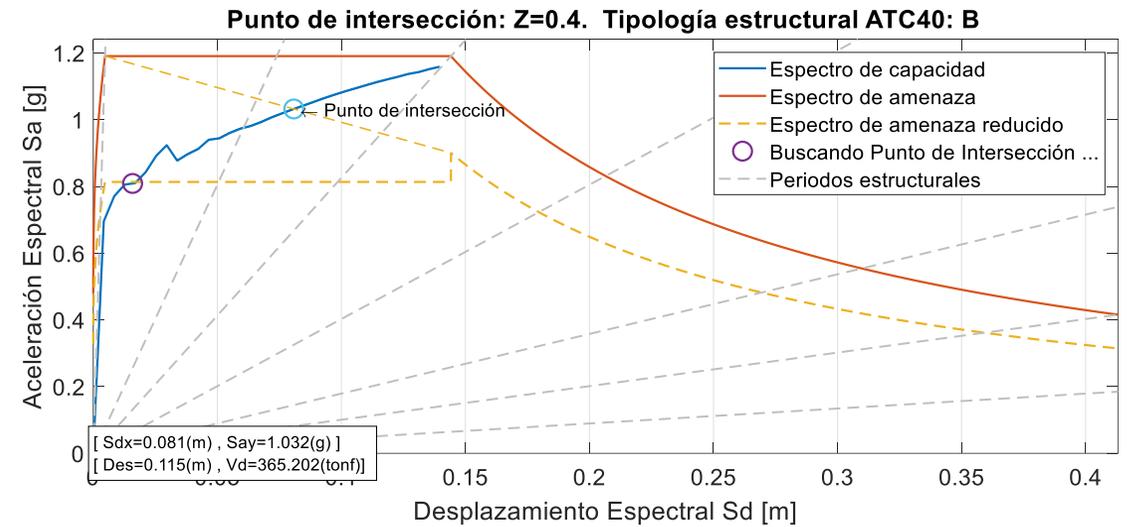
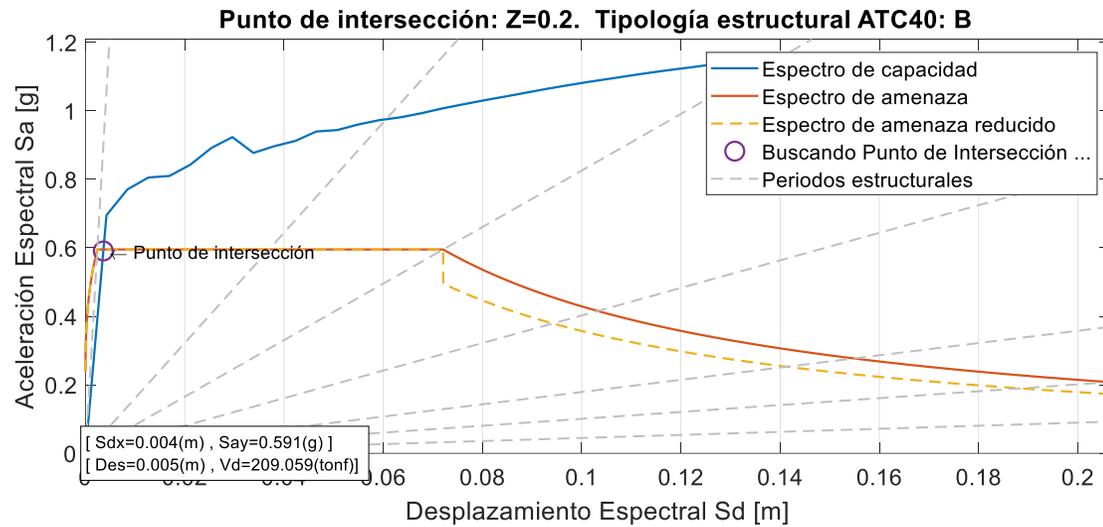


$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{a,i}g$$

Palacios & Celi (2022)

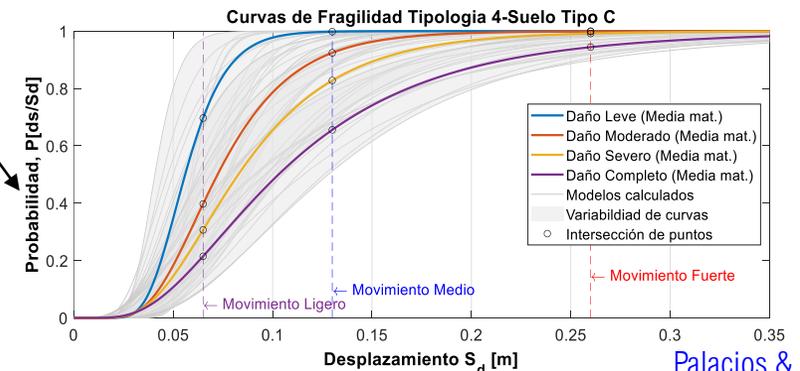
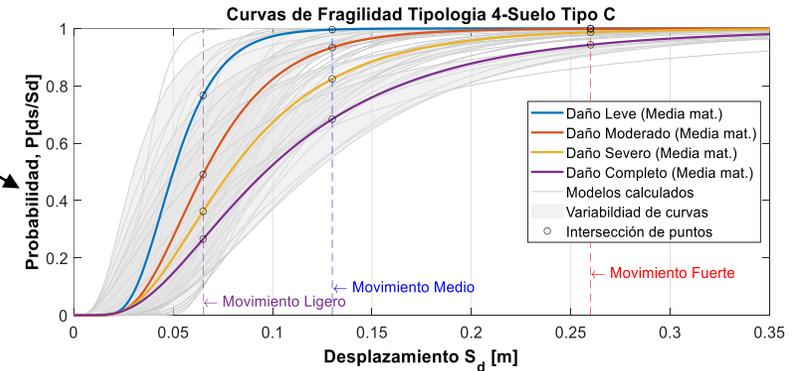
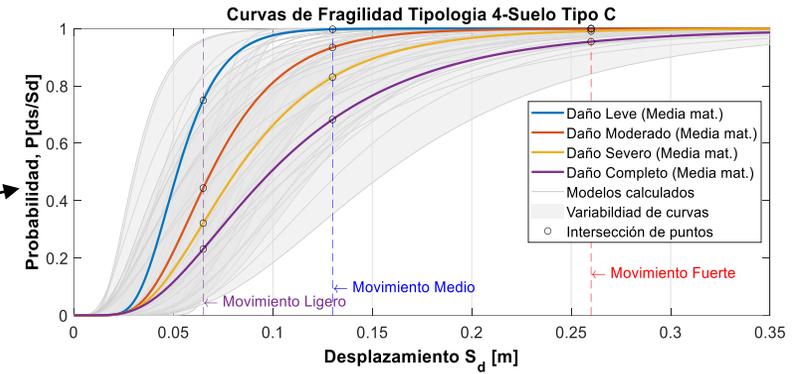
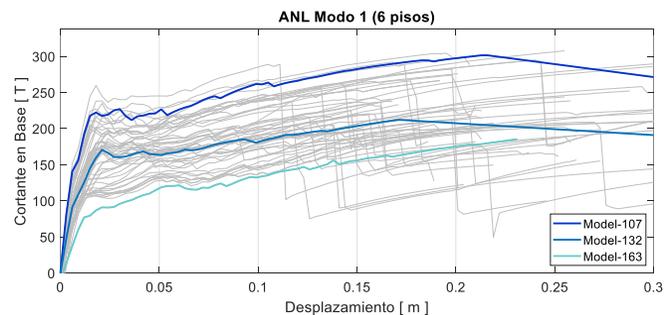
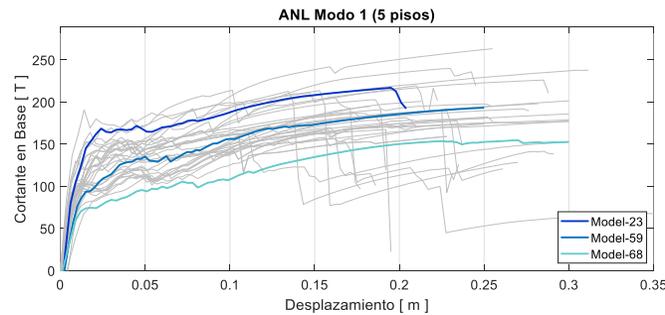
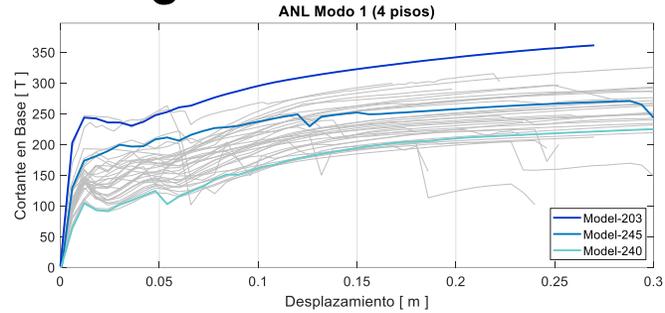


# Amenaza



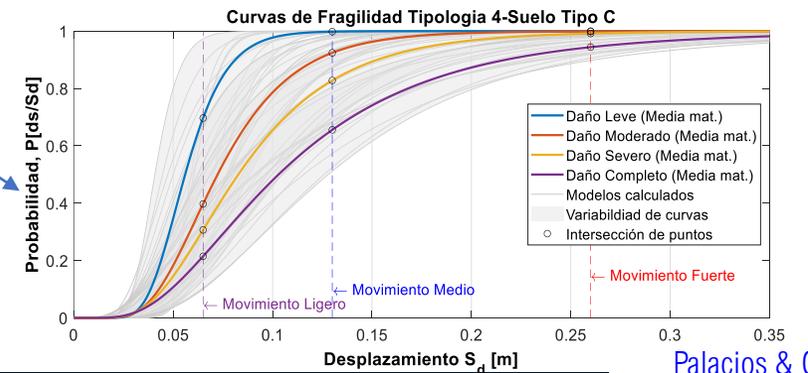
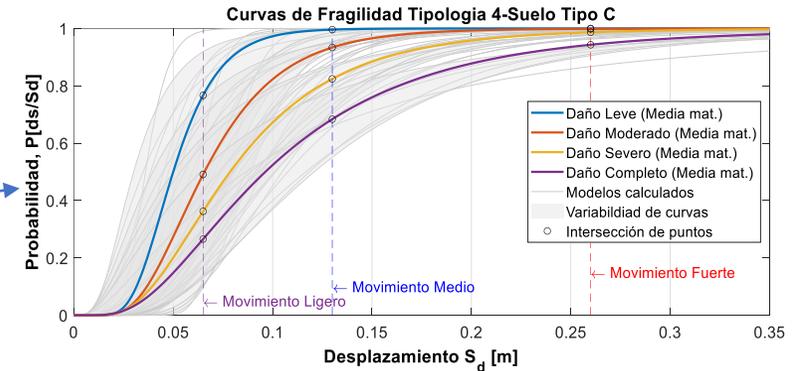
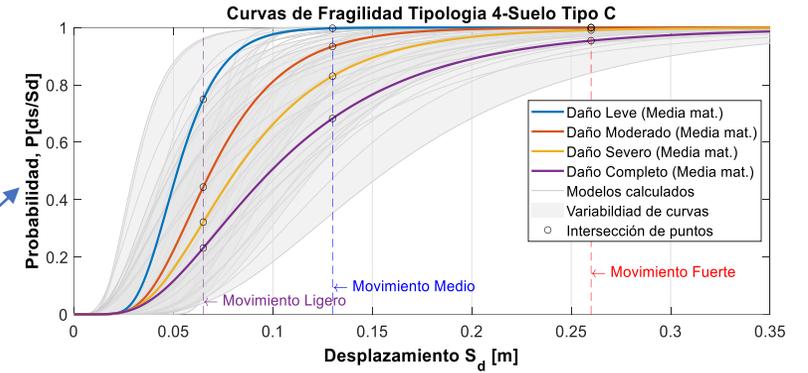
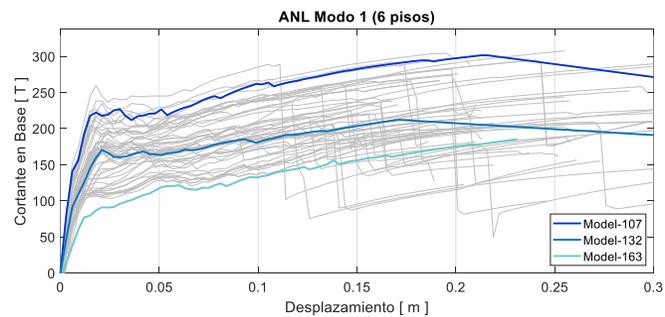
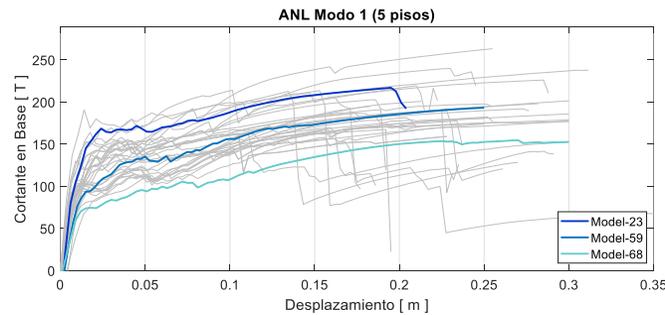
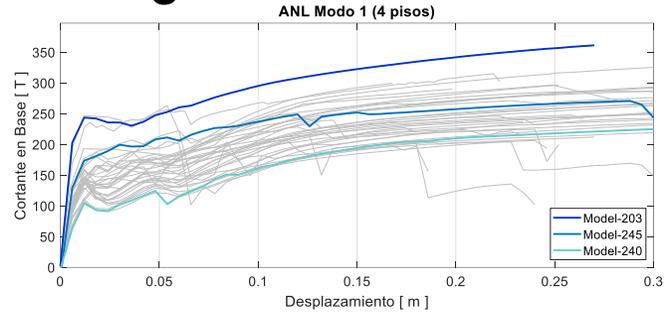
Palacios & Celi (2022)

# Curvas de fragilidad



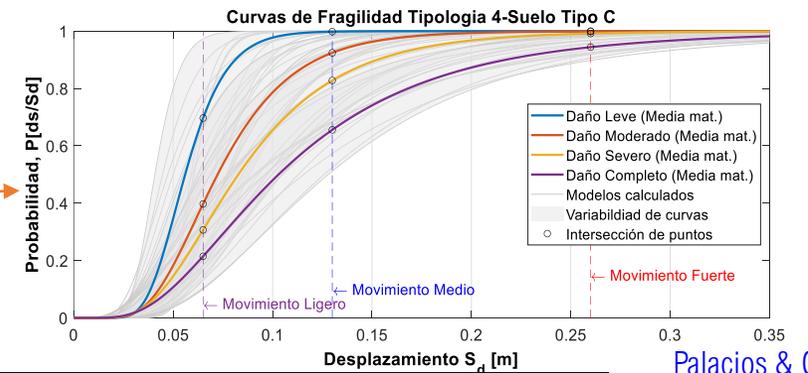
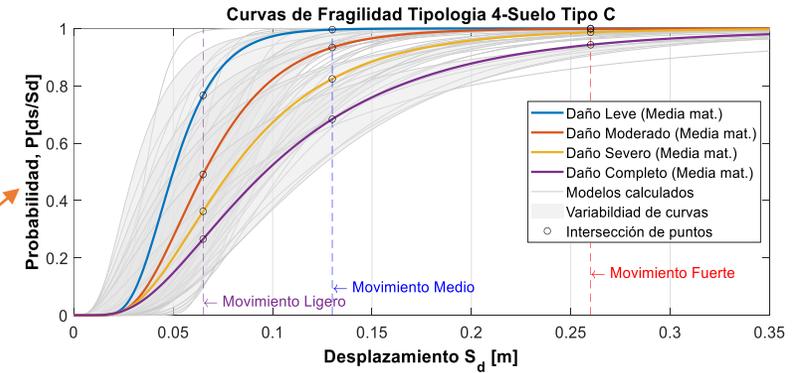
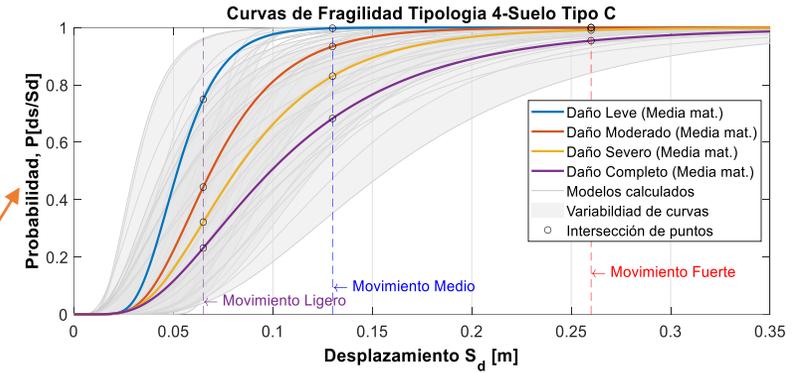
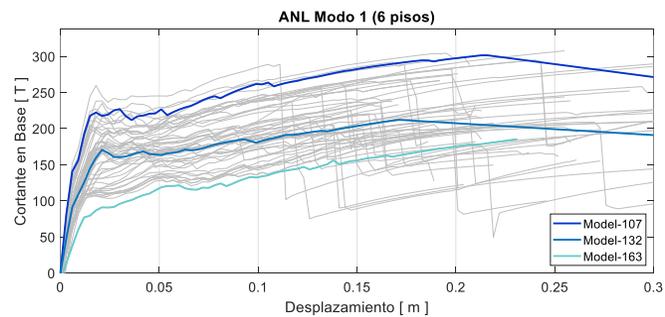
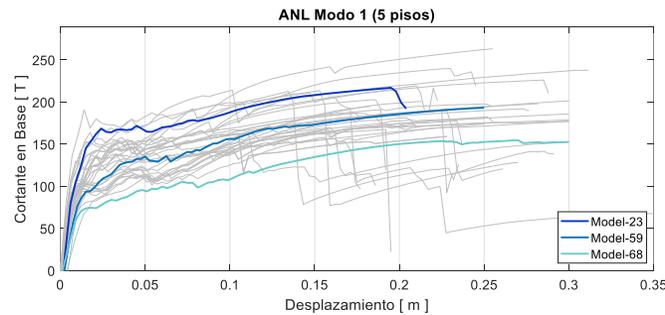
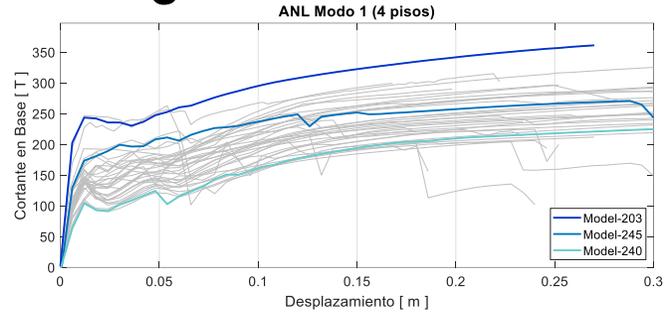
Palacios & Celi (2022)

# Curvas de fragilidad



Palacios & Celi (2022)

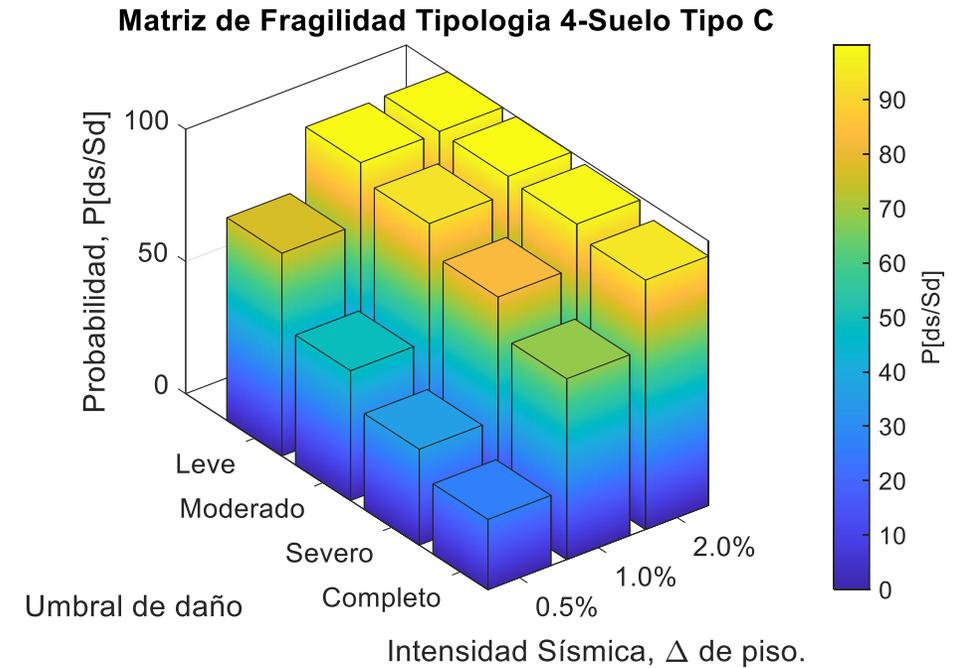
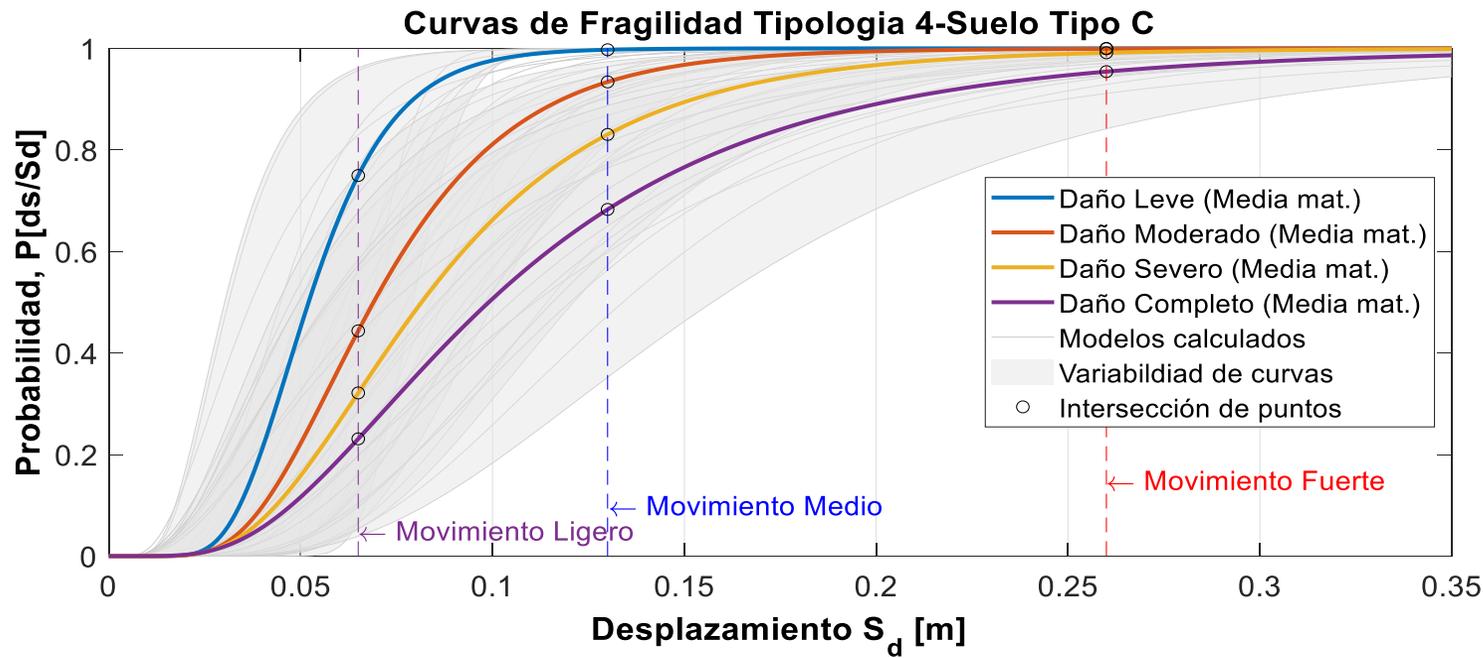
# Curvas de fragilidad



Palacios & Celi (2022)

# Curvas de fragilidad

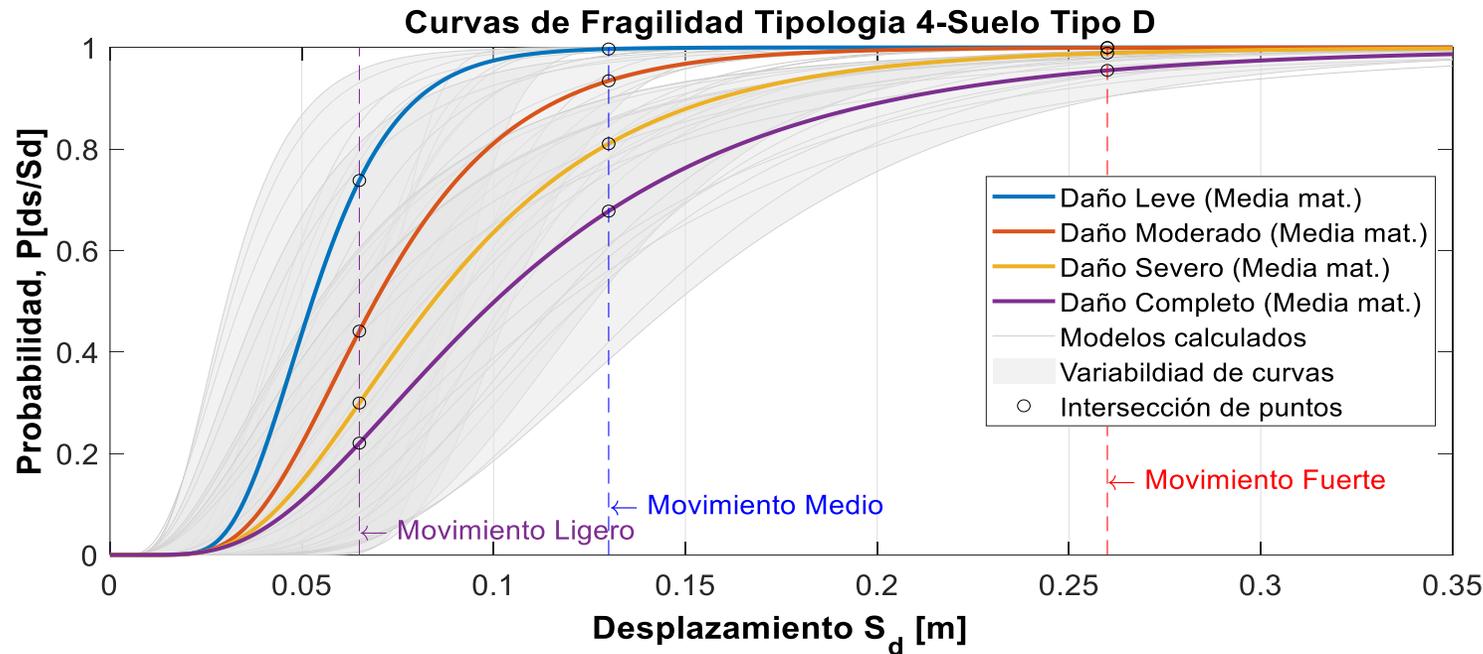
$$P[ds | S_d] = \Phi \left[ \frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left( \frac{S_d}{\bar{S}_{d,ds}} \right) \right]$$



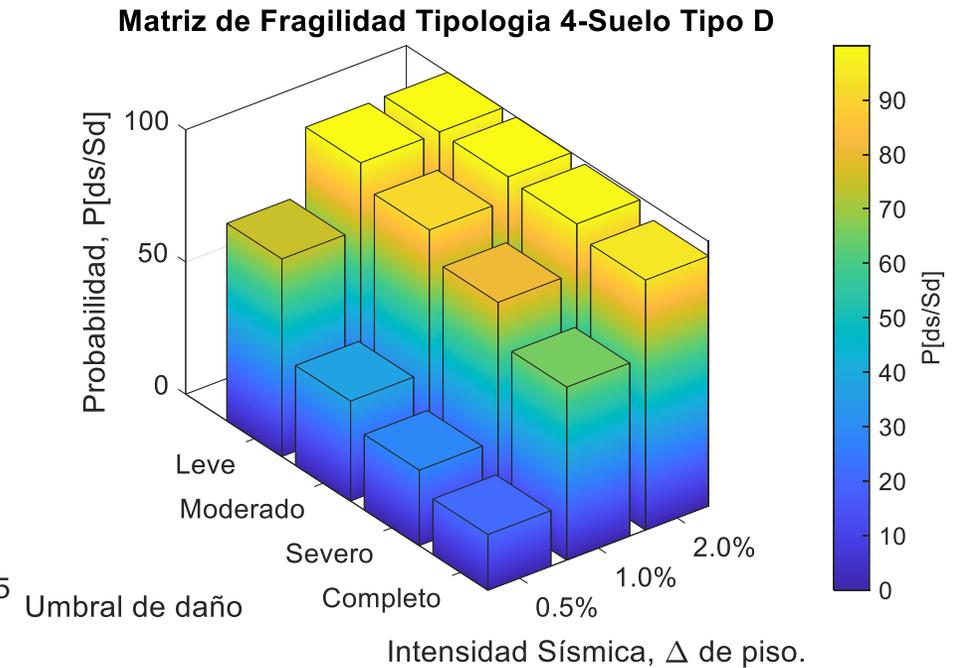
Palacios & Celi (2022)

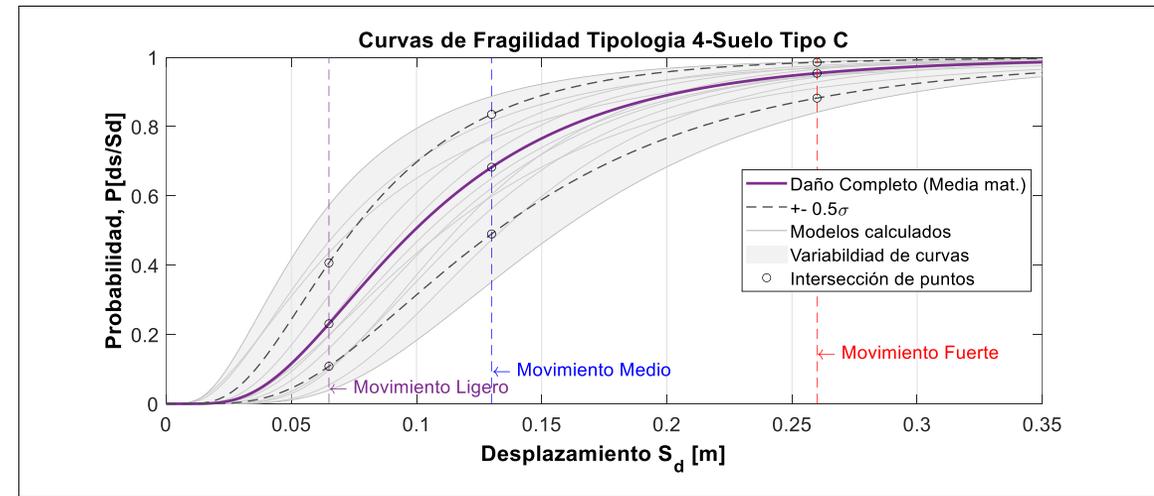
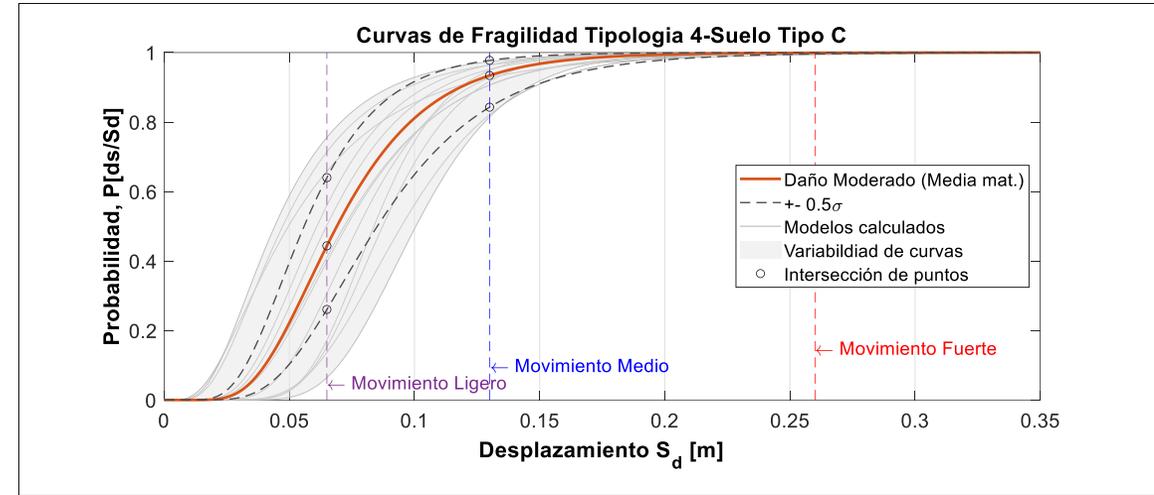
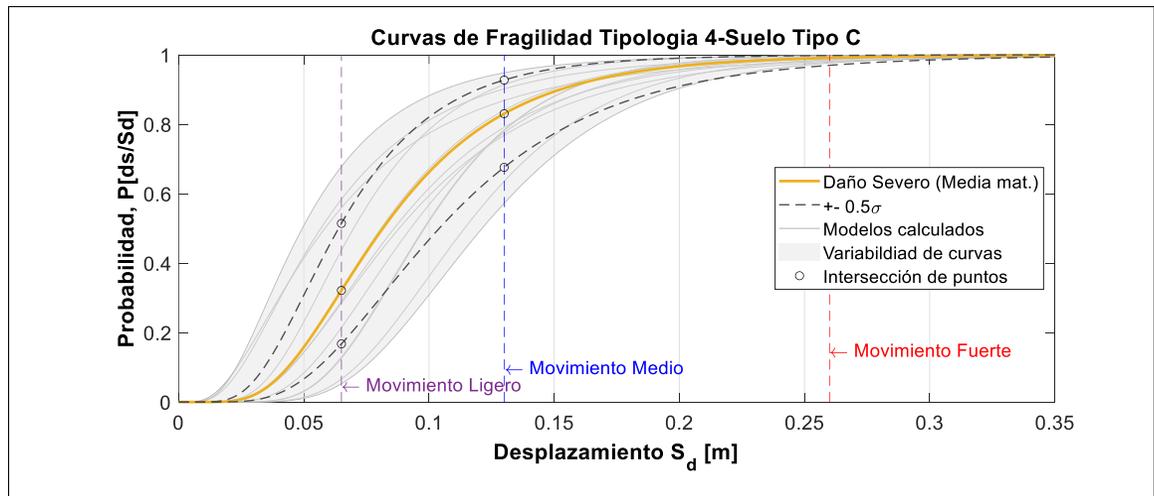
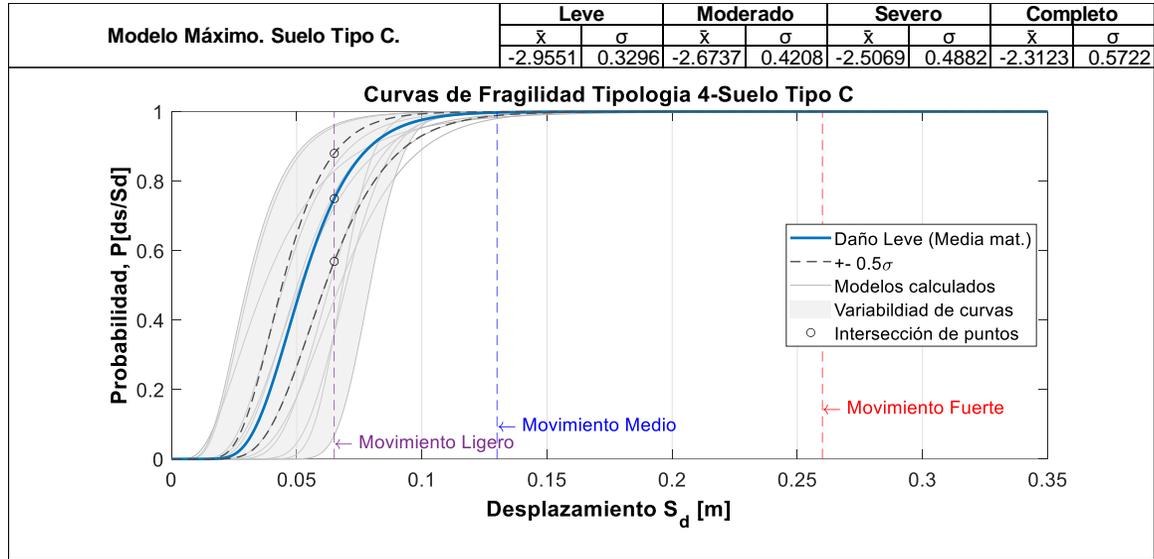
# Curvas de fragilidad

$$P[ds | S_d] = \Phi \left[ \frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left( \frac{S_d}{\bar{S}_{d,ds}} \right) \right]$$



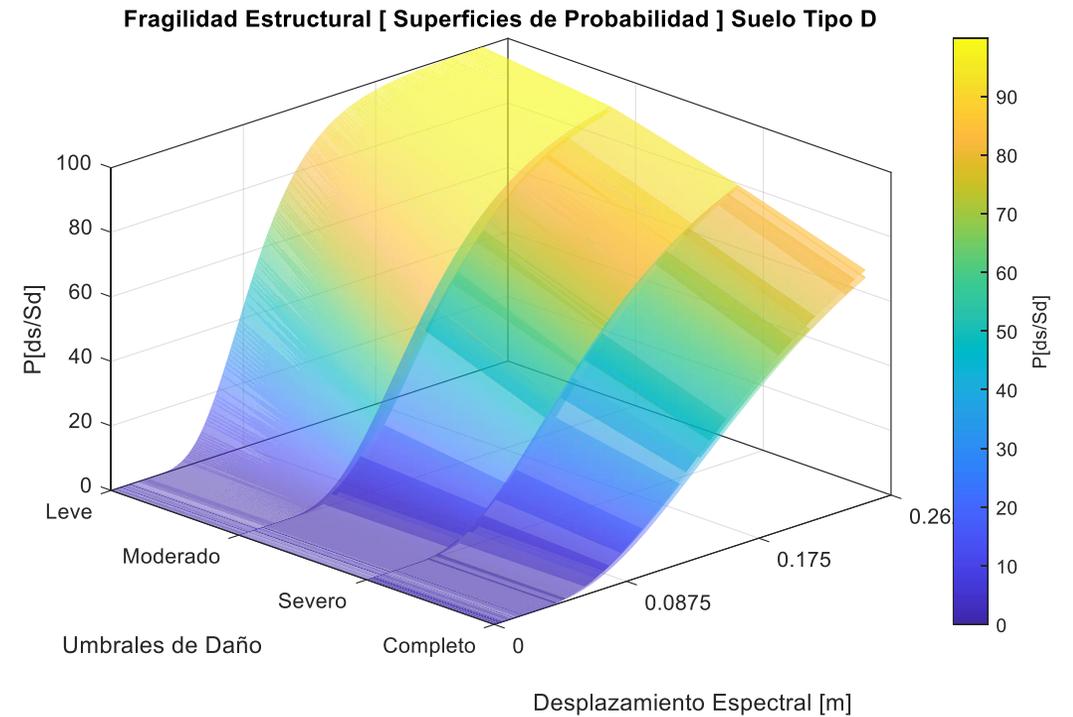
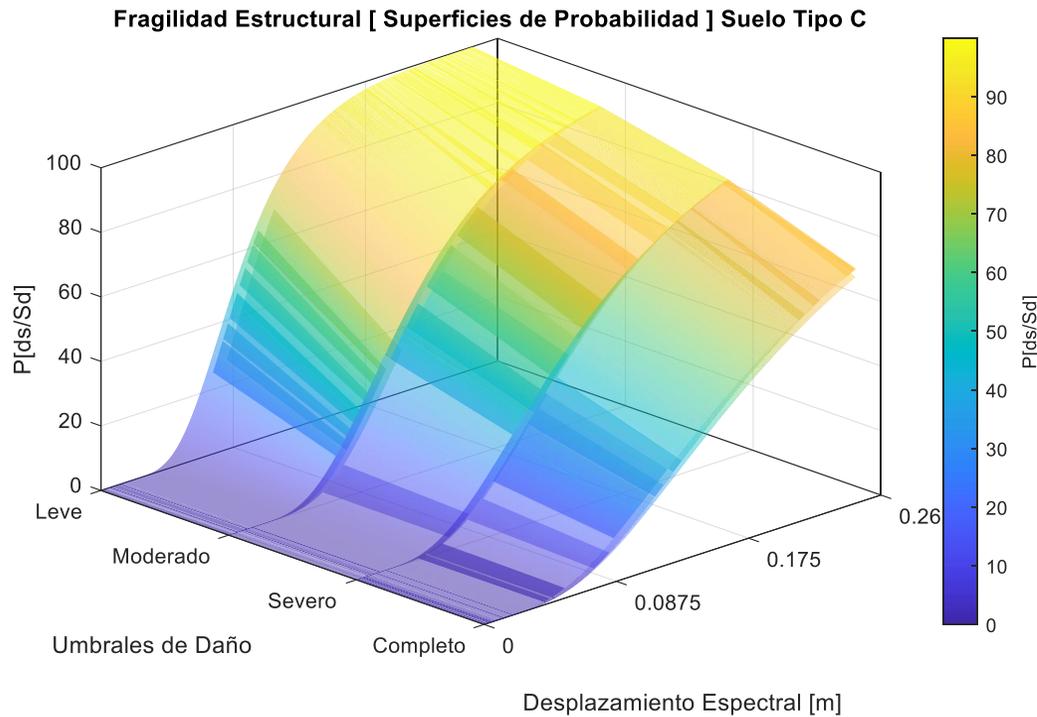
Palacios & Celi (2022)





Palacios & Celi (2022)

# Curvas de fragilidad

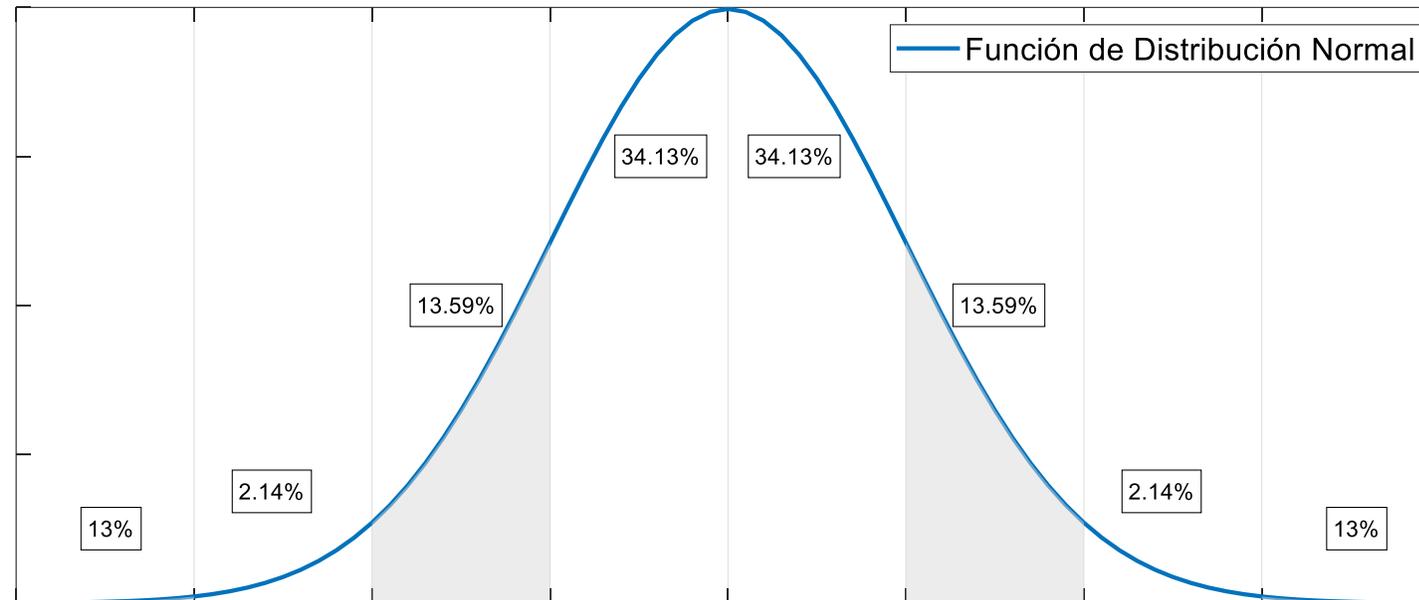


Palacios & Celi (2022)

## Conclusiones matemáticas

- Debido a la alta sensibilidad de la función de distribución que resulta del método presentado al punto teórico de colapso en las curvas de capacidad, este debe ser definido mediante un análisis controlado por fragilidad local dentro del análisis estático no lineal.
- Los umbrales de daño que se utilicen para la definición de las curvas de fragilidad deben ser calculados a partir de las propiedades intrínsecas de la tipología estructural analizada y no deben ser generalizados a partir de otros estudios.
- Aunque se haya utilizado un enfoque probabilista y una disminución de la incertidumbre por la alta cantidad de modelos matemáticos creados, la naturaleza del problema global es altamente no lineal, por lo que no es posible garantizar un nivel alto de confianza de la respuesta obtenida.
- El valor aleatorio asignado de 0.5 desviación estándar, fue suficiente para representar de forma razonablemente coherente los rangos de ocurrencia de igualación o superación de los umbrales de daño definidos por las curvas de fragilidad, este valor supone un valor de confiabilidad del 60% contenido en el percentil 60

# Función de distribución



| Desviación estándar          |       |       |        |        |        |        |        |      |    |    |    |    |    |
|------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------|----|----|----|----|----|
| x-4σ                         | x-3σ  | x-2σ  | x-1σ   | 0      | x+1σ   | x+2σ   | x+3σ   | x+4σ |    |    |    |    |    |
| Porcentajes de confiabilidad |       |       |        |        |        |        |        |      |    |    |    |    |    |
|                              | 0.10% | 2.30% | 15.90% | 50.00% | 84.10% | 97.70% | 99.90% |      |    |    |    |    |    |
| Percentil                    |       |       |        |        |        |        |        |      |    |    |    |    |    |
|                              | 1     | 5     | 10     | 20     | 30     | 40     | 50     | 60   | 70 | 80 | 90 | 95 | 98 |
| Curva normal equivalente     |       |       |        |        |        |        |        |      |    |    |    |    |    |
|                              |       | 10    | 20     | 30     | 40     | 50     | 60     | 70   | 80 | 90 |    |    |    |

Palacios & Celi (2022)

## Conclusiones de tipología

- Los resultados mostraron que para derivas globales del 0.5% de la altura de la edificación, la tipología analizada presentó probabilidades entre el 62% y el 75% de igualar o exceder el límite de daño leve, entre el 35% y el 44% de igualar o exceder el límite de daño moderado, entre el 25% y el 36% de igualar o exceder el límite de daño severo y entre el 19% y el 27% de igualar o exceder el límite de daño completo.
- Se observó que para derivas globales 1.0% de la altura de la edificación, la tipología analizada presentó probabilidades predominantes del 100% de igualar o exceder el límite de daño leve, entre el 91% y el 93% de igualar o exceder el límite de daño moderado, entre el 79% y el 83% de igualar o exceder el límite de daño severo y entre el 65% y el 68% de igualar o exceder el límite de daño completo.

## Conclusiones de tipología

- Las curvas de fragilidad muestran que para un control basado en la deriva máxima permitida por la norma de construcción del 2%, se presentaron probabilidades predominantes del 95% de igualar o exceder el límite de daño completo.
- La vulnerabilidad sísmica determinada a partir de las curvas de fragilidad, para el punto de intersección entre el espectro de capacidad y el de amenaza para un periodo de retorno de 475 años, se concentra de forma predominante en los estados de daño de moderado y severo.
- Ante las probabilidades altas de exceder desplazamientos espectrales que definen niveles de daño severo en la tipología analizada, es necesario implementar estrategias de mitigación de daño en el DMQ por parte de las autoridades municipales, como por ejemplo reforzamientos estructurales pre-evento.

# Agradecimientos

A Carlos Celi, por sus consejos y dirección en esta tesis.

A José Poveda, por sus revisiones y colaboración.

Al Dr. Roberto Aguiar, por su apoyo en la investigación que he realizado en diferentes temas.

Al CAE-P por su colaboración con la entrega de documentación estructural.



**Patricio Palacios B.**

Autor Proyecto de Titulación

Contacto  
Teléfono: 0960773618  
Correo: pxpalacios@jepengineering.com  
ppalacios92@gmail.com



**Carlos Celi S.**

Director Proyecto de Titulación

Contacto  
Teléfono: 0987931842  
Correo: caceli@puce.edu.ec

**ANÁLISIS DE FRAGILIDAD PARA LA TIPOLOGÍA DE EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO  
HECHO EN SITIO CON MAMPOSTERÍA DE RELLENO Y LOSAS PLANAS MACIZAS O ALIVIANADA  
(CR+CIP / LFLSINF + DUC: 4, 6) CONSIDERANDO EFECTOS DE TORSIÓN CON BASE A  
MÉTODOS ESTÁTICOS DIRECTOS ENMARCADO EN EL PROYECTO TREQ-GEM**

Palacios Patricio (1)  
Celi Carlos (2)

(1) Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,  
Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Sangolquí, Ecuador.

(2) Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Departamento de Ingeniería Civil, Quito, Ecuador.



**ResearchGate** | Patricio Palacios (researchgate.net)



**ResearchGate** | Carlos Celi (researchgate.net)



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA