



TESI DE MÀSTER

Màster

Ingeniería Estructural y de la Construcción

Títol

Estudio de la incidencia del coeficiente de comportamiento sísmico en los costes de diseño, reparación y reposición post-sismo en pórticos de hormigón armado

Autor

Rafael Bienvenido Santos Grullón

Tutor

Jesús Miguel Bairán García

Intensificació

Tecnología

Data

Barcelona, 20 de octubre 2018

Agradecimientos

A mi familia

En especial a mi abuelo

Prof. Jesús Miguel Bairán

Índice

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Metodología	3
2. Estado del conocimiento	4
2.1. Tipología estructural: pórticos de hormigón armado Objetivos.....	4
2.2. Comportamiento ante acción sísmica Objetivos	5
2.2.1. Resistencia sísmica, sobre resistencia y rigidez	5
2.2.2. Ductilidad y amortiguamiento	7
2.3. Modelización de la estructura.....	11
2.3.1. Rotula plástica y longitud plástica.....	11
2.3.2. Diagrama momento- curvatura.....	12
2.3.3. Diagrama momento- rotación.....	13
2.4. Tipos de análisis empleados en la ingeniería sísmica	14
2.4.1. Análisis estático lineal	14
2.4.2. Análisis dinámico lineal	15
2.4.3. Análisis modal.....	15
2.4.4. Análisis no lineal con empuje incremental (push over)	16
2.5. Diseño de pórticos de hormigón armado para resistir acciones sísmicas Objetivos ..	17
2.5.1. Clasificación Eurocódigo 8 del sistema según su ductilidad	17
2.5.2. Diseño sísmico de vigas.....	17
2.5.3. Diseño sísmico de pilares	20
2.5.4. Criterio de pilar fuerte- viga débil.....	23
2.5.5. Coeficiente de comportamiento	23
2.5.6. Obtención del punto de desempeño Método EC 8 (2011)	25
2.5.7. Curvas de vulnerabilidad.....	28
2.6. Niveles de daño en elementos y reparaciones	28
2.6.1. Tipos de reparaciones según la FEMA 308.....	28
2.6.2. Evaluación y reconocimiento de los niveles de severidad de daño según FEMA 306	29
2.7. Estudios previos en la literatura.....	31

3. Casos de estudio	34
3.1. Definición de los diversos modelos a analizar	34
3.2. Información sobre espectros de respuesta elásticos para análisis y diseños	36
3.3. Análisis y diseños de los diversos pórticos de hormigón armado.....	37
4. Evaluación Sísmica	42
4.1. Curvas de Capacidad mediante análisis de empuje progresivo (push over).....	42
5. Reparaciones y costes	45
5.1. Niveles de daño y reparaciones estimadas para cada elemento.....	45
5.2. Costos de Construcción y reparación.....	49
5.3. Determinación de costo de reparación esperado.....	52
6. Resultados Reparaciones y costos	55
6.1. Comparación de coste de construcción con el costo de reparación para cada pórtico	55
6.2. Curvas de vulnerabilidad y coeficiente de comportamiento óptimo	60
7. Conclusiones y recomendaciones	63
8. Bibliografía	65
Anexo A	67
Anexo B	77

Resumen

Este estudio se lleva a cabo con el propósito de ver que tan favorable o desfavorable es llevar las estructuras en específico pórticos de hormigón armado a altos niveles de daño debido a la reducción del espectro elástico de respuesta y que llevan a la estructura a incurrir más lejos en la no linealidad para mayor disipación de energía con la creación de mayor número de rotulas plásticas siempre previniendo el colapso. Para esto se ha tomado un pórtico de 5 niveles de altura con dos luces de hormigón armado, el cual fue diseñado para diversos coeficientes de comportamiento y analizado con sismos de periodo de retorno de 100, 475 y 2475 años. Con esto se estimaron los costos de construcción y esperado de reparación para la vida útil de la estructura. Los cuales fueron diseñados bajo la normativa Eurocódigo 8 y analizados mediante un análisis de empuje incremental. Factores tomados en cuenta para la eficacia del coeficiente de comportamiento fueron: el costo de construcción de la estructura, costo de reparación esperado, tiempo de reparación y un coeficiente de sensibilidad que toma en cuenta la disponibilidad post-sismo de mano de obra, materiales y equipos como la capacidad de una zona sísmica poder seguir su funcionamiento luego del evento. Se pudo observar que el punto óptimo para el prototipo del coeficiente de comportamiento se encontraba en $q=4.0$, así la estructura incurriendo en daños, con una buena disipación de energía y para un diseño según el EC8 de ductilidad clase media.

Abstract

This study is carried out with the purpose of seeing how favorable or unfavorable it is to design structures in specific reinforced concrete frames at high levels of damage due to the reduction of the elastic response spectrum and lead to the structure to incur further in non-linearity for greater dissipation of energy with the creation of a greater number of plastic hinges always preventing collapse. For this, a reinforced concrete frame with 5 levels of height with two spans has been taken into investigation, which was designed for various behavior factors and analyzed with earthquakes of a return period of 100, 475 and 2475 years. With this, the cost of construction and expected losses for the useful life of the structure were estimated. Which were designed under the Eurocode 8 standard and analyzed by a pushover analysis. Factors taken into account for the efficiency of the behavior factor were: the cost of construction of the structure, expected repair cost, repair time and a sensitivity coefficient that takes into account the post-earthquake availability of labor, materials and equipment such as the ability of a seismic zone to follow its operation after the event. It was observed that the optimum point for the prototype of the behavior factor is in $q = 4.0$, thus the structure incurring in damage, with a good dissipation of energy and for a design according to EC8 of ductility class medium.

1. Introducción

1.1. Motivación

Una de las grandes problemáticas para la ingeniería estructural ha sido el hecho de la existencia de los terremotos, los cuales al suceder pueden provocar daños en las estructuras reparables e irreparables ocasionando pérdidas económicas e incluso de vidas humanas. Debido a esta problemática los estados, ingenieros y organizaciones tienen como propósito entender el comportamiento de las estructuras ante sismos y la creación de normas que puedan salvaguardar bienes tanto económicos como vidas humanas.

Estos códigos y normas creados con estos fines siempre están siendo modificados ya sea por nuevos descubrimientos en la ingeniería sismorresistente o la mejora de las pautas contenidas en estos. Una de estas pautas es el hecho de que diseñar estructuras para soportar sismos fuertes es la idea no es lo más factible universalmente, ya que diseñar para estos grandes sismos implicaría diseños muy costosos. Esta idea viene siendo utilizada desde los años 60 y cambio la manera de diseñar estructuras, haciendo que las estructuras sismorresistentes incursionaran en el rango no lineal para obtener una mayor disipación de la energía provocada por el sismo. Actualmente se ha podido observar que los costes de reparación, reposición y operación después de un sismo considerablemente fuerte llegan a ser desproporcionados, debido a que en las estructuras se generan grandes niveles de daño ante estos, pero siempre evitando el colapso.

Por esta razón esta técnica se propone revisar que tan eficaz es hacer que las estructuras desarrollen altos niveles de daño. Así buscando obtener cual sería el equilibrio óptimo entre el coste de construcción de la estructura, el coste de reparación esperado y afectar este último coste por un factor de sensibilidad que integre otras variables como el tiempo de reposición y otros. Para esto se reconocerán y evaluarán ciertos coeficientes de comportamiento contenidos en los códigos europeos y americanos para de aquí obtener un valor o rango de valores óptimo para el mismo.

Para esto se llevará a cabo un estudio sobre un pórtico de hormigón armado el cual se diseñará para diversos valores de coeficientes de comportamiento, luego el mismo será evaluado con sismos variando su periodo de retorno y serán costeados sus precios de construcción, reparación y reposición de la estructura.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- El propósito fundamental de la tesis es estudiar para el caso de pórticos de hormigón armado la eficiencia de la elección del coeficiente de comportamiento mediante un análisis de empuje progresivo teniendo en cuenta los costes de construcción, reparación y reposición post-sismo. Estos coeficientes de comportamiento serán extraídos del Eurocódigo 8 y ACI.

1.2.2. Objetivos específicos

- Se reconocerán en los códigos ACI y Eurocódigo 8 los diferentes coeficientes de comportamiento utilizados para el diseño de estructuras sismorresistentes.
- Se determinarán los costes de construcción para diversos pórticos del mismo nivel diseñados con cada uno de los valores de coeficiente de comportamiento elegidos.
- Mediante un análisis de empuje progresivo se obtendrá para diferentes periodos de retorno el punto de desempeño de cada estructura con su coeficiente de comportamiento.
- Se estudiarán las reparaciones de pórticos de hormigón armado. Evaluar las reparaciones necesarias en cada uno de los pórticos. Diseñar y aplicar las mismas, para poder determinar los costes de reparación de estos.
- Se crearán las curvas de fragilidad para las probabilidades de cada sismo y determinar el coste de reparación esperado de la estructura.
- Se determinarán y aplicarán coeficientes de sensibilidad que tomen en cuenta las pérdidas por reposición de los diversos elementos dañados, debido a la demanda y escasez de mano de obra, materiales y/o medios.
- Se obtendrá el coste total esperado de las diversas estructuras y con esto el coeficiente de comportamiento óptimo.
- Se presentarán los resultados y en base a estos las conclusiones y recomendaciones.

1.3. Metodología

La metodología propuesta para cumplir con los objetivos es la siguiente:

- Analizar, diseñar y detallar varios pórticos de 5 niveles de altura para los diversos coeficientes de comportamiento. Con esto determinar cada uno de los costes de construcción de los pórticos con sus respectivos coeficientes de comportamiento.
- Determinar para cada uno de los elementos de las diferentes estructuras su capacidad creando los diagramas momento- rotación de los mismo.
- Analizar las estructuras mediante un análisis de empuje incremental para obtener las curvas de capacidad, utilizando la forma del primer modo de vibración de la estructura.
- Mediante el método del Eurocódigo 8 encontrar el punto de desempeño de las estructuras para cada uno de los periodos de retorno.
- Observar el número de rotulas plásticas creadas para cada punto de desempeño y obtener el nivel de daño de cada uno de los elementos.
- Con el diagrama momento- rotación de cada elemento encontrar en qué nivel de daño se encuentra para determinar el tipo de reparación a utilizar en el elemento.
- Proceder a diseñar la reparación del elemento y costear la misma.
- Luego de obtener los costes de reparación, se procede a calcular con la curva de vulnerabilidad los costes de reparación esperados según la probabilidad de ocurrencia media.
- Se estiman los tiempos de reparación de la estructura y con estos se determinan los coeficientes de sensibilidad para tomar en cuenta la falta de mano de obra, materiales y/o medios.
- Obteniendo el coste total esperado de la estructura se determinan el valor o rango de valores óptimo del coeficiente de comportamiento.

2. Estado del conocimiento

2.1. Tipología estructural: pórticos de hormigón armado Objetivos

Según su comportamiento bajo cargas sísmicas horizontales, los edificios de hormigón se pueden clasificar en diversos tipos de sistemas estructurales, los cuales son (Comité Técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos estructurales, 2006):

- sistemas de Pórticos
- sistema dual (equivalente a pórtico o muro)
- sistema de muros dúctiles (acoplados o desacoplados)
- sistemas de muros de grandes dimensiones ligeramente armados
- sistemas de péndulos invertido
- sistema flexible a torsión (o sistema de núcleo)

Las edificaciones resisten los efectos sísmicos por una combinación de diafragmas estructurales, elementos verticales de pórticos y fundaciones. En edificaciones de hormigón armado, los elementos verticales resistentes a sismo suelen ser muros estructurales o pórticos resistentes a momento.

Los pórticos de hormigón armado resistentes a momento son utilizados como parte de los sistemas resistentes a fuerzas sísmicas en edificaciones proyectadas a resistir sismos. Vigas, pilares y uniones viga-pilar se detallan y proporcionan para resistir acciones que producen axil, cortante y flexión que resultan de la edificación al balancearse por múltiples ciclos de desplazamiento durante la fuerte agitación del suelo durante un sismo (Moehle, 2015).

Los edificios de Hormigón Armado diseñados a acciones sísmicas deben ser capaces de disipar energía sin perjudicar de forma significativa su capacidad global de resistir cargas verticales y horizontales. Debe proporcionarse resistencias adecuadas en todos los elementos estructurales, las ductilidades globales supuestas en los cálculos ante acción sísmica deben ser proporcionales a las demandas de deformación no lineal en las zonas críticas (Comité Técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos estructurales, 2006).

2.2. Comportamiento ante acción sísmica Objetivos

2.2.1. Resistencia sísmica, sobre resistencia y rigidez

Se define la resistencia usualmente en función de la carga aplicada. La capacidad de soportar cargas de los elementos y la estructura en ingeniería sísmica es cuantificada por su resistencia a axil, cortante y momento. La relación entre propiedades mecánicas y geométricas vienen dadas por principios de la ingeniería mecánica. Esta relación es dependiente del material utilizada en la elaboración de la estructura. Ya que estas características y propiedades mecánicas las proporcionan el material resulta que hay ciertas incertidumbres que incurren en el diseño sísmico de estructuras. Estas incertidumbres de las propiedades físicas en el material pueden ser pequeñas en el acero estructural del rango de 4% a 6%, pero pueden ser grandes en hormigón armado y obras de fábrica suele ser mayores del 10%- 15%.

Usualmente las fuerzas del viento son excedidas por las del sismo, presentándose más en las estructuras de baja y mediana altura en áreas de mediana y alto actividad sísmica. La fuerza producida por los sismos es proporcional al peso de la edificación, el resultado de la fuerza sísmica es conocida como cortante en la base (Figura 2.4).

La resistencia de las estructuras depende de secciones, propiedades de los materiales, elementos, conexiones y sistemas (Hatheway, 1996).

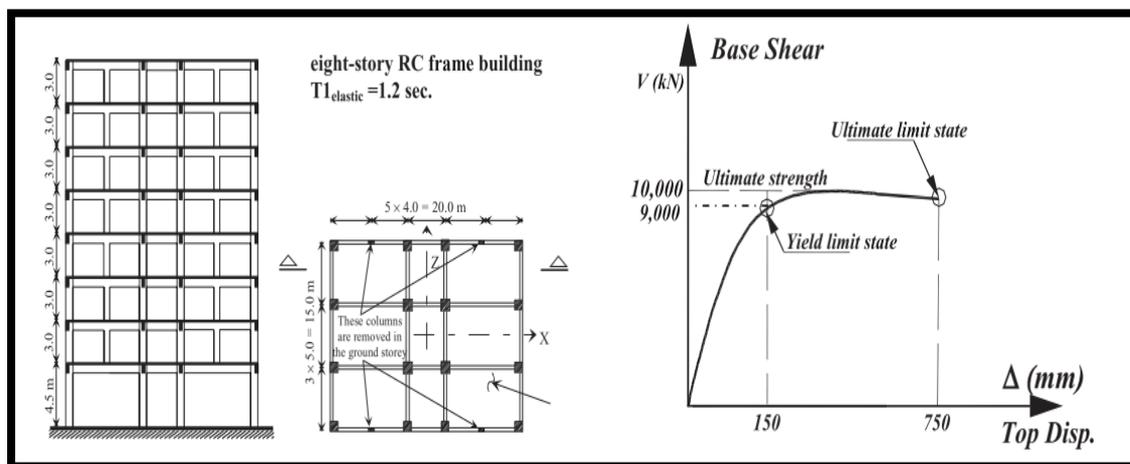


Figura 2.1 Representación del cortante basal en función del desplazamiento en el techo.

(Hatheway, 1996)

En cuanto a la sobre resistencia se habla de un parámetro que cuantifica la diferencia entre la resistencia requerida y la resistencia en si del material, el elemento o el sistema estructural. Se define por un factor de sobre-resistencia Ω_d el cual viene dado por:

$$\Omega d = \frac{V_Y}{V_d} \quad (2.1)$$

Donde:

V_y : es la fuerza lateral actuante de la estructura;

V_d : es la fuerza lateral diseño de la estructura.

Existe una relación entre resistencia, sobre-resistencia y ductilidad la cual se ve en la Figura 2.2.

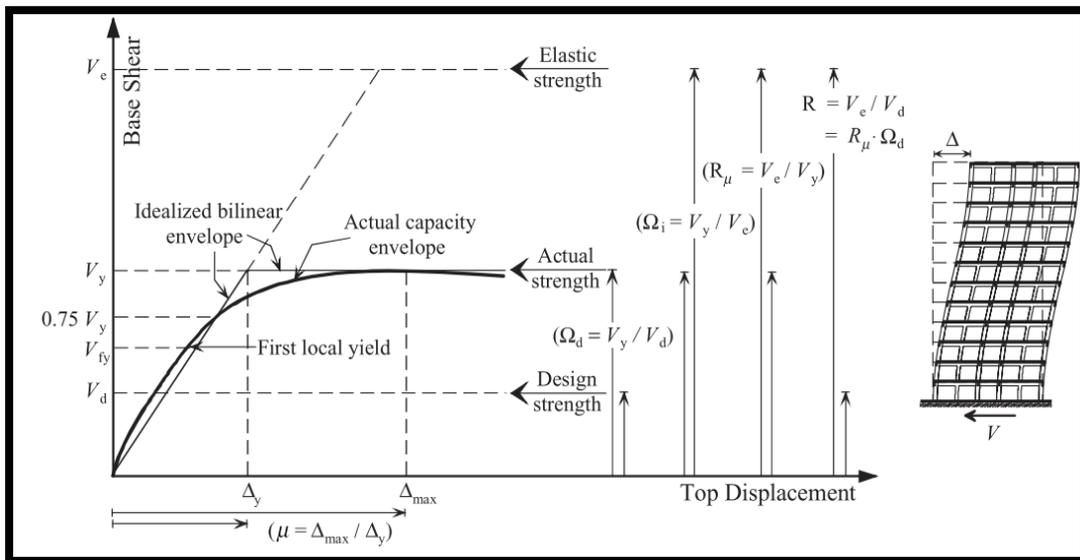


Figura 2.2 Relación entre resistencia, sobre-resistencia y ductilidad. (Hatheway, 1996)

Al hablar de rigidez se refiere a la relación entre las acciones y deformaciones de una estructura y sus componentes. La sección, longitud y condiciones de contorno son función de la rigidez de los miembros. Establecer la rigidez en hormigón armado no es tan fácil ya que esta es afectada por el agrietamiento del hormigón, la cedencia de las barras de acero y otras fuentes de inestabilidades. En hormigón armado la rigidez puede tomarse como la secante de cualquiera de los puntos de la curva de respuesta (Figura 2.3).

Para controlar las deformaciones laterales es de suma importancia en el diseño sísmico dotar a la estructura de una adecuada rigidez lateral, ya se para evitar daños a elementos no estructurales, inestabilidad de la estructura o los elementos y asegurar confort de los humanos durante un sismo pequeño o mediano.

La rigidez es función de las cualidades del material, de la sección, de las propiedades de los miembros y de propiedades de las conexiones (Hatheway, 1996).

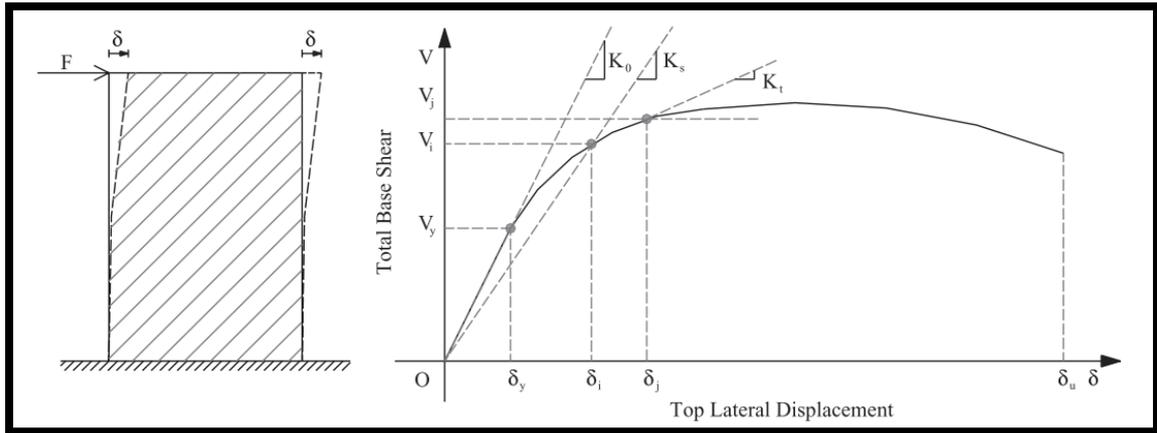


Figura 2.3 Diferentes rigideces secantes del hormigón armado. (Hatheway, 1996)

2.2.2. Ductilidad y amortiguamiento

Ductilidad se le llama a la habilidad de desarrollar deformaciones inelásticas con pérdidas aceptables en la rigidez y resistencia de un material, elemento, conexión o estructura, esta definición se puede observar en la Figura 2.4. Se suele por factores económicos hacer que la mayoría de las estructuras se comporten de manera inelástica antes la presencia de un sismo fuerte. Las deformaciones dúctiles permiten la absorción y disipación de energía lo cual controla el nivel de las amplitudes generadas por las vibraciones sísmicas. Por ejemplo, sistemas donde se pueden generar grandes fuerzas laterales son los que tiene muy poca capacidad de disipación de energía.

La ductilidad de desplazamiento (factor de ductilidad) se define por la siguiente formula:

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (2.2)$$

Donde:

Δ_u : es el desplazamiento ultimo;

Δ_y : es el desplazamiento en el punto de cedencia.

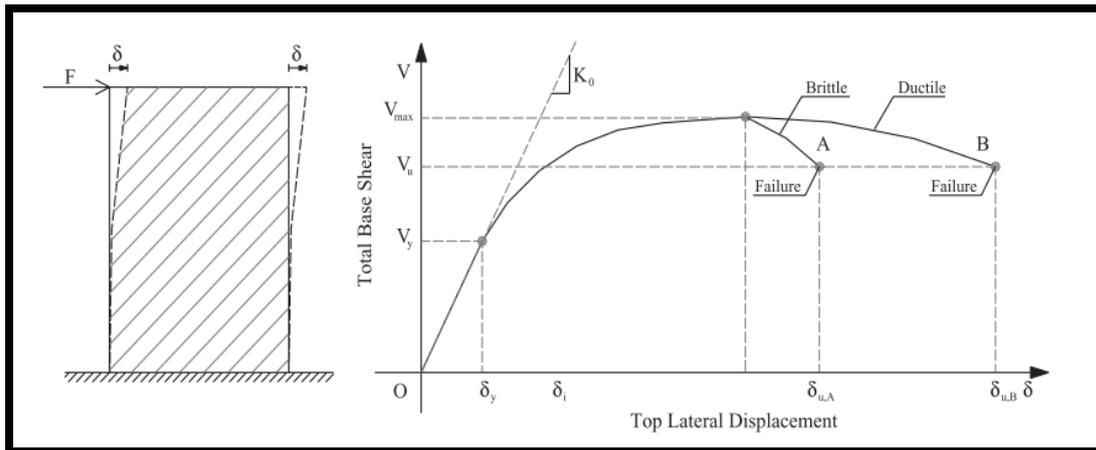


Figura 2.4 Definición de ductilidad. (Hatheway, 1996)

La ductilidad puede variar dependiendo de la variación de alguno de los parámetros de la sección. Como es el incremento de la deformación unitaria del hormigón aumenta la ductilidad de la sección; el aumento de la resistencia del hormigón aumenta la ductilidad; aumento de la deformación de cedencia de las barras de acero aumenta la ductilidad; mientras que el aumento de la fuerza axial en el elemento disminuye la ductilidad del mismo.

La falla en estructuras dúctiles no se da debido a que se alcanza la máxima resistencia o se crea la primera rotula plástica en algún elemento. Estas permiten en sistemas de varios grados de libertad que se sigan formando rotulas plasticas en los demás elementos así disipando energía y siguiendo soportando la fuerza sísmica. Se da debido a que la pérdida de rigidez en algunos elementos y la no pérdida en otras lleva a que se traspase la acción sísmica de los que tienen menos rigidez a los de más aumentando esto la vida de la estructura ante el sismo. Para alcanzar el colapso en estructuras dúctiles es necesario que se formen rotulas plásticas en las vigas. En la Figura 2.5 podemos ver diferentes mecanismos de colapso y la ductilidad que llega a desarrollarse en cada uno de estos.

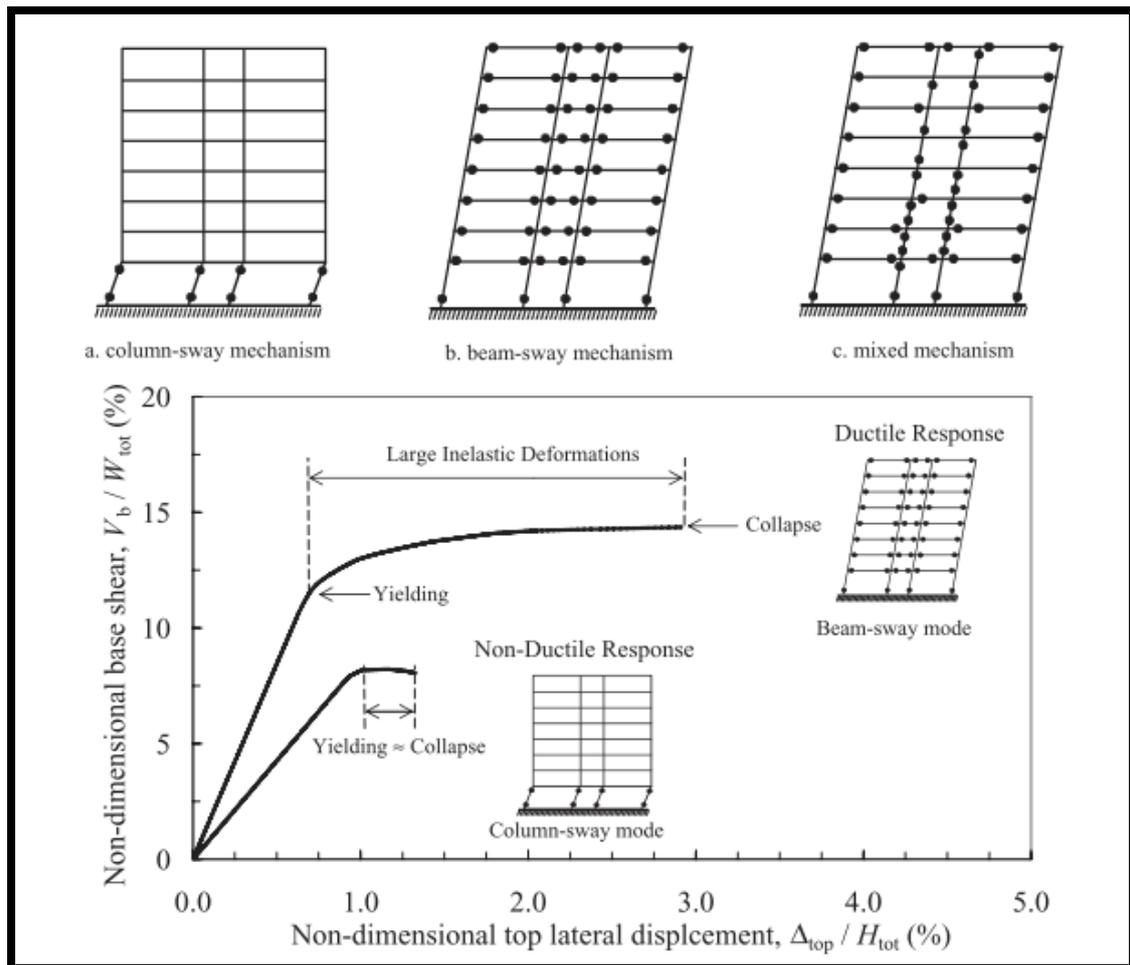


Figura 2.5 Diversos mecanismos de colapso son la ductilidad capaz de desarrollar cada uno.
(Hatheway, 1996)

Según Vielma et al (2011) es muy difícil obtener el punto donde se produce la plastificación global. Pero se utiliza el punto donde se produce la primera plastificación en el acero de alguna sección de los elementos (cuando aparece la primera rotula plástica) lo cual implica que se obtenga un valor muy conservador de la ductilidad, ya que esta es sucedida por varias rotulas plásticas más y aún se conserva bien la rigidez en la estructura y resistencias iniciales. Siguen sucediendo las plastificaciones ya si llegando a un punto donde obtenemos la plastificación global donde aparece una pendiente casi cero. También es problemático determinar el desplazamiento en la cual colapsa la estructura. Vielma et al (2011) utilizaron en su trabajo este punto como en punto en el cual la pendiente de la curva comenzó a ser negativa.

La energía disipada en un modo de balanceo de las vigas es mayor que la de un modo de balanceo de las columnas, por lo cual siempre se busca que se produzcan rotulas en todas las vigas posibles.

La prevención de colapso es lo que se busca en un diseño sismorresistente. El colapso viene se produce cuando la estructura no es capaz de mantener de manera segura las cargas gravitacionales. Generalmente sucede cuando los elementos verticales que trabajan cargando las cargas gravitacionales fallan por no poder transferir la fuerza cortante entre los elementos verticales y horizontales o se produce un fallo por compresión en elementos verticales.

Algunos fallos frágiles en materiales utilizados en la construcción son:

Hormigón Armado, se presenta el pandeo de las barras de acero longitudinales, pérdida de anclaje o movimiento de las barras de acero dentro del hormigón y el fallo de un elemento a cortante.

Se habla de amortiguamiento a la habilidad de una estructura de disipar energía durante un evento de carácter dinámico. Este suele depender de diversos factores como el material de la construcción, la amplitud de las vibraciones sísmicas, la configuración estructural, los modos de vibración y los periodos fundamentales de vibración.

El amortiguamiento proviene de diversas fuentes tales como elementos estructurales que suplementan la estructura para mayor amortiguamiento, el amortiguamiento en sí de los materiales y elementos de la estructura, la transferencia de energía de la estructura en vibración al suelo y la debida a la radiación de las ondas sísmicas alejadas de la fundación de la estructura.

En la siguiente Figura 2.6 se presentan rangos de valores típicos de amortiguamiento hysterético para diversos materiales con diferentes niveles de fisuras en los materiales.

Material	Damping, ξ_m (%)
Reinforced concrete	
Small amplitudes (un-cracked)	0.7–1.0
Medium amplitudes (fully cracked)	1.0–4.0
High amplitudes (fully cracked) but no yielding of reinforcement	5.0–8.0
Pre-stressed concrete (un-cracked)	0.4–0.7
Partially stressed concrete (slightly cracked)	0.8–1.2
Composite	0.2–0.3
Steel	0.1–0.2

Figura 2.6 Diversos rangos de amortiguamientos hysteréticos. (Hatheway, 1996)

2.3. Modelización de la estructura

2.3.1. Rotula plástica y longitud plástica

Rotula plástica se define como mecanismos hallados en zonas críticas del elemento capaces de disipar energía, las cuales se producen cuando partes del elemento llegan a sobrepasar el momento plástico de la sección. Estas permiten un mejor comportamiento de la estructura y la redistribución de la acción sísmica en diversos elementos.

En cuanto a la longitud plástica teóricamente es definida por la siguiente ecuación (2.3):

$$Lp = \frac{Mu - My}{V} \quad (2.3)$$

Donde:

M_u : es el momento último de la sección;

M_y : es el momento de cedencia de las barras de acero en la sección de hormigón;

V : es el cortante experimentado por la sección.

Por otro lado, el Eurocódigo 8 utiliza otra fórmula la cual es (2.4):

$$Lp = 0.10 * L + 0.015 * \Phi * f_y k \quad (2.4)$$

Donde:

L : es la longitud desde la sección afectada hasta el punto de inflexión;

Φ : menor diámetro del acero longitudinal;

$f_y k$: límite de cedencia del acero longitudinal.

Las ventajas al utilizar la rotulas plásticas son (J. Bairán, 2017):

- Simplicidad de modelización.
- Preciso mecanismo al momento de colapso.
- Representa el comportamiento no lineal de la estructura.

2.3.2. Diagrama momento- curvatura

Estos diagramas suelen construirse para hormigón armado considerando que las deformaciones por flexión son la que predominan en el diseño.

Definiendo curvatura como la variación del ángulo (rotación) en razón a la longitud en el eje donde se produce la flexión.

La creación de los diagramas momentos curvatura resulta tediosa debido a que deben realizarse una gran cantidad de iteraciones. Para la determinación de cada punto del diagrama deben cumplirse las ecuaciones de compatibilidad, equilibrio, las condiciones de adherencia hormigón- acero y relaciones constitutivas de los materiales.

La curvatura variando los diferentes factores hasta obtener la convergencia con cada condición se obtiene por la siguiente ecuación (2.5):

$$\varphi_i = \frac{\varepsilon_c}{c_i} = \frac{\varepsilon_s}{d - c_i} = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d} \quad (2.5)$$

En la Figura 2.7 podemos observar las iteraciones necesarias para la determinación de los puntos del diagrama momento- curvatura (Ottazzi Pasino, 2011).

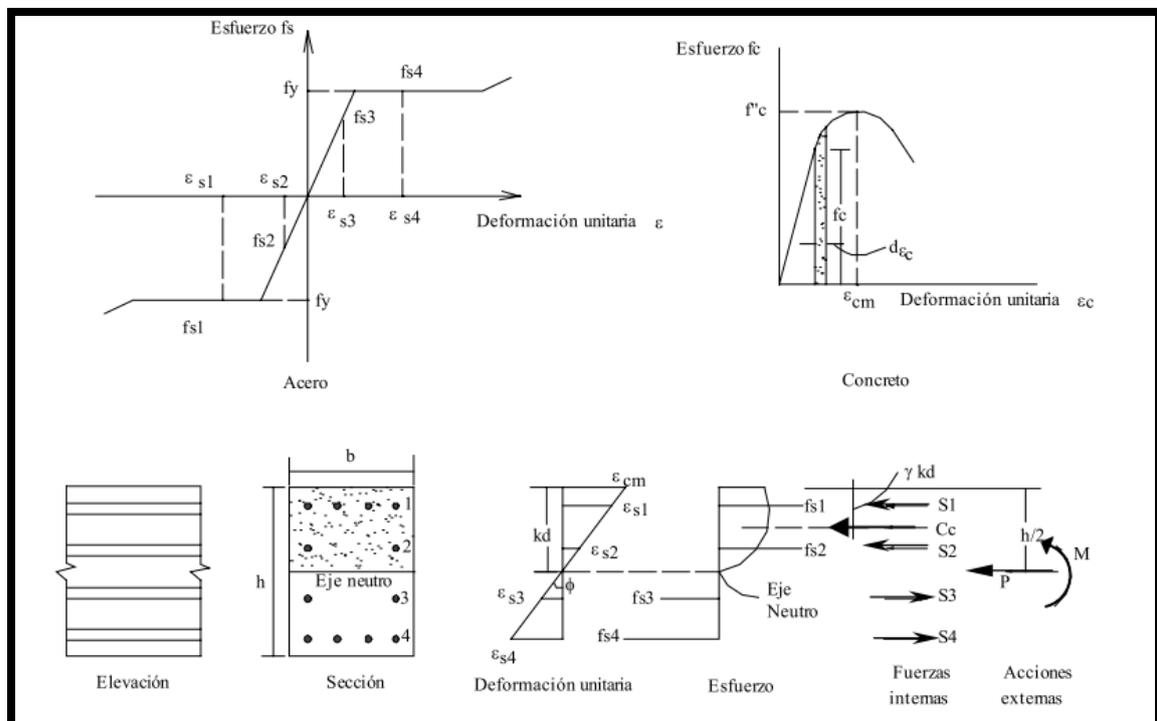


Figura 2.7 Determinación de un punto en el diagrama M-curvatura. (Ottazzi Pasino, 2011)

2.3.3. Diagrama momento- rotación

Para modelar la estructura es necesario crear su diagrama de momento- rotación o momento curvatura. A partir de la curvatura se puede obtener la rotación del elemento en cierta longitud. Esta se haya integrando las curvaturas en toda la longitud (Mejia, 2017). En la Figura 2.8 se presenta un diagrama momento- rotación plástica.

Si se desea conocer la rotación plástica de un elemento sin considerar la rotación plástica se obtiene de la manera siguiente (2.6):

$$\theta_p = (\Phi_{max} - \Phi_y) * L_p \quad (2.6)$$

Donde:

Φ_{max} : Giro máximo del elemento;

Φ_y : Giro plástico;

L_p : Longitud plástica.

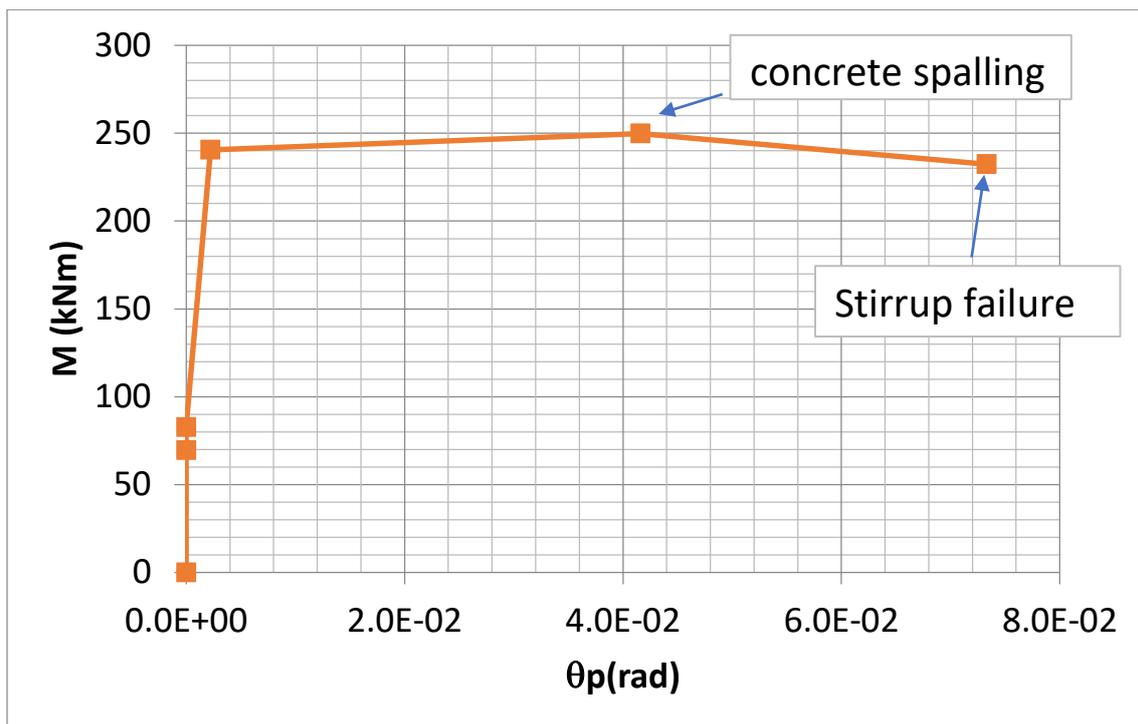


Figura 2.8 Diagrama momento- rotación plástica. (JM Bairán, 2017b)

2.4. Tipos de análisis empleados en la ingeniería sísmica

Existen varios métodos de análisis de los cuales algunos son más aplicados que otros dependiendo de qué es lo que se busca analizar y que acciones intervienen en este. Estos métodos según el comportamiento se pueden diferenciar en dos tipos lineales y no lineales. Otra forma por la cual se clasifican son la manera de ser cargas las estructuras a analizar que son: estáticos y dinámicos. También los mismo pueden llegar analizarse en las tres dimensiones o simplificados a planos dependiendo esto de la regularidad de la estructura analizada. En la Figura 2.9 se muestran los diversos métodos de análisis con combinaciones de estos que son utilizados comúnmente en los proyectos de estructuras.

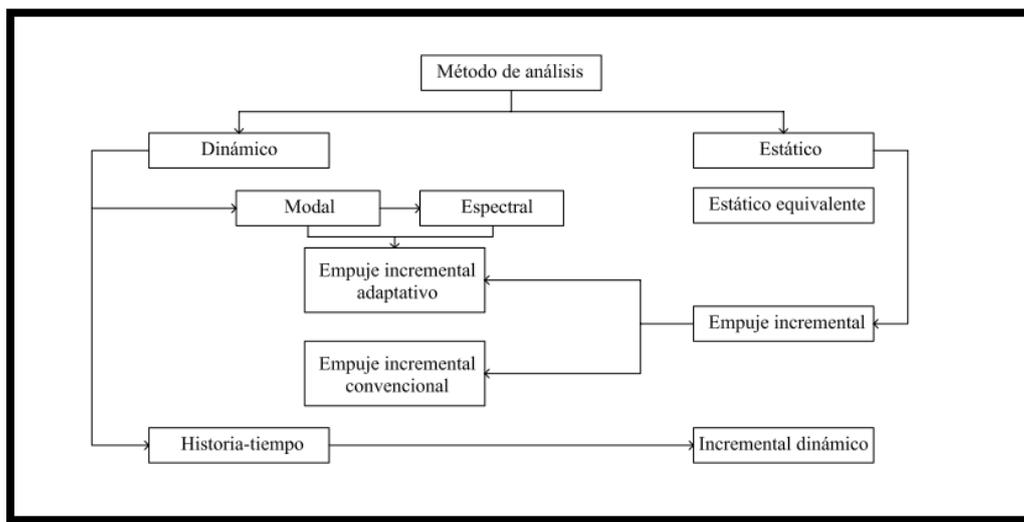


Figura 2.9 Diversos Métodos de Análisis. (Vielma, Barbat, & Oller, 2011)

2.4.1. Análisis estático lineal

Es los análisis sísmicos este es uno de los métodos más sencillos utilizados para el cálculo de fuerzas sísmicas equivalentes, las cuales son calculadas determinando valores como el cortante en la base que se obtiene de la multiplicación del coeficiente sísmico por el peso sísmico de la estructura. El coeficiente sísmico se determina a través de los espectros de proyecto inelásticos, utilizando sea el periodo fundamental de la estructura o el periodo de su primer modo de vibración. La estructura se modela en el plano, de aquí el cortante se distribuye en los diversos pisos de una forma típica que suele ser una carga incremental desde los pisos más bajos a los más altos, lo que conlleva que la estructura conste de regularidad y no se recomienda para estructuras irregulares cuya respuesta dinámica pueda ser influenciada por los modos de vibración superiores (Vielma et al., 2011). Se modela con un sistema

equivalente de varios grados de libertad con una rigidez elástica lineal y amortiguamiento viscoso equivalente.

2.4.2. Análisis dinámico lineal

Para este método se utilizan sistemas con uno o varios grados de libertad, con ayuda de una matriz de rigidez elástica lineal más una matriz de amortiguamiento viscoso equivalente. La acción sísmica proviene ya sea de un análisis modal o análisis histórico-temporal (time history). Para el análisis temporal se suelen usar registros reales o acelerogramas artificiales como entrada, esto implica que se analiza la respuesta de la estructura paso a paso en el tiempo. Para esto los desplazamientos internos son calculados en el rango lineal elástico de los elementos (Moreno, Pujades, Aparicio, & Barbat, 2007).

2.4.3. Análisis modal

Ya que para cada nudo de la estructura se puede definir un modo de vibración, se simplifica y se utilizan únicamente el número de grados de libertad correspondientes a los forjados estos son la rotación alrededor del eje z y las traslaciones correspondientes los grados de libertad x e y. Por cada edificio se asume los números de grados de libertad como tres por nivel de pisos. Se resuelve el problema de autovalores y autovectores. Ya así se conoce cada uno de los periodos de vibración de la estructura, ya con esto y las condiciones del tipo de suelo más el coeficiente de comportamiento requerido, se procede a construir el espectro de cálculo de la estructura (Vielma, 2008).

Según el Eurocódigo 8 la componente horizontal de la acción sísmica viene dada por el espectro de respuesta elástica, el cual se representa en la Figura 2.10.

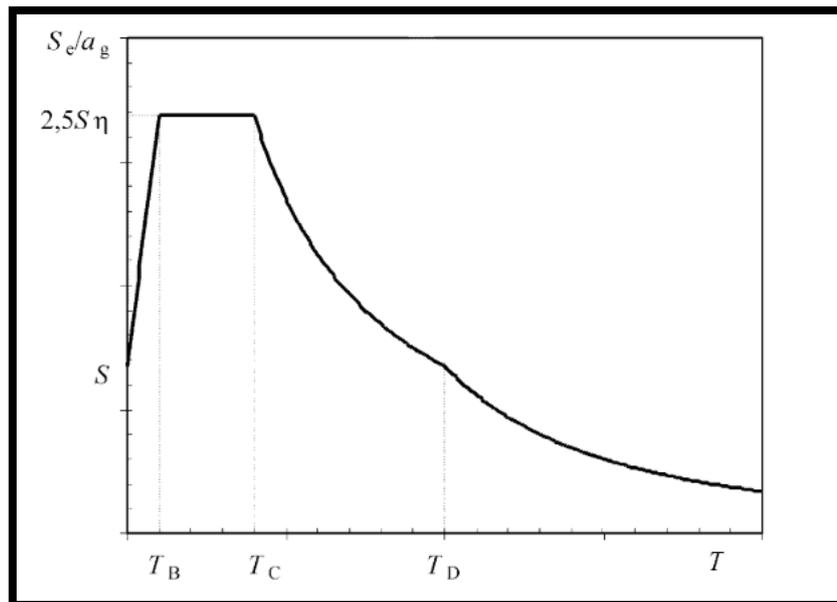


Figura 2.10 Espectro de Respuesta Elástico. (Comité Técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos estructurales, 2006)

2.4.4. Análisis no lineal con empuje incremental (push over)

Otro tipo de análisis de estructuras es el inelástico con empuje incremental (push over), este tiene una aplicación pseudo estática, lo que quiere decir que no depende del tiempo, donde se utilizan fuerzas laterales o desplazamientos provocados por estas fuerzas de tipo monótono. De ser utilizadas las fuerzas horizontales se dice que es de control de fuerzas y si este se utilizan los desplazamientos se dice que es de control de desplazamientos. Se procede a establecer el patrón de fuerzas o desplazamientos laterales según la distribución que se utilice. En este proceso se empiezan a incrementar desde cero la fuerza o desplazamiento lateral lo que provoca que la estructura pase por un estado elástico, hasta que en esta se produce la primera plastificación, así el elemento va distribuyendo su excedente en momento y la estructura pierde rigidez. En la estructura seguirán plastificando zonas de elementos hasta que esta no pueda incrementar más su resistencia lateral global y la estructura entre en un estado de comportamiento plástico global, lo cual seguirá incrementando dependiendo de si la dicha tenga un comportamiento dúctil o frágil. En la Figura 2.11 se observa la curva de capacidad de una estructura regular la cual también presenta la curva idealizada por igualdad de energías que suele ser utilizada para simplificación de procedimientos (Vielma et al., 2011).

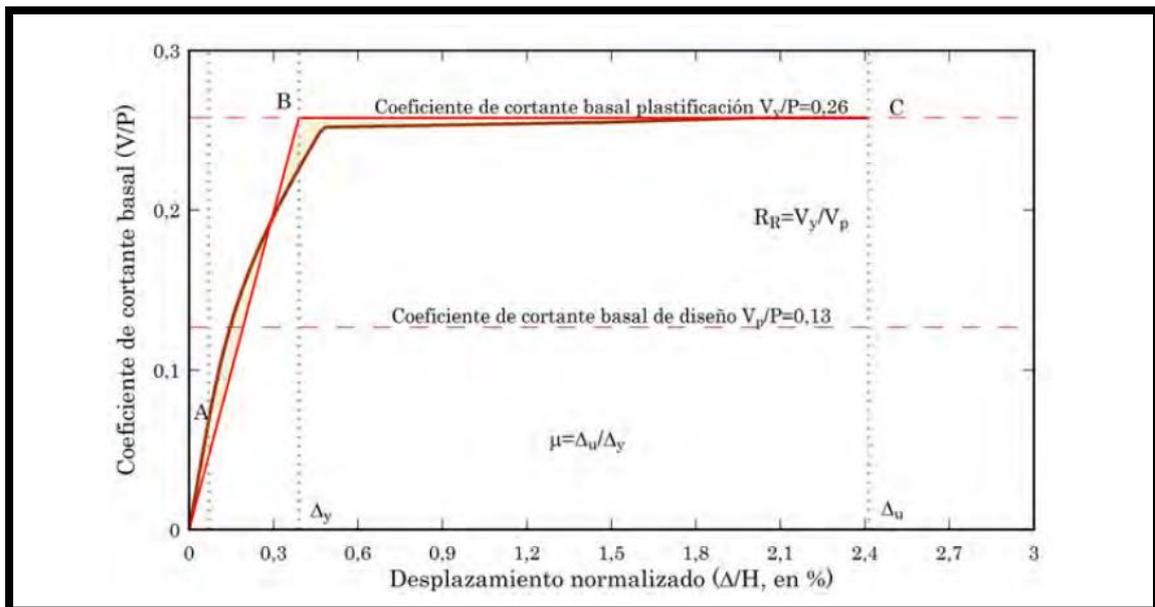


Figura 2.11 Curva de Capacidad Real e Idealizada. (Vielma et al., 2011)

2.5. Diseño de pórticos de hormigón armado para resistir acciones sísmicas

Objetivos

2.5.1. Clasificación Eurocódigo 8 del sistema según su ductilidad

DCL (Clase de ductilidad L o baja (low)): Se puede como alternativa utilizar las reglas de la Norma EN 1992-1 1:2004 para acción sísmica de cálculo solo cumpliendo con los requisitos de esta regla estos mismo siendo dimensionados para baja capacidad de disipación y baja ductilidad.

DCM (Clase de ductilidad M o media (medium)): Las edificaciones de hormigón pueden ser diseñadas en esta clase dependiendo de su capacidad de disipación por histéresis.

DCH (Clase de ductilidad H o alta (high)): Las edificaciones de hormigón pueden ser diseñadas en esta clase dependiendo de su capacidad de disipación por histéresis.

2.5.2. Diseño sísmico de vigas

Vigas Clase Ductilidad Media (DCM)

La capacidad y el detallado por el cual deben ser diseñadas las vigas con responsabilidad sísmica están dados por el Eurocódigo 8. En este en cuestiones de esfuerzos de cálculo expresa que el esfuerzo de cálculo de cortante debe ser determinado bajo un criterio de capacidad equilibrándose las acciones en trabajan en estas como: la carga transversal en combinación

sísmica que actúa sobre esta, los momentos plásticos en los extremos para cada sentido de giro de estos (momento positivo y negativo).

Los momentos tanto positivos como negativos de los extremos de la viga deben ser calculados mediante la siguiente fórmula (2.7):

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} * M_{Rb,i} \min\left(1, \frac{\sum M_{Rc}}{\sum M_{Rb}}\right) \quad (2.7)$$

Donde:

γ_{Rd} : es el coeficiente que considera el endurecimiento del acero, en vigas DCM se puede tomar como 1;

$M_{Rb,i}$: es el valor de la resistencia de cálculo en el extremo i con el sentido considerado debido a la acción sísmica;

$\sum M_{Rc}$: la suma de las resistencias de cálculos de los pilares en el nodo;

$\sum M_{Rb}$: la suma de las resistencias de cálculos de las vigas en el nodo.

En la siguiente Figura 2.12 especifica como tomar los momentos para el cálculo de capacidad buscando determinar el esfuerzo cortante.

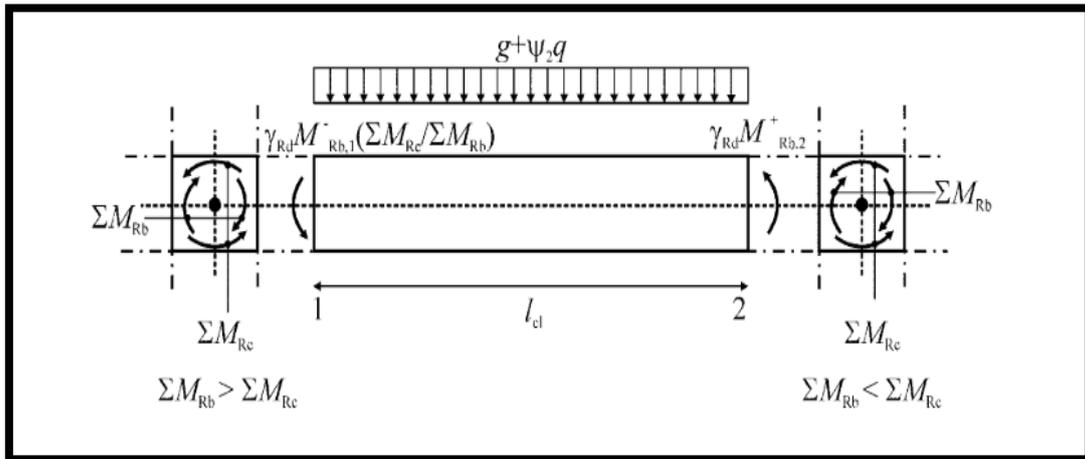


Figura 2.12 Determinación de momentos en los extremos para cálculo de esfuerzo cortante.

(Comité Técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos estructurales, 2006)

El detalle de vigas para diseño sismorresistente depende de la clase de ductilidad, sea esta media o alta.

Para DCM (clase de ductilidad media) se especifican en el Eurocódigo 8 los siguientes requisitos. Se especifica que la longitud crítica ser de $L_{cr} = h_w$ (canto de la viga) distancia desde la conexión viga pilar.

También se debe satisfacer:

- a) Debe dotarse todas las secciones con al menos la mitad del acero de tracción en las zonas de compresión y que estas misma cumplan con el equilibrio.
- b) la cuantía de tracción no debe sobrepasar la cuantía máxima que viene dada por:

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0.0018}{\mu\phi * \epsilon_{sy,d}} * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (2.8)$$

- c) la cuantía a tracción en las secciones de la viga no debe ser menor a:

$$\rho_{min} = 0.5 * \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) \quad (2.9)$$

- d) En las zonas críticas se debe cumplir ciertas condiciones:
 - El diámetro de los cercos en milímetros no debe ser menor de 6;
 - La separación de cercos en milímetros no mayor a:

$$s = \text{mín}\{h_w/4; 24 \text{ dbw}; 225; 8 \text{ dbl}\} \quad (2.10)$$

Donde:

h_w : canto de la viga en milímetros;

dbw : diámetro del acero transversal en milímetros;

dbl : diámetro menor del acero longitudinal en milímetros.

- En el extremo de la viga el primer cerco debe estar a una distancia menor de o igual a los 50 milímetros.

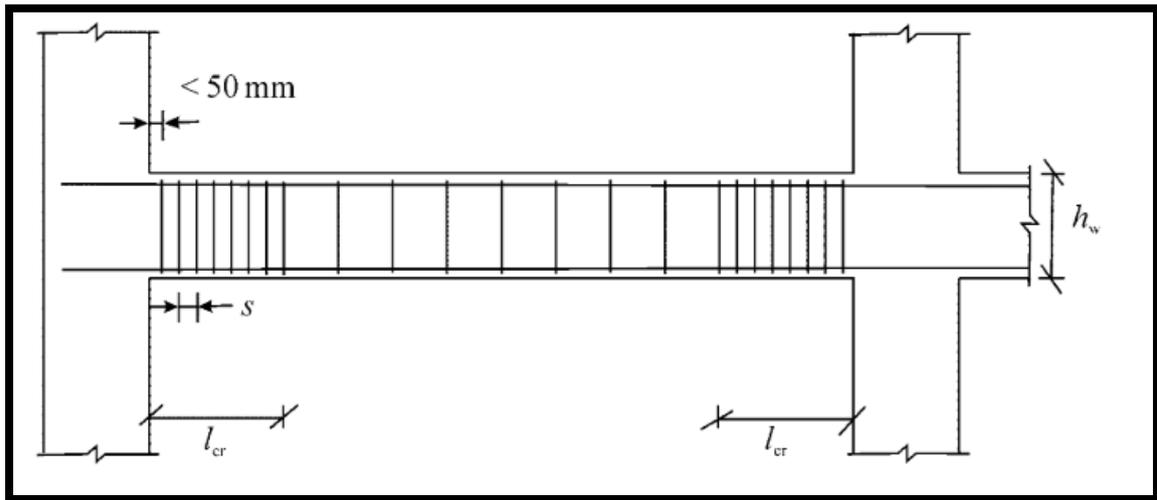


Figura 2.13 Detallado de viga DCM para diseño sismorresistente. (Comité Técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos estructurales, 2006)

Vigas Clase Ductilidad Alta (DCH)

Se aplican las mismas condiciones en cuanto a la capacidad de la viga. Difiere en que $L_{cr} = 1.5 h_w$ y de que la separación mínima pasa a ser (2.11):

$$s = \text{mín}\{h_w/4; 24 dbw; 175; 6 dbl\} \quad (2.11)$$

2.5.3. Diseño sísmico de pilares

Pilares Clase Ductilidad Media (DCM)

Igual que en las vigas el diseño sismorresistente de pilares debe cumplir ciertos requisitos tanto de capacidad como de detallado. Se debe proceder a calcular el esfuerzo cortante de cálculo de acuerdo con la capacidad del pilar este siempre en equilibrio. Los momentos en cada uno de los extremos del pilar se calcularán de esta manera (2.12):

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} * M_{RC,i} \text{ mín.} \left(1, \frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rc}} \right) \quad (2.12)$$

Donde:

γ_{Rd} : es el coeficiente que considera el endurecimiento del acero, en vigas DCM se puede tomar como 1

M_{Rbi} : es el valor de la resistencia de cálculo en el extremo i con el sentido considerado debido a la acción sísmica

ΣM_{Rc} : la suma de las resistencias de cálculos de los pilares en el nodo

ΣM_{Rb} : la suma de las resistencias de cálculos de las vigas en el nodo.

En la Figura 2.8 especifica como tomar los momentos para el cálculo de capacidad buscando determinar el esfuerzo cortante.

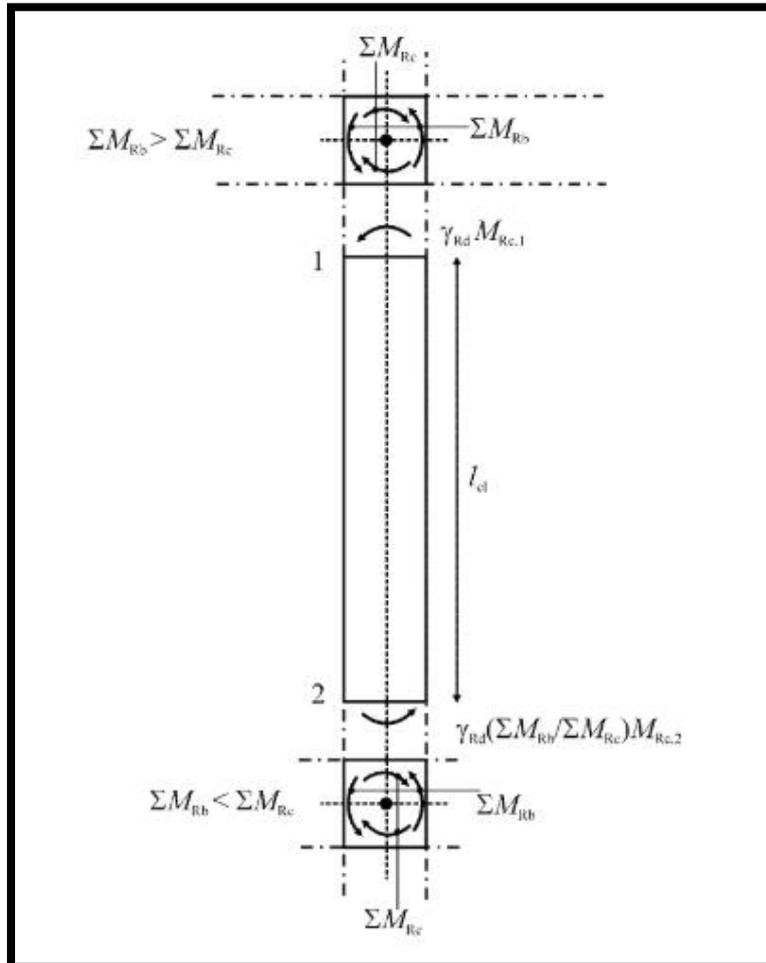


Figura 2.14 Determinación de momentos en los extremos para cálculo de esfuerzo cortante.

(Comité Técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos estructurales, 2006)

En el detallado de pilares DCM se deben cumplir los siguientes requerimientos según el Eurocódigo 8:

- a) La cuantía geométrica no debe ser menor a 0.01 y no mayor 0.04, debiéndose colocar cuantía simétrica en secciones transversales simétricas.

- b) Para asegurar la unión viga pilar se debe colocar por lo menos una barra de acero entre las de esquina del elemento pilar.
- c) La longitud crítica L_{cr} para pilares en metros será la mayor de la siguiente afirmación (2.13):

$$L_{cr} = \text{máx} \left\{ h_c; \frac{l_{cl}}{6}; 0.45 \right\} \quad (2.13)$$

Donde:

h_c : mayor dimensión de la sección transversal en metros,

l_{cl} : longitud libre del pilar en metros.

- d) Se deben utilizar cercos de al menos 6 mm de diámetro y que la separación cumpla lo siguiente:

- La separación entre cercos sea menor que:

$$s = \text{mín} \left\{ \frac{b_o}{2}; 175; 8 \text{ dbl} \right\} \quad (2.14)$$

Donde:

b_o : desde el eje de los cercos, la menor dimensión del núcleo de la sección transversal,

dbl : menor diámetro del acero longitudinal.

Pilares Clase Ductilidad Alta (DCH)

Se siguen cumpliendo los requerimientos básicos de DCM cambiando los siguientes, la longitud crítica viene dada por (2.15):

$$L_{cr} = \text{máx} \left\{ 1.5 h_c; \frac{l_{cl}}{6}; 0.60 \right\} \quad (2.15)$$

Y la separación mínima de cercos es (2.16):

$$s = \text{mín} \left\{ \frac{b_o}{3}; 125; 6 \text{ dbl} \right\} \quad (2.16)$$

2.5.4. Criterio de pilar fuerte- viga débil

Es un criterio que se aplica en diferentes códigos de diseño sismorresistente. El cual se refiere a que la sumatoria de momentos de flexión de los pilares en un nudo se aumenta en cierto valor para ser mayor que la sumatoria de momentos de flexión de las vigas en el mismo nudo.

En la tesis presentada por García (2018) este utiliza el valor de sobre-resistencia en los pilares de 6/5 para comprobar que se crean las rotulas plásticas en todas las vigas. El mismo concluye que el factor de sobre-resistencia utilizado por el Eurocódigo 8 no cumple con su objetivo de desarrollar todas las rotulas en las vigas y que el fallo en los casos estudiados vino dado por el mecanismo de piso creada en los pilares de las estructuras. También concluye que a medida que este aumenta la altura del pórtico los giros plásticos aumentan, de igual manera que al aumentar el coeficiente de comportamiento (q) y mantener el número de pisos los giros plásticos aumentan.

Ha mayor altura y mayor coeficiente de comportamiento (q) los modos de vibración que sensibilizan más la estructura son los modos altos (García, 2018).

2.5.5. Coeficiente de comportamiento

Los valores máximos de coeficientes de comportamiento q , debe obtenerse para las direcciones consideras y este depende de la capacidad de disipación de energía del sistema estructural, se obtiene aplicando este formula (2.17) (Comité Técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos estructurales, 2006):

$$q = q_o \cdot k_w \geq 1.5 \quad (2.17)$$

Donde:

q_o : valor básico del coeficiente de comportamiento, este dependiendo de la tipología estructural y la regularidad en planta de la misma;

k_w : se utiliza para sistemas con muros y manifiesta el modo de rotura dominante.

TIPO ESTRUCTURAL	DCM	DCH
Sistema de pórticos, dual, de muros acoplados	$3,0 \alpha_u/\alpha_1$	$4,5 \alpha_u/\alpha_1$
Sistema de muros desacoplados	3,0	$4,0 \alpha_u/\alpha_1$
Sistema núcleo	2,0	3,0
Sistemas de péndulo invertido	1,5	2,0

Figura 2.15 Diversos coeficientes de comportamiento según su tipo estructural. (Comité Técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos estructurales, 2006)

Se define:

α_1 : es un valor que multiplica la acción sísmica horizontal, de tal manera que cualquiera de los elementos del sistema alcance su resistencia a flexión primero que los demás lleguen a este valor;

α_u : es un valor que multiplica la acción sísmico horizontal, de tal manera de que el sistema por el número de rotulas plásticas ya desarrolladas se vuelva inestable globalmente, manteniendo los demás valores del sistema constantes. Este se puede obtener mediante un análisis global estático no lineal (empuje incremental “push over”) (Comité Técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos estructurales, 2006).

En cuanto a las normas utilizadas en américa están la FEMA P-750 y ACI-318. En estas se presentan valores del coeficiente de modificación de respuesta (R) en el Eurocódigo 8 llamado como coeficiente de comportamiento. Ambos códigos americanos definen diversos tipos de pórticos según su ductilidad y que requieren detallados específicos para asegurar que esta ductilidad es alcanzable sin que se produzca fallas frágiles o de cortante. Se utiliza la definición de pórticos ordinarios resistentes a momento, pórticos intermedios resistentes a momentos y pórticos especiales resistentes a momentos. En la Figura 2.16 se muestran los coeficientes de reducción de respuesta utilizados por estos códigos.

C. MOMENT-RESISTING FRAME SYSTEMS			
1.	Special steel moment frames		8
2.	Special steel truss moment frames		7
3.	Intermediate steel moment frames		4.5
4.	Ordinary steel moment frames		3.5
5.	Special reinforced concrete moment frames		8
6.	Intermediate reinforced concrete moment frames		5
7.	Ordinary reinforced concrete moment frames		3
8.	Special composite steel and concrete moment frames		8

Figura 2.16 Coeficientes de modificación de respuesta (R) para FEMA P-750. (FEMA P-750, 2009)

2.5.6. Obtención del punto de desempeño Método EC 8 (2011)

El Eurocódigo 8 propone para calcular el punto de desempeño de la estructura a partir del espectro de respuesta elástico con el análisis de empuje incremental (push over) los siguientes pasos a seguir. Es necesario obtener la curva de capacidad donde se grafica el cortante en la base en función del nudo de control seleccionado, preferiblemente el nudo del techo.

Utilizando la relación entre las fuerzas (F_i) y los desplazamientos (ϕ_i) como (2.18):

$$F_i = m_i \phi_i \quad (2.18)$$

Donde:

m_i : es la masa en el nivel considerado.

Todos los desplazamientos se normalizan tomando el desplazamiento de techo como referencia y este con valor de 1.

Pasando los valores del sistema de múltiples grados de libertad a un solo grado de libertad se calcula la masa equivalente de esta manera (2.19):

$$m^* = \sum m_i * \phi_i = \sum F_i \quad (2.19)$$

De aquí se determina un coeficiente de transformación (2.20):

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \phi_i^2} \quad (2.20)$$

Para obtener el cortante en la base (F^*) y los desplazamientos (d^*) para el sistema de un grado de libertad se aplica lo siguiente (2.21) (2.22):

$$F^* = \frac{Fb}{\Gamma} \quad (2.21)$$

$$d^* = \frac{db}{\Gamma} \quad (2.22)$$

Obtener la relación ideal de fuerza/desplazamiento elasto-plástica perfecta. Donde la resistencia de cedencia del sistema de un grado de libertad será el cortante en la base que se encuentre en la formación del mecanismo plástico. La rigidez inicial antes de llegar a este punto será la se obtenga teniendo esta la misma área bajo la gráfica fuerza/desplazamiento real y la ideal. De acuerdo con esto se puede determinar el desplazamiento del límite elástico en el sistema de un grado de libertad como (2.23):

$$dy^* = 2 * \left(dm^* - \frac{Em^*}{Fy^*} \right) \quad (2.23)$$

Donde:

E_m : es la energía de deformación real al momento de formarse el mecanismo plástico

En la Figura 2.17 se observa la curva de capacidad real e idealizada.

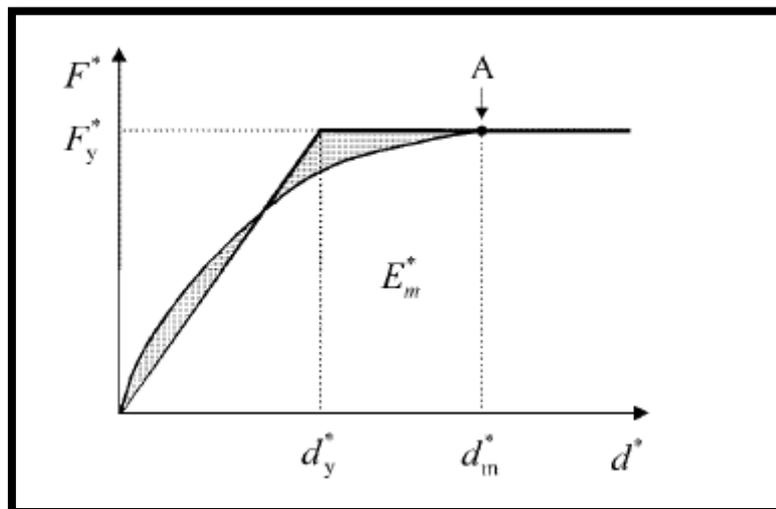


Figura 2.17 Curva de capacidad para un grado de libertad idealizada y real. (Comité Técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos estructurales, 2006)

Se calcula el periodo para el sistema idealizado de un grado de libertad con la formula (2.24):

$$d^* = 2\pi * \sqrt{\frac{m_{y^*} * dy^*}{Fy^*}} \quad (2.24)$$

El desplazamiento objetivo para el sistema de un grado de libertad se calcula mediante (2.25):

$$det^* = Se(T^*) \left[\frac{T^*}{2\pi} \right]^2 \quad (2.25)$$

Se (T^*) es la aceleración en el espectro de respuesta elástico correspondiente al T^* .

El desplazamiento objetivo para el sistema de un grado de libertad (dt^*) puede tomar diversos valores dependiendo de donde se encuentre en el espectro de respuesta elástico.

Para el rango de periodos cortos:

- Si se encuentra en el rango lineal (2.26):

$$dt^* = det^* \quad (2.26)$$

- Si la respuesta es no lineal entonces (2.27):

$$dt^* = \frac{det^*}{qu} * \left(1 + (qu - 1) * \frac{TC}{T^*} \right) \geq det^* \quad (2.27)$$

dt^* no necesita ser mayor que 3 dte^* .

qu será tomado como la relación (2.28):

$$qu = \frac{Se(T^*) * m^*}{Fy^*} \quad (2.28)$$

- Para rango de periodos medios y largos (2.29):

$$dt^* = det^* \quad (2.29)$$

Si se encuentra mucha diferencia entre los valores del desplazamiento objetivo (dt^*) y el desplazamiento utilizado para la relación ideal fuerza/desplazamiento elasto- plástica perfecta (dm^*), se debe recurrir a un proceso iterativo cambio el dm^* por el nuevo dt^* hasta encontrar la convergencia (Comité Técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos estructurales, 2006).

2.5.7. Curvas de vulnerabilidad

La vulnerabilidad se define como la capacidad de pérdida de un elemento o varios elementos sujetos a algún riesgo por alguna ocurrencia desastrosa, la misma se expresa en valores de 0 hasta 1, siendo el primero el nivel sin daño y el 1 de pérdida total. También se expresa como un factor del sistema, que mide la probabilidad de que el hecho desastroso ocurra o no y puede ocasionar daños en el sistema (Barbat & Pujades, 2004).

Las funciones de vulnerabilidad proveen todas las posibilidades de cierto nivel de pérdida a ser sobrepasado o alcanzado. A diferencia de las funciones de fragilidad las de vulnerabilidad utilizan valores numéricos que indican la pérdida de un elemento no la probabilidad de ser alcanzado o sobrepasado cierto nivel de daño (Yamin, Hurtado, Rincon, Dorado, & Reyes, 2017). En la siguiente Figura 2.18 se muestra la representación típica de una curva de fragilidad y una de vulnerabilidad con los respectivos parámetros a tomar en cuenta en dichas curvas.

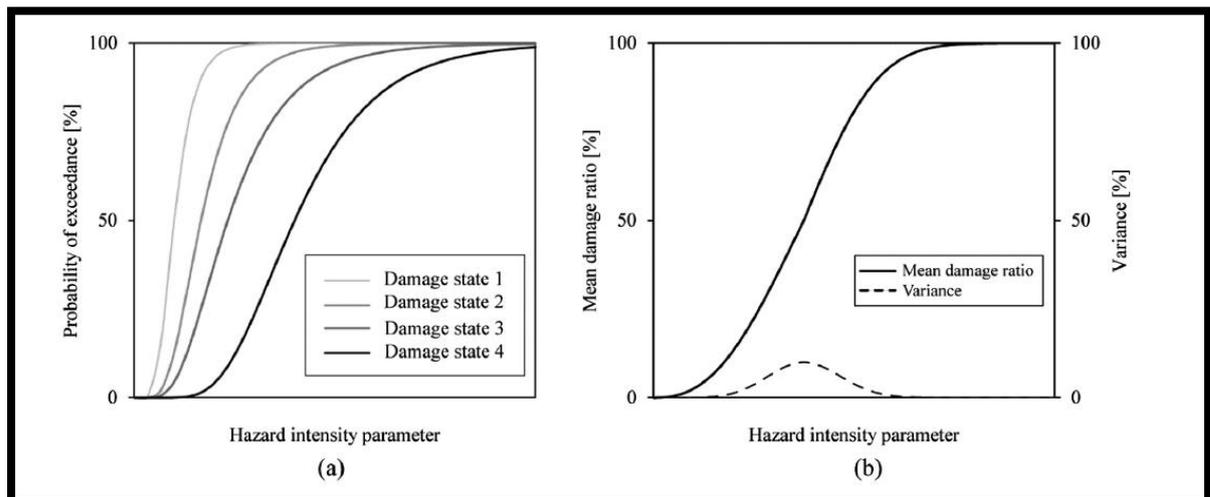


Figura 2.18 Curva de fragilidad representativa (a), curva de vulnerabilidad representativa (b).
(Yamin et al., 2017)

2.6. Niveles de daño en elementos y reparaciones

2.6.1. Tipos de reparaciones según la FEMA 308

Según FEMA 308 las categorías en las cuales se dividen las reparaciones son:

Reparaciones cosméticas. Se refiere a las reparaciones que no representan un aumento en las propiedades estructurales del elemento, simplemente se emplean para reparar la apariencia de este. Reparaciones como estas no consideran alguna ganancia en las características estructurales del elemento. También sirven para proteger este de los agentes ambientales que pudiesen afectarlo.

Estas reparaciones pueden ser en hormigón armado: mantenimiento o recubrimiento de superficies e inyección de fisuras con resina epoxica.

Reparaciones Estructurales. Estas aumentan o restauran las propiedades estructurales, y se aplica en elementos con daños a estas.

Para las reparaciones estructurales se tienen: inyección de fisuras con resina epoxica, inyección de fisuras con grout estructural, reparación de spalling y reemplazo de barras de acero.

Mejoras Estructurales. Son las reparaciones que requieren el reemplazo, eliminación o adiciones complementarias para restaurar las características estructurales del elemento. Esta también incluye la adición de nuevos elementos a la estructura, para reemplazo de elementos dañados.

Las mejoras son las siguientes: recrecido de la sección transversal, recubrimientos con compuestos de fibra de carbono y cosido de fisuras (ATC-40, 1998b).

2.6.2. Evaluación y reconocimiento de los niveles de severidad de daño según FEMA 306

Los niveles de severidad de daño son los siguientes: insignificante, ligero, moderado, fuerte y extremo. Para muros de hormigón armado con comportamiento dúctil a flexión con alta cuantía de acero horizontal y no tan grande de acero vertical, tienden a predominar este comportamiento.

En la Figura 2.19 se presenta diagramas de fuerza- desplazamiento con los diferentes niveles de severidad de daño.

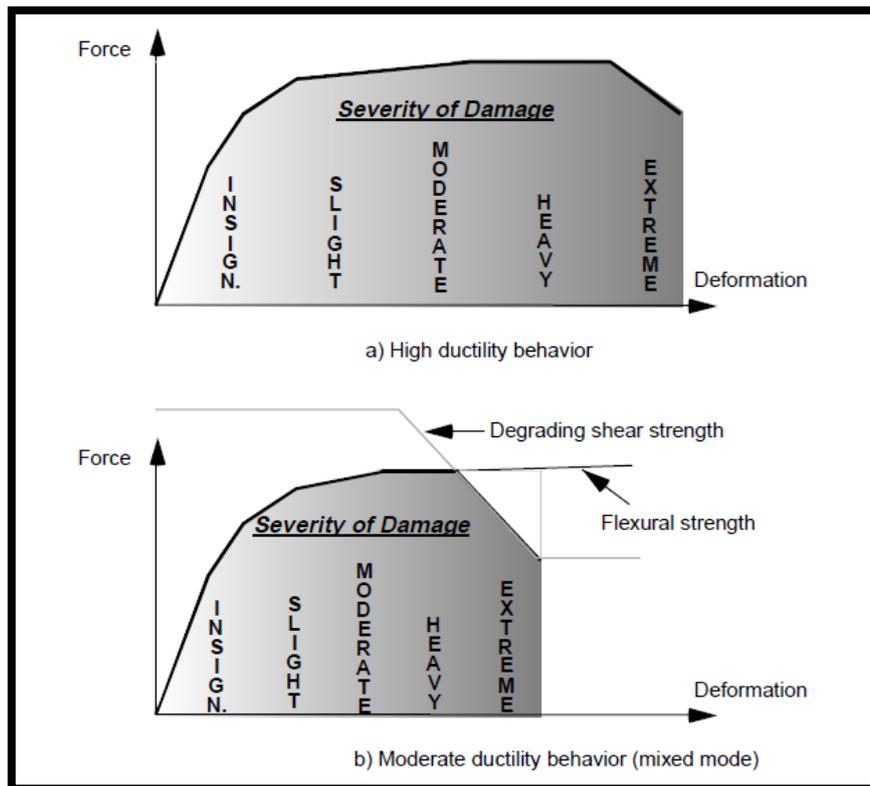


Figura 2.19 Diagrama con niveles de severidad de daño de comportamiento de alta ductilidad (a) y ductilidad moderada (b). (ATC-40, 1998b)

Para hormigón armado con ductilidad de flexión predominante se distinguen los niveles de severidad de daño de la siguiente manera:

Insignificante se presenta cuando el elemento ha perdido el 20% de su rigidez, pero su capacidad de resistencia se mantiene igual y no existe un desplazamiento residual. Para este nivel se utiliza la reparación cosmética, simplemente restaurando su apariencia.

Ligero se presenta con un 40% de pérdida de su rigidez inicial, pero sin pérdida de capacidad de resistencia y ningún desplazamiento residual. Para esta se recomienda la reparación estructural con la inyección de fisuras.

Moderado se obtiene una pérdida de rigidez de un 50%, la capacidad de resistencia se reduce un 20% y un desplazamiento residual no tan significativo. Se presenta el spalling en el elemento. Se recomienda una reparación estructural con remoción y tapado de recubrimiento perdido por spalling mas la inyección de fisuras.

Se pasa de daño fuerte directamente a extremo.

Extremo sucede al presentarse ruptura del acero longitudinal del elemento y un desplazamiento residual grande. Se propone una mejora del elemento ya sea con un recrecido de la sección transversal, recubrimiento con compuesto de fibra de carbono o remplazo del elemento (ATC-40, 1998a).

2.7. Estudios previos en la literatura

Probabilistic seismic vulnerability assesment of buildings in terms of economic losses

Yamin et al (2017) presentan una tecnica donde proponen una metodología para tener un acercamiento a la evaluación e integración de las pérdidas económicas en función de los niveles de riesgo sísmico de un prototipo de estructura. Estos presentan curvas de vulnerabilidad para un pórtico de hormigón armado de 5 plantas de altura.

En la figura 2.20 se representan las curvas de vulnerabilidad del modelo utilizado por Yamin et al.

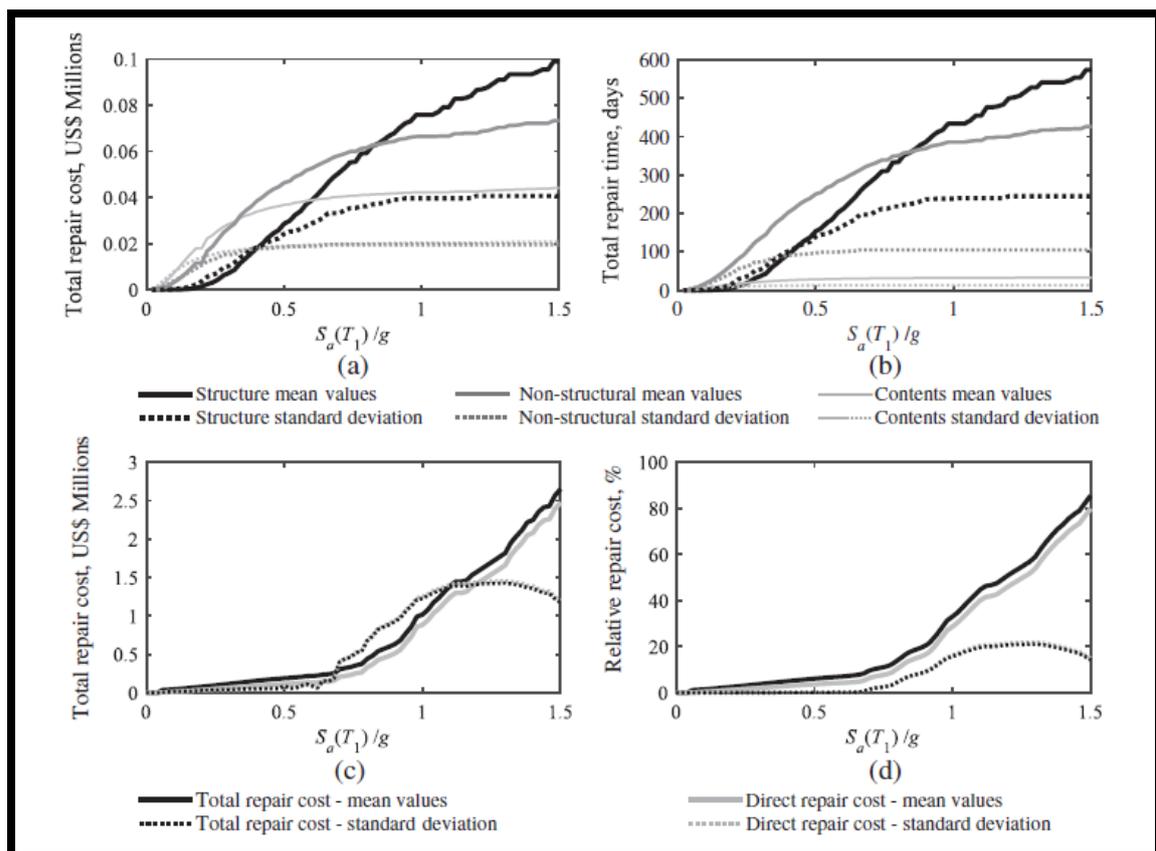


Figura 2.20 Curvas de vulnerabilidad, (a) costos reparación total o reemplazo, (b) tiempo total reparación o reemplazo total, (c) costo reparación total o reemplazo asociado al costo de no operación, (d) costo reparación total o reemplazo normalizado asociado al costo de no operación normalizado. (Yamin et al., 2017)

Analysis of the relationship between empirical damages and repair cost on RC private buildings after L'Aquila earthquake

En el artículo presentado y analizados por Ludovico et al se analizaron 1500 edificios privados de hormigón armado donde se procesaron informaciones como rango de uso, años de construcción, número de pisos, daño empírico, como también los costos de reparación actual después del terremoto de L'Aquila. En este se analizó y discutió la relación entre los daños empíricos y los costos de reparación actual. Para esto se utilizaron los niveles de daño presentados por la European Macroseismic Scale EMS-98, donde se definen 5 diferentes escalas de niveles de daño empírico. En la siguiente Figura 2.21 se muestran el número de edificaciones en las diversas escalas de niveles de daño, tomando en cuenta las estructuras verticales, pisos, escaleras y techos.

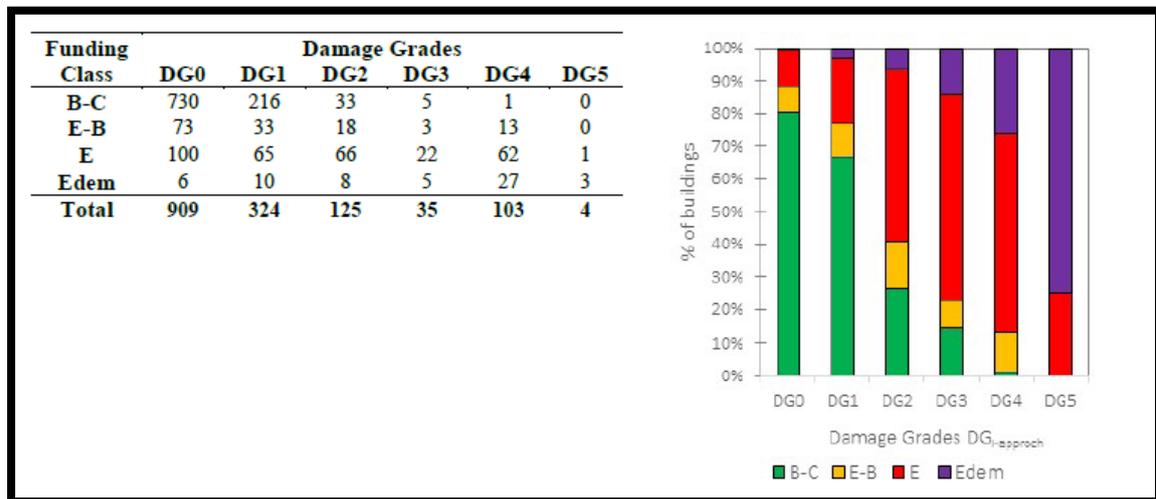


Figura 2.21 Numero de edificaciones en las diversas escalas de nivel de daño. (Ludovico et al., 2017)

En la Figura 2.22 el número de edificaciones en las diferentes escalas de nivel de daño tomando en cuenta las particiones de la edificación.

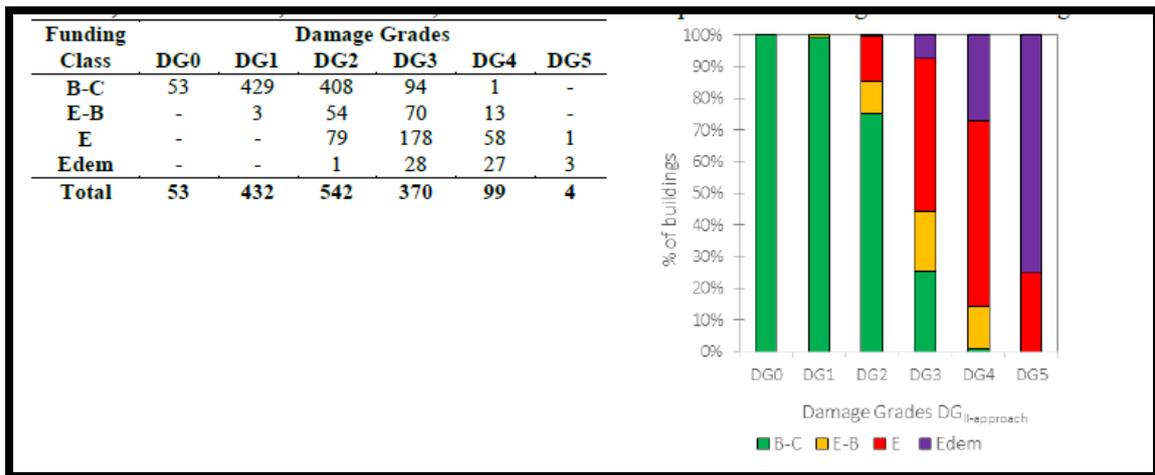


Figura 2.22 Numero de edificaciones en las diversas escalas de nivel de daño. (Ludovico et al., 2017)

En la próxima Figura 2.23 se muestran los costos de reparación actual en función de los niveles de daño.

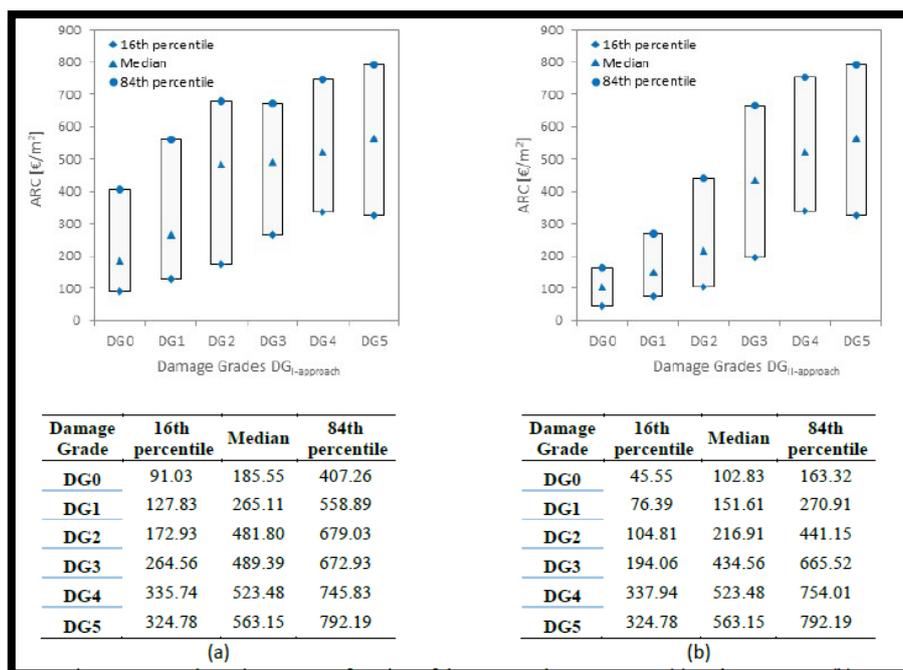


Figura 2.23 Costos de reparación actual según el nivel de daño. (Ludovico et al., 2017)

Una de las conclusiones fue que para tomar en cuenta la relación entre los costos de reparación actual y los niveles de daño empírico es necesario tomar en cuenta los daños producidos en las particiones ya que estos suelen ser más significativos y los elementos estructurales verticales.

3. Casos de estudio

Para este trabajo se analizaron los rangos de valores utilizados en el código ACI y EC-8 para los coeficientes de comportamiento los cuales varían en valores desde 1.5 hasta 8. Ya que la estructuras serán diseñadas en base al EC-8 su utilizarán valores desde 1.5 hasta 6 siendo estos: 1.5, 2, 3, 4, 5 y 6. Lo que conlleva el diseño, análisis, evaluación sísmica y diseño de seis estructuras. Estas serán diseñadas para los mismo sismos y aceleraciones del terreno.

Se tomarán en cuenta todos los requisitos de diseño especificados por el EC-8 tomando en cuenta de que coeficiente de comportamiento se utilice clasificando las estructura en DCL, DCM y DCH.

En el siguiente capítulo se especificarán todas las medidas y características utilizadas para definir los modelos de estudio.

3.1. Definición de los diversos modelos a analizar

Para el estudio de la eficiencia de la elección del coeficiente de comportamiento se utilizó como prototipo se utilizó un pórtico bidimensional de hormigón armado de 5 plantas de altura con 2 luces. La altura de piso es de 3.00 m en cada piso y dos luces de 7.00 m de longitud. Las vigas son de dimensión transversal rectangular con el canto mayor que la base. En cuanto los pilares son de sección cuadrada. Los nudos de las conexiones pilar- viga se consideran rígidos y la conexión en la base de los pilares de la primera planta empotrados.

La configuración y secciones de los pórticos se presentaron según la Figura 3.1 para todos los coeficientes de comportamiento. Donde las secciones de misma etiqueta poseen las mismas propiedades mecánicas.

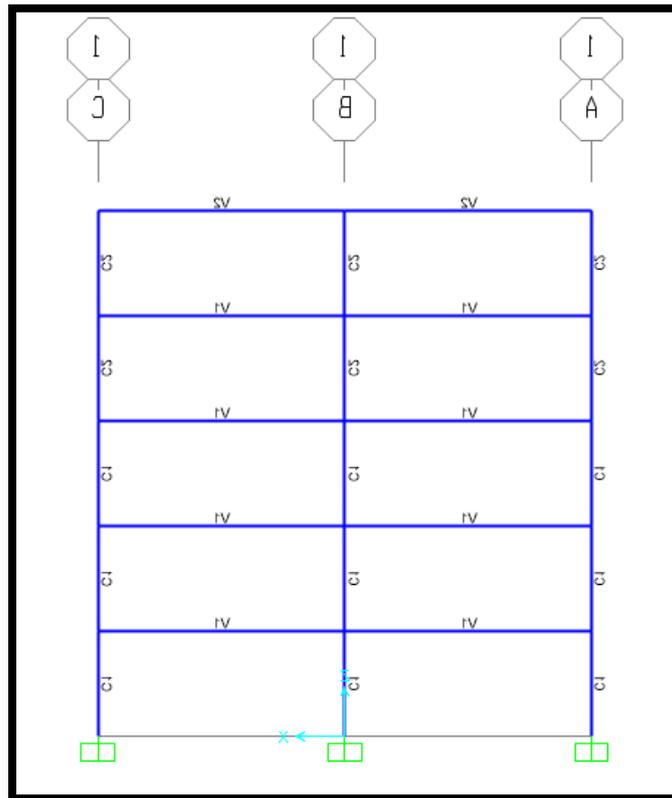


Figura 3.1 Configuración de los pórticos bidimensionales a utilizar.

Esta configuración no fue vareada, aunque las secciones varearon por diseño de cada coeficiente de comportamiento.

Las cargas para las combinaciones utilizadas fueron las siguientes:

- Carga de peso propio (G0) calculada por el programa SAP2000 con las características del material y tamaño de secciones;
- Carga permanente (G1) de 35 kN/m para todas las plantas.
- Sobrecarga de uso (Q) de 21 kN/m para todas las plantas.
- Carga Accidental (A) se utilizará un sismo con periodo de retorno de 475 años.
- Coeficiente de simultaneidad para acciones accidentales (Ψ_e) de 0.20.

El peso del edificio será calculado teniendo en cuenta el 100% del peso propio y carga permanente más un 20% de la sobrecarga de uso.

3.2. Información sobre espectros de respuesta elásticos para análisis y diseños

El análisis de los pórticos bidimensionales de hormigón armado se implementó el análisis modal utilizando el primer modo de vibración de la estructura. Para esto se creó el espectro de respuesta elástico según el EC-8.

El periodo de retorno es de 475 años donde se escaló el espectro con una aceleración de 50% de la gravedad como PGA y un amortiguamiento viscoso de un 5%.

El tipo de terreno a considerar fue tipo B, de donde en base a tablas del EC- 8 se obtuvieron los valores:

- Coeficiente de suelo (S) de 1.2;
- Límite inferior del periodo para el tramo de aceleración constante de 0.15 segundos;
- Límite superior del periodo para el tramo de aceleración constante de 0.5 segundos;
- Periodo que define el comienzo del tramo de desplazamiento constante de 2.0 segundos.

En la Figura 3.2 se representa el espectro de respuesta elástico.

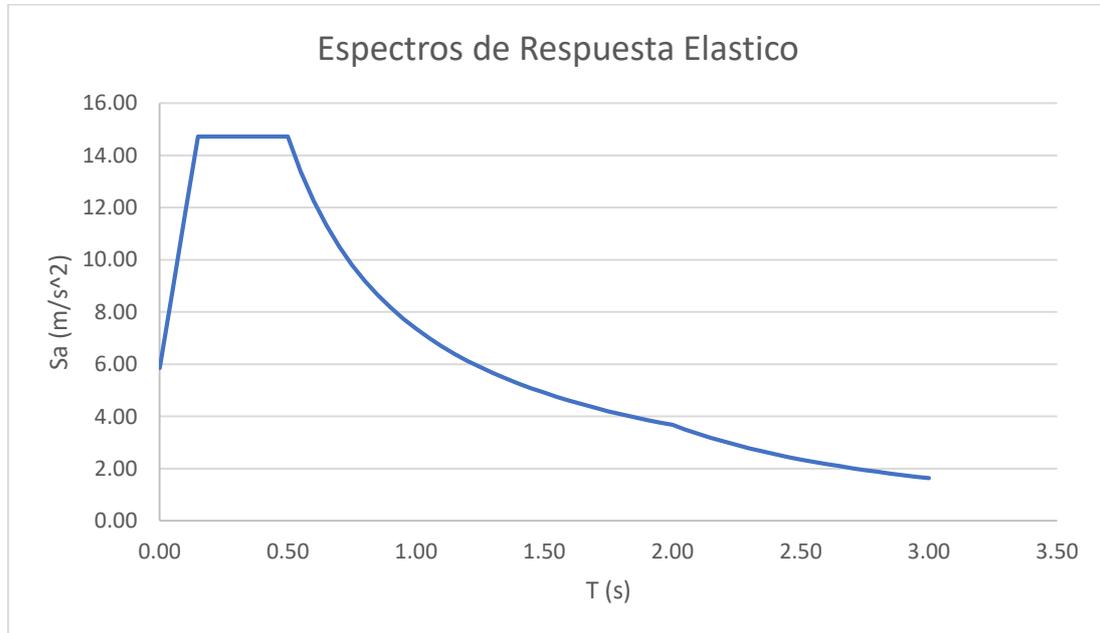


Figura 3.2 Espectro de respuesta elástico para suelo tipo B con PGA de 0.5g.

Con este espectro de repuesta elástico se procedió a determinar los diversos espectros de diseño con los diversos coeficientes de comportamiento.

3.3. Análisis y diseños de los diversos pórticos de hormigón armado

Luego de obtenidos los espectros de diseño se procedió a analizar las estructuras con estos espectros mediante un análisis modal espectral. De aquí se obtuvieron los diversos esfuerzos axiales, cortantes y de flexión. Los análisis se realizaron con el programa computacional SAP2000.

Para el dimensionamiento de las secciones se tomó una sección tipo para el pórtico diseñado con $q=1.5$ para las vigas y pilares. Cuando se procedió al siguiente pórtico se calculaban los esfuerzos con estas secciones y luego de obtenidos estos se evaluaban para disminuir las secciones y propiedades de los materiales, al hacer esto con las nuevas secciones se analizaba nuevamente la estructura obteniendo los nuevos esfuerzos para los cuales era diseñada la misma.

Los materiales a utilizar en los diversos pórticos se presentan en la Tabla 3.1 y en la Tabla 3.2 las diferentes secciones utilizadas.

Materiales para cada q		
q	Hormigón	Acero
1.5	C35/40	B 500 SD
2	C35/40	B 500 SD
3	C30/35	B 500 SD
4	C30/35	B 500 SD
5	C30/35	B 500 SD
6	C30/35	B 500 SD

Tabla 3.1 Materiales utilizados para los coeficientes de comportamiento.

Secciones para cada coeficiente de comportamiento (mm)				
q	V1	V2	C1	C2
1.5	600 x 1000	600 x 1000	650 x 650	550 x 550
2	500 x 800	500 x 800	650 x 650	550 x 550
3	450 x 700	450 x 700	600 x 600	550 x 550
4	400 x 600	400 x 600	600 x 600	550 x 550
5	400 x 600	400 x 600	600 x 600	500 x 500
6	350 x 500	350 x 500	600 x 600	500 x 500

Tabla 3.2 Secciones de los pórticos analizados.

Las combinaciones para el diseño de estados de limite último de los pórticos son (3.1), (3.2) y (3.3):

$$\text{Comb. 1: } 1.35 * (G0 + G1) + 1.5 * Q \quad (3.1)$$

$$\text{Comb. 2: } (G0 + G1) + 0.2 * Q + A \quad (3.2)$$

$$\text{Comb. 3: } (G0 + G1) + A \quad (3.3)$$

Con las combinaciones se hallaron las diferentes envolventes de esfuerzos.

En los diseños se agruparon según la Figura 3.1 las vigas y pilares con esfuerzos similares para la simplificación de los diseños de armados. En el Anejo 1 se encuentran los diversos diagramas de axil, cortante y momento para cada pórtico.

Determinados los esfuerzos se diseñaron los pórticos, cada uno cumpliendo con las especificaciones y detallado del EC- 8. Se presentarán simplemente las secciones críticas donde se colocaron las rotulas plásticas. Para costear la estructura se tomó en cuenta la colocación del acero con longitudes de desarrollo, ganchos y aceros mínimos y máximos. Colocando el acero mínimo según el EC- 8 a lo largo de la sección para cumplir los requisitos y adicionales en las zonas necesarias.

En el pórtico con $q=1.5$ se implementaron los requisitos de DCL. En los pórticos con $q= 2.0, 3.0$ y 4.0 con DCM. Los pórticos de $q= 5.0$ y 6.0 con DCH.

Pórtico con $q=1.5$

En la Tabla 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 aceros colocados en las diversas secciones críticas.

Pórtico $q=1.5$					
	Extremo Izquierda		Extremo Derecha		
Viga	As'	As	As'	As	Ast
V1	9 ϕ 32	8 ϕ 32	9 ϕ 32	8 ϕ 32	ϕ 10- 90 mm
V2	5 ϕ 20	3 ϕ 20	5 ϕ 20	3 ϕ 20	ϕ 10-120 mm
	Extremo Inicial		Extremo Final		
Columna	As		As		Ast
C1	24 ϕ 32		24 ϕ 32		2 ϕ 10- 70 mm
C2	16 ϕ 32		16 ϕ 32		2 ϕ 10- 90 mm

Tabla 3.3 Secciones críticas para pórtico $q=1.5$.

Pórtico q=2.0					
	Extremo Izquierda		Extremo Derecha		
Viga	As'	As	As'	As	Ast
V1	7φ32	6φ32	7φ32	6φ32	φ10- 90 mm
V2	5φ20	4φ20	5φ20	4φ20	φ10-160 mm
	Extremo Inicial		Extremo Final		
Columna	As		As		Ast
C1	24φ32		24φ32		2φ10- 80 mm
C2	16φ32		16φ32		2φ10-110 mm

Tabla 3.4 Secciones críticas para pórtico q=2.0.

Pórtico q=3.0					
	Extremo Izquierda		Extremo Derecha		
Viga	As'	As	As'	As	Ast
V1	5φ32	6φ25	5φ32	6φ25	φ10-110 mm
V2	5φ20	3φ20	5φ20	3φ20	φ10-140 mm
	Extremo Inicial		Extremo Final		
Columna	As		As		Ast
C1	16φ32		16φ32		2φ10-90 mm
C2	24φ25		24φ25		2φ10-110 mm

Tabla 3.5 Secciones críticas para pórtico q=3.0.

Pórtico q=4.0					
	Extremo Izquierda		Extremo Derecha		
Viga	As'	As	As'	As	Ast
V1	4φ32	5φ25	4φ32	4φ25	φ10-130 mm
V2	5φ20	3φ20	5φ20	3φ20	φ10-120 mm
	Extremo Inicial		Extremo Final		
Columna	As		As		Ast
C1	12φ25		12φ25		φ10-150 mm
C2	16φ25		16φ25		φ10-90 mm

Tabla 3.6 Secciones críticas para pórtico q=4.0.

Pórtico q=5.0					
	Extremo Izquierda		Extremo Derecha		
Viga	As'	As	As'	As	Ast
V1	5φ25	3φ25+ 1φ20	5φ25	3φ25+ 1φ20	φ10-120 mm
V2	3φ25+ 1φ20	3φ20	3φ25+ 1φ20	3φ20	φ10-120 mm
	Extremo Inicial		Extremo Final		
Columna	As		As		Ast
C1	8φ25		8φ25		φ10-120 mm
C2	4φ25 + 4φ20		4φ25 + 4φ20		φ10-120 mm

Tabla 3.7 Secciones críticas para pórtico q=5.0.

Pórtico q=6.0					
	Extremo Izquierda		Extremo Derecha		
Viga	As'	As	As'	As	Ast
V1	5φ25	4φ25	5φ25	4φ25	φ10-90 mm
V2	4φ20	3φ20	4φ20	3φ20	φ10-80 mm
	Extremo Inicial		Extremo Final		
Columna	As		As		Ast
C1	8φ25		8φ25		φ10-120 mm
C2	8φ25		8φ25		φ10-110 mm

Tabla 3.8 Secciones críticas para pórtico q=6.0.

4. Evaluación Sísmica

4.1. Curvas de Capacidad mediante análisis de empuje progresivo (push over)

Mediante el programa computacional SAP2000 se procedió al análisis de empuje progresivo de los pórticos para crear las curvas de capacidad de cada uno. En cuanto a los elementos los diagramas momento- curvatura para las vigas y pilares se rigieron con la norma EN 1992- 2010 las que se crearon con la hoja de cálculo “Momento curvatura multilínea clase (versión 7)” (JM Bairán, 2017b).

En la Figura 4.1 ejemplos de diagramas curvaturas para $q=1.5$ viga 1 momento negativo.

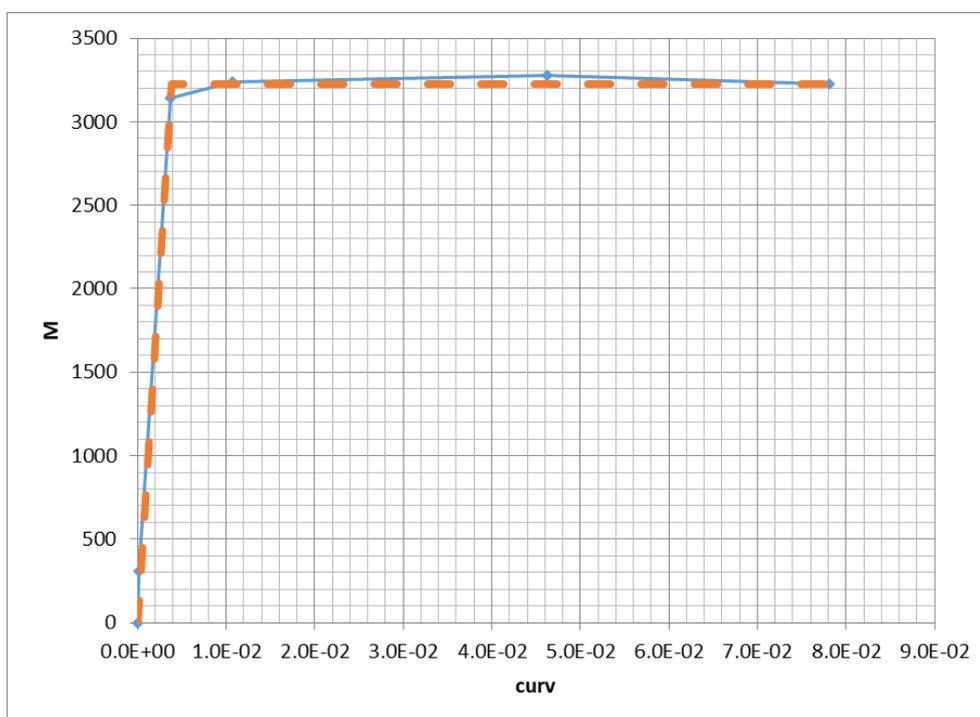


Figura 4.1 Diagrama m-curv para viga 1, momento negativo.

Con el diagrama momento-curvatura de cada elemento computado, se procedió a obtener las curvas de capacidad, páralo que se empleó el programa de análisis SAP2000 (Computers and Structures Inc, 2017). Posteriormente, se obtuvieron los puntos de desempeño para los espectros de respuesta con probabilidad de excedencia 2%, 10% y 50% en 50 años según el método N2 (Fajfar & Gaspersic, 1996), que es el método contemplado en el Eurocódigo 8 (Comité Técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos estructurales, 2006). Para ello, se empleó el programa “EC8 Pushover Analysis” (JM Bairán, 2017a).

Los desplazamientos objetivos de la Tabla 4.1 varearon según la Figura 4.2.

Desplazamientos Objetivos (m)			
q	PGA 0.3g	PGA 0.5g	PGA 0.8g
1.5	0.0603	0.1054	0.1754
2	0.0927	0.1565	0.2546
3	0.0911	0.1585	0.2635
4	0.1124	0.1988	0.3131
5	0.1141	0.1938	0.2968
6	0.1486	0.2471	0.3747

Tabla 4.1 Desplazamientos objetivos para cada coeficiente de comportamiento (q).

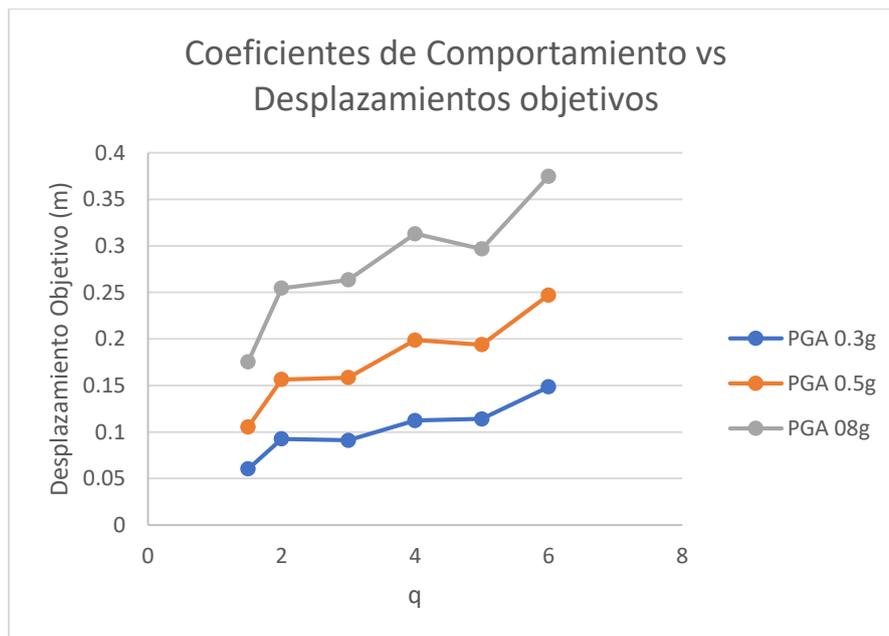


Figura 4.2 Evolución de los desplazamientos objetivos para cada coeficiente de comportamiento (q).

En el Anejo 1 se muestran las gráficas con el punto de desempeño de cada pódico para los periodos de retorno de 100, 475, 2475 años. Se observa que a medida que la intensidad y el coeficiente de comportamiento aumentan se obtiene un punto de desempeño que se aleja más en el rango no lineal de la estructura la misma absorbiendo mayor daño. Con estos desplazamientos objetivos se procedió a localizar el mismo y recolectar datos de las rotulas plásticas como axil, momento y rotación plástica.

Periodo 1er modo para sistema de un grado de libertad (s)			
q	PGA 0.3g	PGA 0.5g	PGA 0.8g
1.5	0.470	0.477	0.487
2	0.668	0.677	0.690
3	0.661	0.693	0.719
4	0.799	0.845	0.832
5	0.810	0.824	0.790
6	1.032	1.030	0.977

Tabla 4.2 Periodos del primer modo de vibración para la transformación a un grado de libertad.

Factor de participación modal			
q	PGA 0.3g	PGA 0.5g	PGA 0.8g
1.5	0.8186	0.8186	0.8186
2	0.8095	0.8095	0.8095
3	0.8163	0.8163	0.8163
4	0.7947	0.7947	0.7947
5	0.7947	0.7947	0.7947
6	0.7787	0.7787	0.7787

Tabla 4.1 Factor de participación modal del primer modo de vibración.

5. Reparaciones y costes

5.1. Niveles de daño y reparaciones estimadas para cada elemento

Ya con los axiles, momentos y rotaciones de los elementos en cada uno de los diagramas de momento- rotación se procedió a localizar el punto donde se encontraba cada elemento y con esto estimar el nivel de daño de cada uno.

Los mismo se calificaron según la Figura 5.1. Donde a cada nivel de daño se asoció a un tipo de reparación según la FEMA- 306.

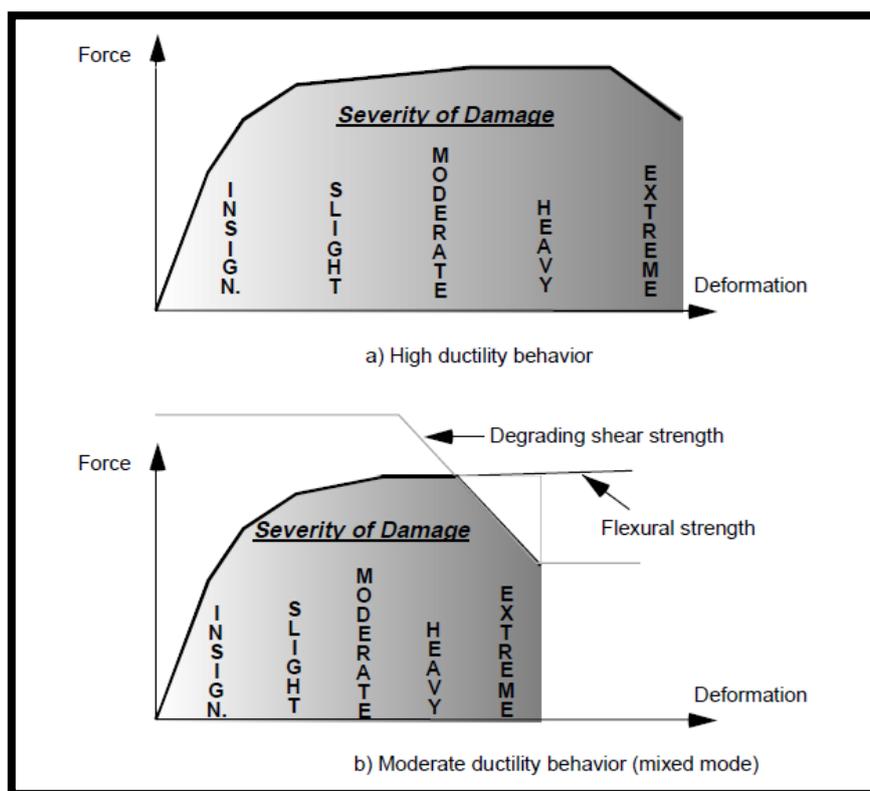


Figura 5.1 Niveles de daño en curva de capacidad de la estructura.

Las apariencias estimadas y aplicadas a los elementos según su posición en el diagrama momento- curvatura se muestran en la Figura 5.2 y Figura 5.3 en FEMA- 306 para muros de hormigón armado con comportamiento dúctil, donde según el daño obtenido se estimaron anchos de fisuras, longitud de fisuras, longitudes plásticas, aparición de spalling y rotura de acero longitudinal. Para esto se utilizó la hoja de cálculo “Momento curvatura multilineal MNV (versión 6)” elaborada por Bairán.

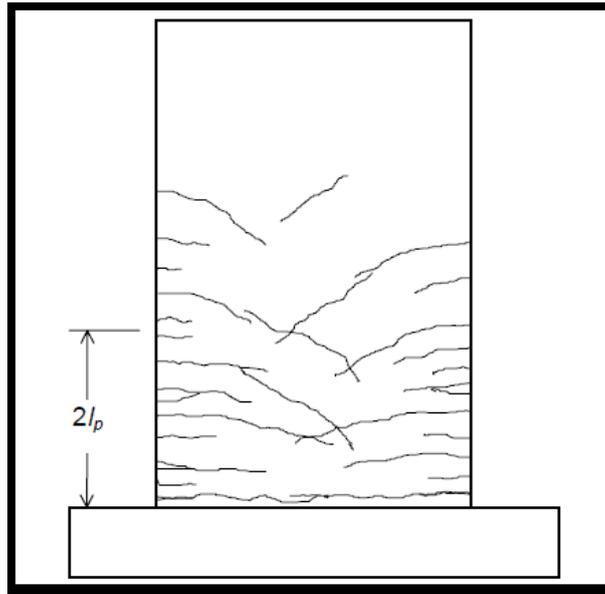


Figura 5.2 Imagen según Fema- 306 de daño insignificante y ligero. (ATC-40, 1998a)

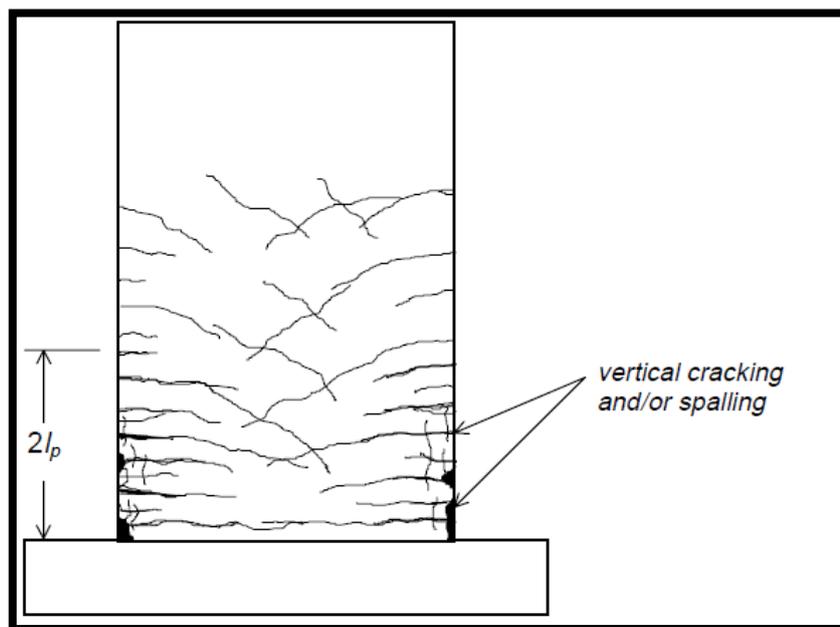


Figura 5.3 Imagen según FEMA- 306 de daño moderado y extremo. (ATC-40, 1998a)

Los niveles de daño con su reparación asociada se definen como:

Insignificante. Reparación con mortero a base de cemento para reparación no estructural. Aplicación manual de mortero tixotrópico monocomponente, de fraguado rápido. Con capa con espesor medio de 20 mm con acabado superficial fratasado con esponja (CYPE ingenieros S.A., 2017).

Ligero. Reparación estructural con inyección de fisuras. Los pasos para la reparación son (CYPE ingenieros S.A., 2017):

- Abertura de caja de fisura Figura 5.4, con amoladora angular con disco de corte de diamante, para conseguir un ancho de aproximadamente 10 mm con propósito de incrementar la adherencia del soporte para inyección de fisura.



Figura 5.4 Abertura de fisura para inyección. (CYPE ingenieros S.A., 2017)

- Limpieza de fisura mediante inyección de aire a presión Figura 5.6, para obtener una caja de fisura libre de impurezas o material que impida la buena adherencia del material inyectado.

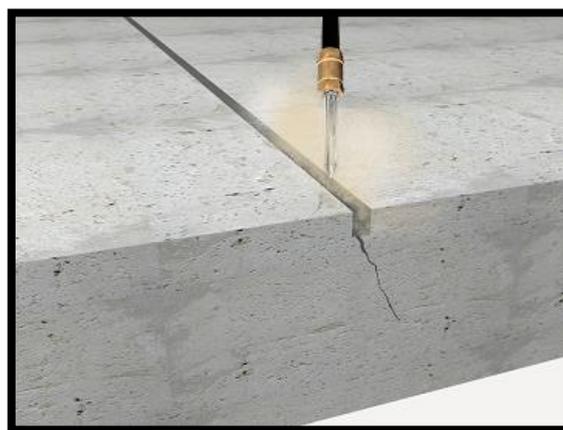


Figura 5.5 Limpieza de caja de fisura con aire a presión. (CYPE ingenieros S.A., 2017)

- Colocación de inyectores externos Figura 5.6. Colocación cada 200 mm en fisura, con adhesivo tixotrópico de dos componentes con base de resina epoxi y sellado de la fisura superficial para no dejar escapar la lechada inyectada.



Figura 5.6 Colocación de inyectores. (CYPE ingenieros S.A., 2017)

- Inyección de resina Figura 5.7. Aplicada con sistema de inyección de baja presión (3 kg/m²), lechada fluida de dos componentes con base de resina epoxi con rendimiento de 0.5 kg/m.



Figura 5.7 Inyección de fisuras. (CYPE ingenieros S.A., 2017)

Moderado. Reparación estructural para esta la inyección de fisura con mayor cantidad de fisuras y mayor ancho de fisura. Luego de la inyección reposición del material de recubrimiento perdido. Por lo que conlleva dos precios para las dos fases de esta reparación (CYPE ingenieros S.A., 2017).

De moderado la FEMA-306 pasa directo a daño extremo sin daño fuerte.

Extremo. Se diferencia entre viga y pilar este tipo de reparación (CYPE ingenieros S.A., 2017).

Viga. Reforzamiento de viga descolgada mediante el recrecido de la sección con hormigón armado. Se agregan unos 200 mm en la parte inferior y unos 100 mm en las caras laterales con hormigón armado HA-35/AC/10/IIIa con i flow sustenta dura vertido con bomba, con una cuantía promedio de 40 kg/m³ con acero B 500 S. La unión hormigón viejo con nuevo a hace a través de un adhesivo tixotrópico en una capa en todo el elemento en contacto con el hormigón nuevo. Esto conlleva el encofrado y desencofrado para la colocación del hormigón nuevo y el acero longitudinal.

Pilar. En el reforzamiento se añaden 100 mm de hormigón armado HA-35/AC/10/IIIa con i flow sustenta dura vertido con bomba en todas las caras del elemento, con acero B 500 S y cuantía de 120 kg/m³ unión mediante adhesivo. Vertido desde forjado superior con orificios en el mismo previamente hechos. Con encofrado y desencofrado de la sección.

5.2. Costos de Construcción y reparación

Para la estimación de los costos y precios de la construcción y reparación se utilizó el generador de precios gratuito de acceso en la página web <http://www.generadordeprecios.info> de la compañía CYPE ingenieros S.A.

En la Tabla 5.1 se presentan los precios unitarios de las reparaciones que fueron modificadas para cada elemento y nivel de daño que se encontraban.

Precio de reparaciones para vigas		
Reparación	U. M.	P. U.
Insignificante	m2	40.98 €
ligero	ml	51.80 €
moderado	ml	52.01 €
	m2	41.53 €
Extremo	ml	201.96 €
Precio de reparaciones para pilares		
Reparación	U. M.	P. U.
Insignificante	m2	40.98 €
ligero	ml	51.80 €
moderado	ml	52.01 €
	m2	41.53 €
Extremo	ml	174.91 €

Tabla 5.1 Precios unitarios de reparaciones.

Con los costos de reparación evaluados y modificados para el diseño de cada reparación se obtuvo el costo de las estructuras. En los costos de reparación totales se tiene en cuenta el costo de indirecto de andamiajes y equipos extra para la reparación de la estructura.

Según el tiempo de cada reparación y la intensidad del sismo se utilizaron unos coeficientes de sensibilidad Tabla 5.2 para tomar en cuenta la falta y disposición de materiales mano de obra y equipos. Este coeficiente oscila entre valores de 1 y 2. Los cuales fueron vareados de manera arbitraria para observar cómo se comportaba el coeficiente de comportamiento óptimo.

Coefficiente de sensibilidad para PGA 0.3g		
q	Tiempo esperado de Reparación (días)	Coefficiente de sensibilidad
1.5	0	1.00
2	30	1.20
3	45	1.35
4	45	1.35
5	45	1.35
6	45	1.35
Coefficiente de sensibilidad para PGA 0.5g		
q	Tiempo esperado de Reparación (días)	Coefficiente de sensibilidad
1.5	45	1.35
2	45	1.35
3	45	1.35
4	45	1.35
5	60	1.50
6	75	1.75
Coefficiente de sensibilidad para PGA 0.8g		
q	Tiempo esperado de Reparación (días)	Coefficiente de sensibilidad
1.5	45	1.35
2	45	1.35
3	75	1.75
4	105	2.00
5	105	2.00
6	105	2.00

Tabla 5.2 Coeficientes de sensibilidad según tiempo de reparación e intensidad del sismo.

Ya con los valores de coeficientes de sensibilidad, tiempos de reparación y precios unitarios de las reparaciones se obtuvo los datos presentados en la Tabla 5.3. En el anexo B se presentan las estructuras con las rotulas plásticas desarrolladas para el paso anterior y posterior al desplazamiento objetivo (los momentos y rotaciones se determinaron con una interpolación con el paso anterior más próximo al desplazamiento objetivo y el paso posterior), también los momentos alcanzados y rotaciones plásticas con el tipo de daño determinado más las ubicaciones de las reparaciones.

q	Costo Const.	Costo de Reparación (Probabilidades de Excedencia en 50 años)		
		PGA 0.3g Pr. (50%)	PGA 0.5g Pr. (10%)	PGA 0.8g Pr. (2%)
1.5	30,899.50 €	0.00 €	6,693.71 €	7,699.57 €
2	25,878.04 €	3,514.68 €	6,960.55 €	8,161.52 €
3	17,861.75 €	5,975.74 €	7,470.22 €	18,496.21 €
4	14,019.19 €	5,624.56 €	8,644.94 €	26,373.76 €
5	12,599.38 €	6,795.36 €	12,027.98 €	26,728.88 €
6	12,148.78 €	6,801.66 €	17,421.90 €	31,000.52 €

Tabla 5.3 Costos de construcción y reparación.

5.3. Determinación de costo de reparación esperado

Para la determinación del costo de reparación medio esperado se utilizó la probabilidad de los sismos de periodo de retorno de 100, 475, 2475 años. En la Figura 5.8 se observa la variación de la probabilidad de excedencia en 50 años en función del PGA.

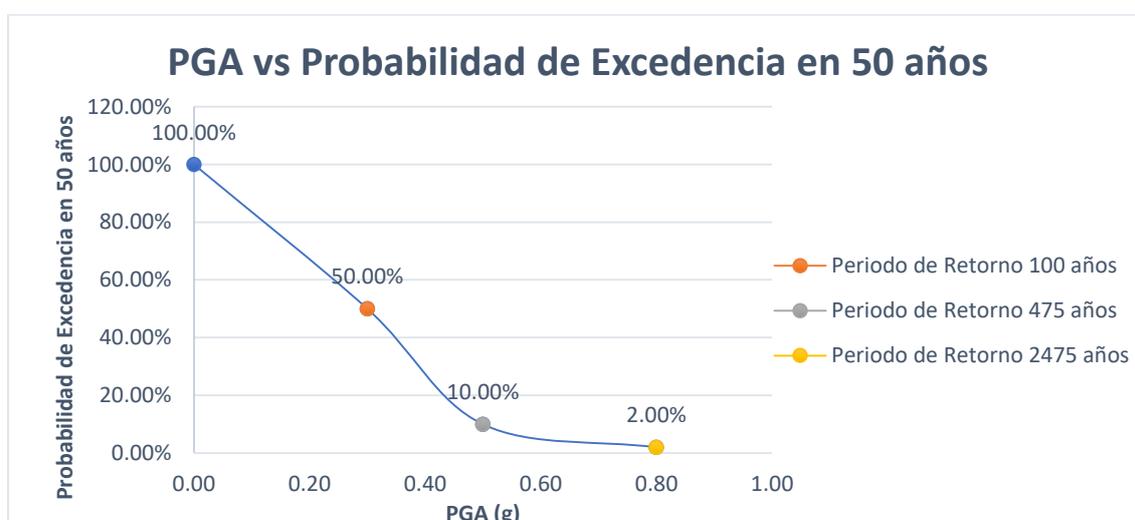


Figura 5.8 Variación de la probabilidad de excedencia en 50 años en función del PGA.

Con esto se determinaron las probabilidades de ocurrencia media, con la relación del área delimitada por cada probabilidad y el área total bajo el grafico. Los valores obtenidos son representados en el histograma Figura 5.9.

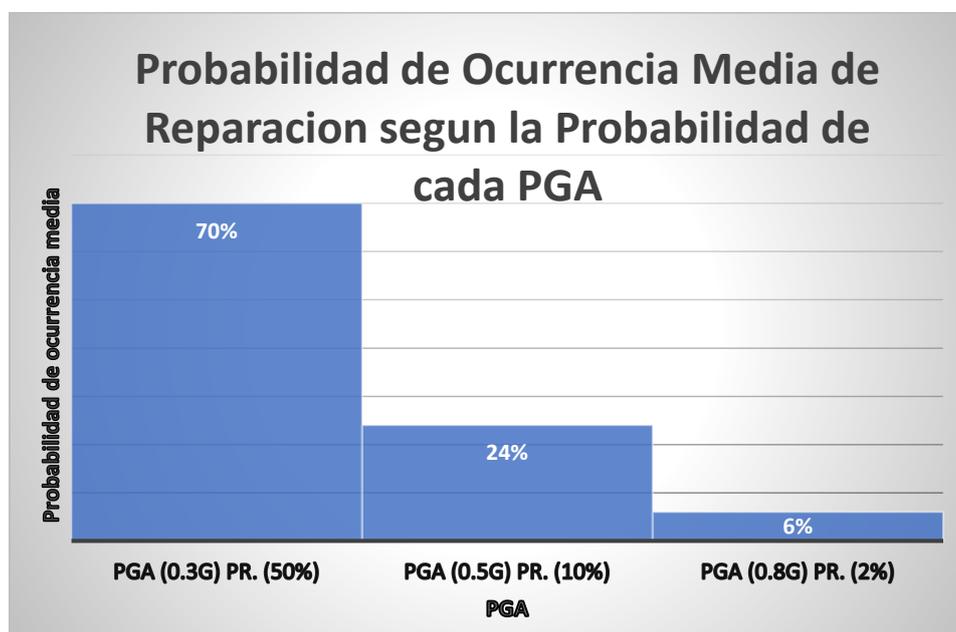


Figura 5.9 Histograma con la probabilidad de ocurrencia media para cada PGA.

Tomando en cuenta la probabilidad de ocurrencia media de cada sismo se calculó el valor esperado de las reparaciones para cada pódico. Multiplicando el coste de la reparación de cada PGA con su probabilidad de ocurrencia media y sumando cada uno para obtener el valor esperado de costos de reparación en la vida útil de la estructura. En la Tabla 5.4 se presenta el valor de reparación esperado para cada PGA y el total esperado de reparación para los 50 años.

Coste de Reparación Esperado según su Probabilidad de Ocurrencia Media				
q	PGA 0.3g Pr. 50%	PGA 0.5g Pr. 10%	PGA 0.8g Pr. 2%	Σ 100%
1.5	0.00 €	4,958.30 €	5,703.39 €	2,068.46 €
2	2,928.90 €	5,155.96 €	6,045.57 €	4,620.50 €
3	4,426.47 €	5,533.49 €	10,569.27 €	7,085.64 €
4	4,166.34 €	6,403.66 €	13,186.88 €	7,594.40 €
5	5,033.60 €	8,018.66 €	13,364.44 €	9,247.20 €
6	5,038.27 €	9,955.37 €	15,500.26 €	10,802.45 €

Tabla 5.4 Costo de reparación esperado.

Representación del costo esperado de reparación en función del coeficiente de comportamiento Figura 5.10.

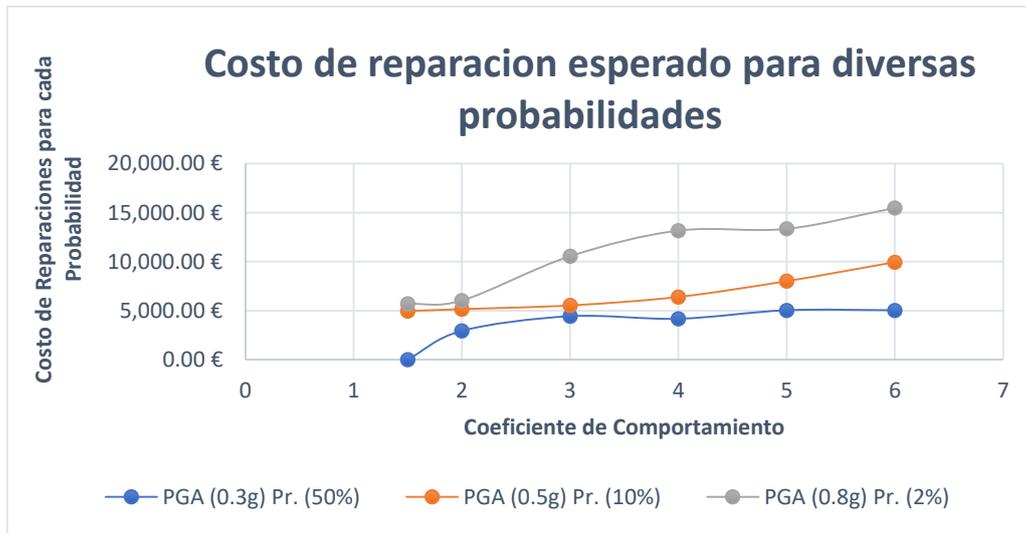


Figura 5.10 Costo de reparación espera en función de q.

6. Resultados Reparaciones y costos

6.1. Comparación de coste de construcción con el costo de reparación para cada pórtico

La fracción de coste de reparación sobre costo de construcción de cada pórtico se presenta en la Tabla 6.1 y su variación en la Figura 6.1.

Fracción coste reparación vs. Coste construcción				
q	Pr. 50% 50a�os	Pr. 10% 50a�os	Pr. 2% 50a�os	Esperado
1.5	0.0%	16.0%	18.5%	5.0%
2	11.3%	19.9%	23.4%	14.1%
3	24.8%	31.0%	59.2%	28.3%
4	29.7%	45.7%	94.1%	37.4%
5	40.0%	63.6%	100.0%	49.6%
6	41.5%	81.9%	100.0%	56.4%

Tabla 6.1 Presentación de fracción costo de reparación sobre coste de construcción.

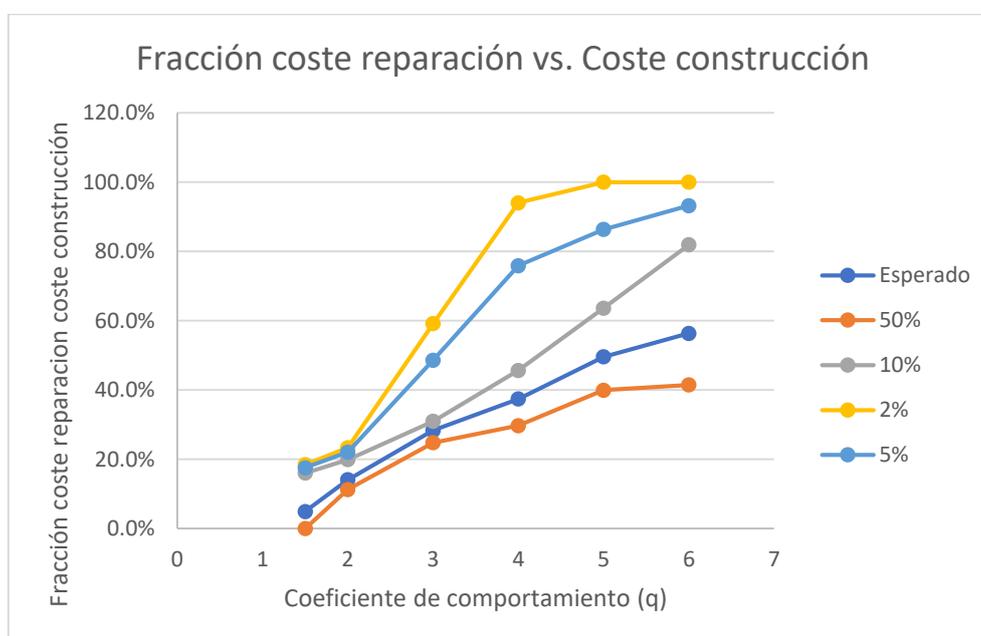


Figura 6.1 Variación fracción de costo de reparación en función de cada q.

Se observa que a medida que cada sismo aumenta su intensidad mayor nivel de daño en la estructura. Al igual que al aumentar el coeficiente de comportamiento más daño sufre la

estructura. Esta variación suele no ser muy drástica para sismos de alto nivel de probabilidad, mientras que en el sismo de probabilidad media con el cual se diseñó la estructura se puede ver un aumento casi lineal y no tanta variación. En el sismo de baja probabilidad la variación es brusca al varezar el coeficiente de comportamiento. En los siguientes histogramas Figura 6.2, se observa con se distribuye la fracción de coste de reparación sobre el coste de construcción para cada coeficiente de comportamiento. Notar que en cada grafica la accisa vertical cambia de escala.

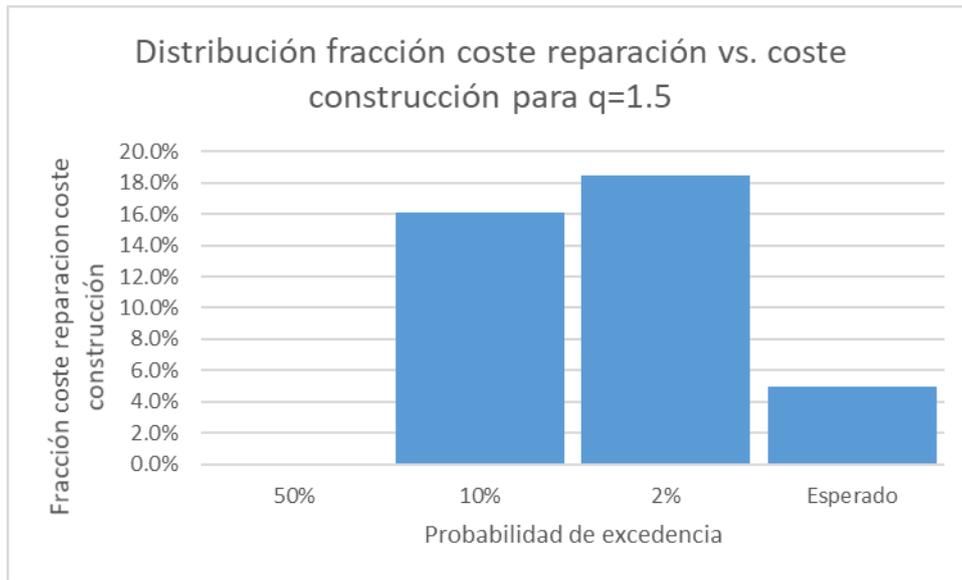


Figura 6.2 Histograma distribución de fracción costo reparación sobre coste de construcción para $q=1.5$.

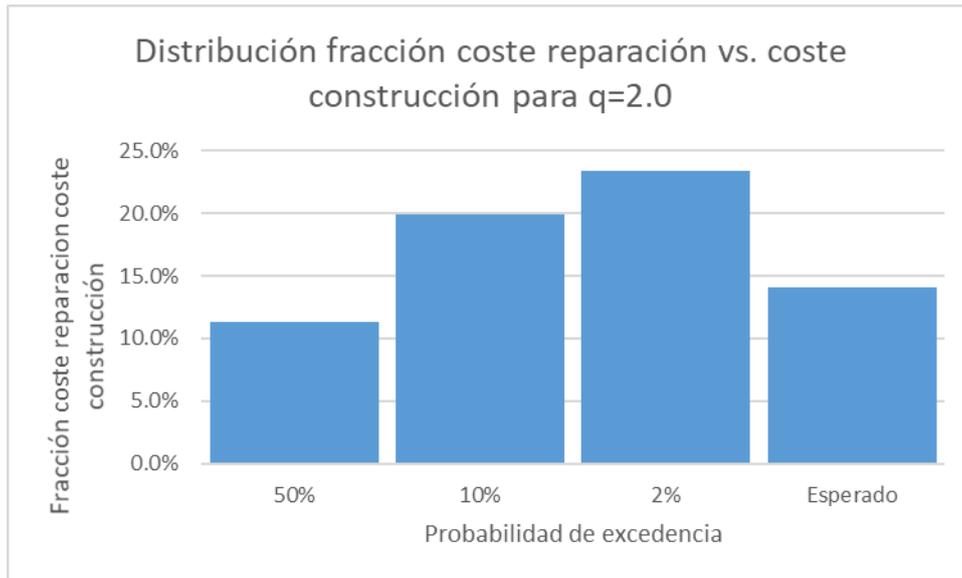


Figura 6.3 Histograma distribución de fracción costo reparación sobre coste de construcción para $q=2.0$.

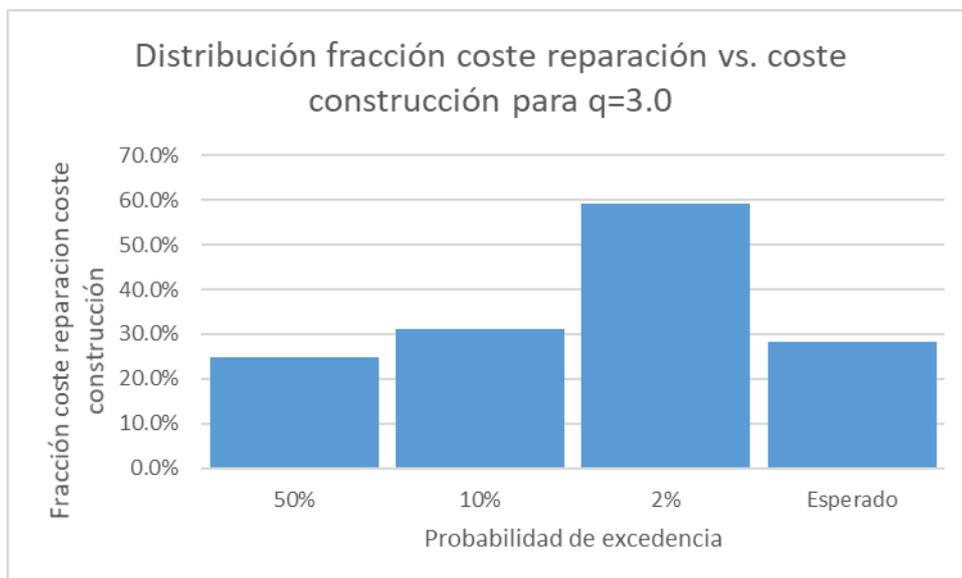


Figura 6.4 Histograma distribución de fracción costo reparación sobre coste de construcción para $q=3.0$.

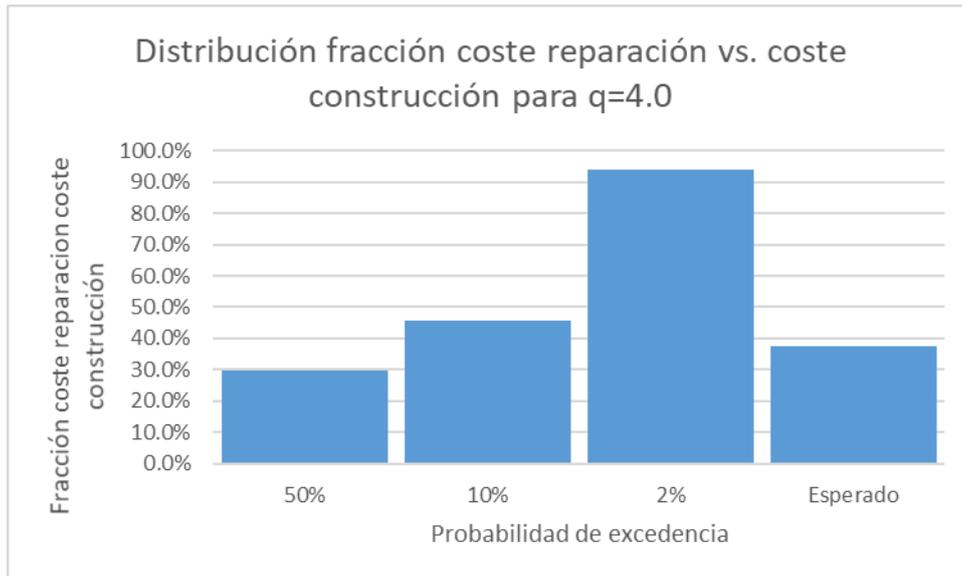


Figura 6.5 Histograma distribución de fracción costo reparación sobre coste de construcción para $q=4.0$.

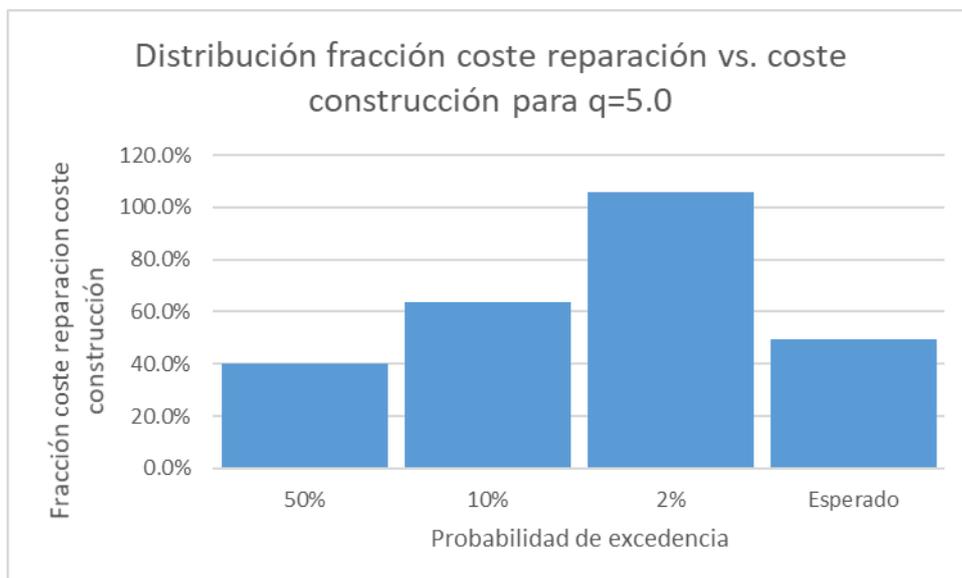


Figura 6.6 Histograma distribución de fracción costo reparación sobre coste de construcción para $q=5.0$.

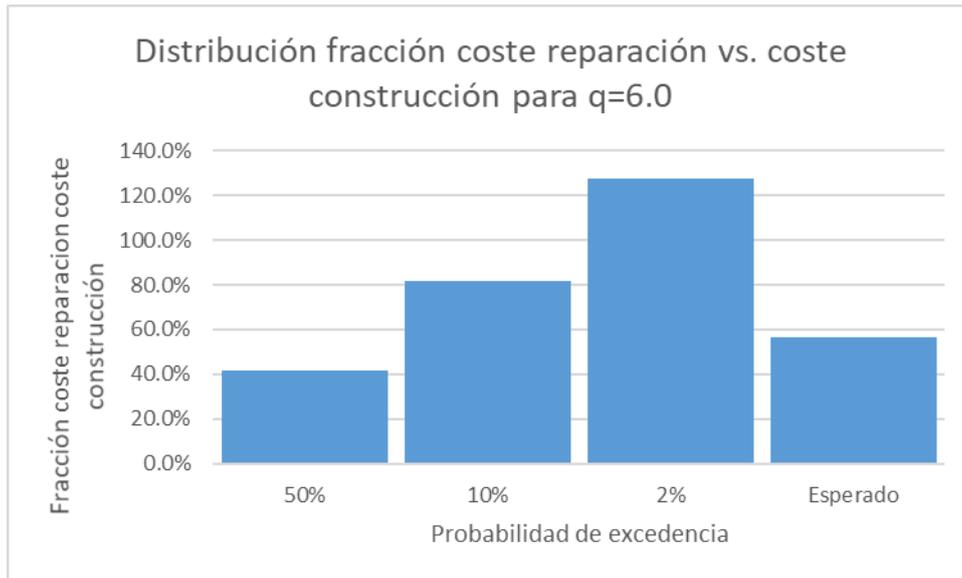


Figura 6.7 Histograma distribución de fracción costo reparación sobre coste de construcción para q=6.0.

6.2. Curvas de vulnerabilidad y coeficiente de comportamiento óptimo

En comparación con el estudio presentado por Yamin et al (2017) se creó la curva de vulnerabilidad, donde se presenta la relación de daño, fracción del costo de reparación esperado sobre el costo de reposición del pórtico, para cada intensidad de sismo (PGA) y de cada pórtico con su coeficiente de comportamiento Figura 6.8. También la curva que presenta el tiempo de reparación estimado para cada intensidad de sismo (PGA) para cada pórtico Figura 6.8.

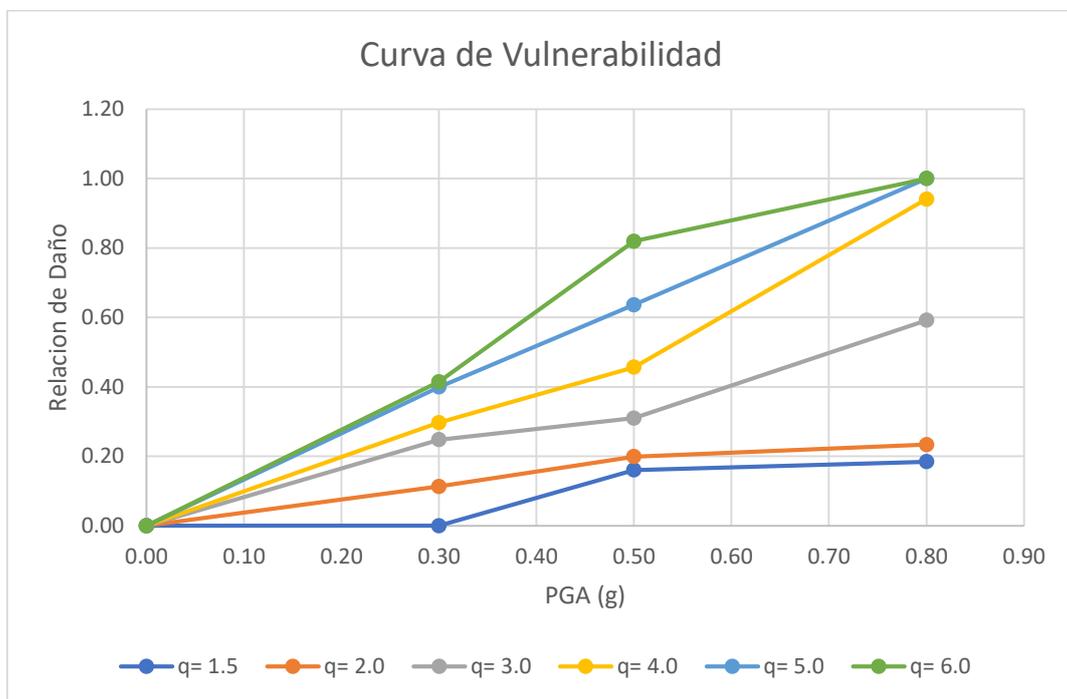


Figura 6.8 Curva de vulnerabilidad.

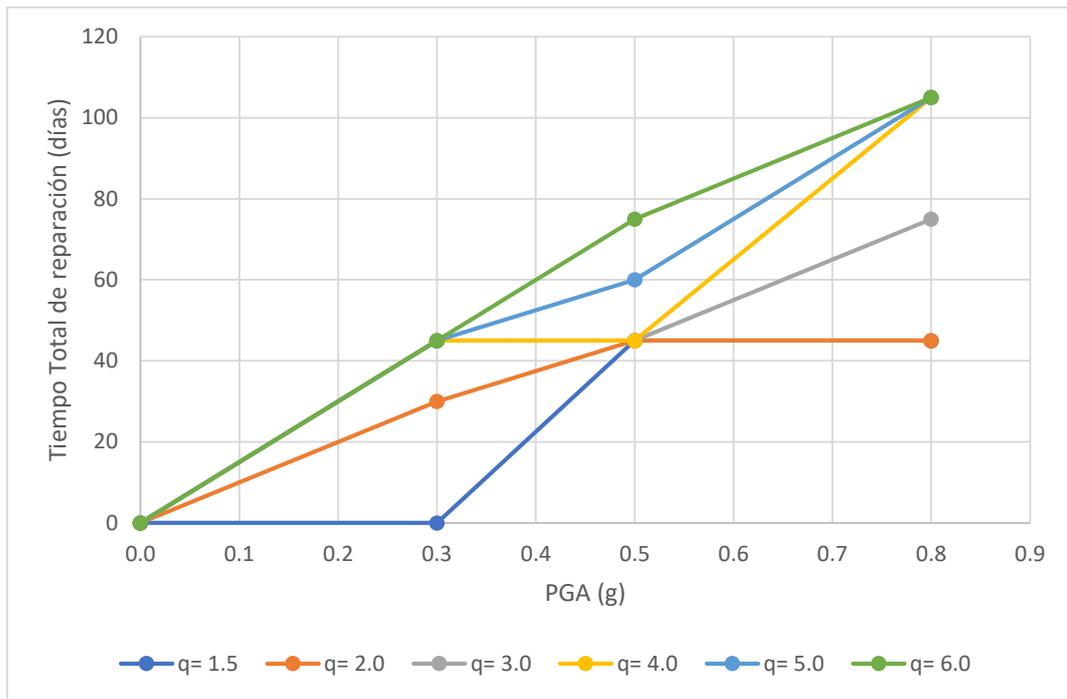


Figura 6.9 Tiempo total de reparación en función del PGA.

Se observa que a mayor intensidad de sismo aumenta el nivel de daño en la estructura de igual manera que los tiempos de reparación los valores de 1.5, 2.0 al ser tan cercanos solo cambiando la metodología de diseño y un poco el espectro de diseño se obtienen valores muy cercanos. También que las intensidades de sismo pequeñas la variación del costo de reparación no es tan grande y para el sismo de intensidad media con una mayor variación que el anterior pero no tan pronunciada. Ya en intensidades altas se ve la gran variación de costo de reparación esperado para cada estructura con su coeficiente de comportamiento.

Ya con los costos de reparación esperado y de construcción se obtiene el costo total esperado en la vida útil de la estructura afectado de los coeficientes de sensibilidad. En la Tabla 6.2 se presenta el coeficiente de comportamiento óptimo y la relación de costo de reparación esperado sobre costo de construcción. En la Figura 6.10 la representación gráfica de la variación del costo total esperado en la vida útil de la estructura en función del coeficiente de comportamiento.

Coeficiente de Comportamiento Óptimo (C. Construcción más C. de reparación esperado)				
q	Costo Const.	Costo Reparación (Esperado)	Costo Total (Esperado)	% CR/CC
1.5	30,899.50 €	2,068.46 €	32,967.96 €	6.69%
2	25,878.04 €	4,620.50 €	30,498.55 €	17.85%
3	17,861.75 €	7,085.64 €	24,947.39 €	39.67%
4	14,019.19 €	7,594.40 €	21,613.59 €	54.17%
5	12,599.38 €	9,247.20 €	21,846.58 €	73.39%
6	12,148.78 €	10,802.45 €	22,951.23 €	88.92%

Tabla 6.2 Coeficiente de comportamiento óptimo.

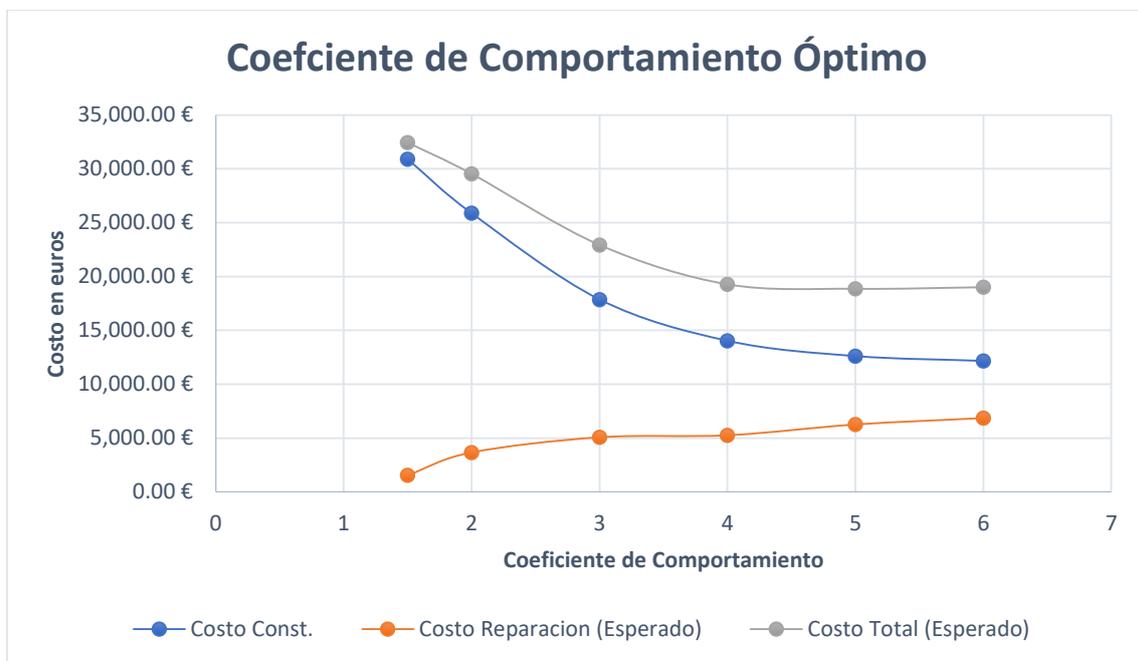


Figura 6.10 Coeficiente de comportamiento óptimo según su costo total esperado.

7. Conclusiones y recomendaciones

Con la realización de los 6 modelos con los diferentes coeficientes de comportamiento variando con los valores 1.5, 2, 3, 4, 5 y 6. Analizando y diseñando cada pórtico con los requisitos del EC8 para el costo de construcción. Luego analizando, evaluando, diseñando y aplicando las reparaciones para determinar el costo esperado de reparación de las estructuras. Se obtuvo el costo esperado total para la vida útil de cada uno de los pórticos.

Ya analizados y presentados los resultados se pudo concluir que el valor del coeficiente de comportamiento óptimo para el prototipo de hormigón armado es de $q=4.0$, con lo que se obtuvo un costo de reparación que tiende luego de este punto tender a varear menos debido a los requisitos mínimos y de detallado del EC8. Esto deja claro que la decisión de hacer las estructuras de hormigón armado incurrir tanto en el rango no lineal puede afectar de gran forma el costo esperado en la vida útil de la estructura. Debido que al producirse un evento sísmico de mediana o alta intensidad incurriría en costos de reparación muy elevados y presentaría un gran inconveniente por encontrarse en la zona del suceso muchas estructuras en este nivel de daño lo que no podría cumplir con la demanda de mano de obra, materiales y equipos para la reparación rápida y eficiente de estas estructuras. Por otro lado, el funcionamiento y operación de estas estructuras con diversos usos se verían afectadas por un mayor tiempo en repararlas y los altos daños en esta que impedirían el debido uso de la misma.

Se observa que al diseñar para periodos de 475 años esto provoca que al ocurrir un sismo de menor periodo de retorno que es más probable la estructura se mantenga en rangos que pueda ser útil justo después de estos sin incurrir en daños cumpliéndose las condiciones de servicio.

Las reparaciones al aumentar el nivel de daño necesitan utilizar mano de obra más especializada lo que podría provocar escases de mano de obra ante un sismo de periodos de retorno mayores al de diseño.

Recomendaciones para futuros proyectos:

- Utilizar estructuras ya diseñadas y si es posible existentes con daños producidos por sismo para evaluar los niveles de daño con mejor estimación.
- Considerar la contribución de los elementos no estructurales, tanto en la respuesta sísmica, como en los costos de reparación.
- Aplicar estudio a estructura con diferentes tipos de uso para valorar los tiempos y costos de la no operación post-sismo.
- Al momento de analizar la estructura utilizar más sismos con variaciones del periodo de retorno y parámetro de intensidad para obtener un costo esperado más preciso.
- Tomar en cuenta daños a los inmuebles y equipos de gran importancia y costo en la estructura a analizar.
- Tomar en cuenta otras normativas como la americana a la hora del diseño y hacer una comparativa entre ambas ya que la americana tiene unos coeficientes de comportamiento que llegan en pórticos dúctiles de hormigón armado a los valores de 8.
- Se motiva a seguir investigando el tema ya que este pueda dar más conocimiento de cuál debería ser mejor comportamiento de una estructura ante acciones sísmicas y podría prevenir situaciones no favorables en caso de un evento sísmico.

8. Bibliografía

- ATC-40. (1998a). FEMA 306. EVALUATION OF EARTHQUAKE DAMAGED CONCRETE AND MASONRY WALL BUILDINGS. Basic Procedures Manual. *Management*, 250.
<https://doi.org/10.1193/1.1586111>
- ATC-40. (1998b). Fema 308. Repair of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings. *Management*, 80.
- Bairán, J. (2017a). "EC8 Pushover Analysis- Diseño y Evaluación Sísmica de Estructuras." Universidad Politecnica de Cataluña, Barcelona.
- Bairán, J. (2017). *Evaluación Sísmica. Presentación Clase*. Universidad Politecnica de Catalunya, Barcelona.
- Bairán, J. (2017b). "Momento- Curvatura Multilineal (clase) V.7- Diseño y Evaluación Sísmica de Estructuras." Universidad Politecnica de Cataluña, Barcelona.
- Barbat, A. H., & Pujades, L. (2004). Evaluación de la Vulnerabilidad y del riesgo sísmico en zonas urbanas. Aplicación a Barcelona. *SÍSMICA 2004 - 6º Congreso Nacional de Sismología e Engenharia Sísmica*, (1977), 229–252. Retrieved from http://civil.uminho.pt/masonry/Publications/Sismica_2004/229-252_Alex_Barbat_e_Lluis_Pujades_24_p_.pdf
- Comité Técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos estructurales. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (2006).
- Computers and Structures Inc. (2017). SAP200 ultimate. California: CSI.
- CYPE ingenieros S.A. (2017). Generación de precios España. Retrieved June 17, 2018, from <http://www.generadordeprecios.info>
- Fajfar, P., & Gaspersic, P. (1996). the N2 Method for the Seismic Damage Analysis of Rc Buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 25(1), 31–46.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199601\)25:1<31::AID-EQE534>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199601)25:1<31::AID-EQE534>3.0.CO;2-V)

- FEMA P-750. (2009). NEHRP Recommended Seismic Provisions, 383.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004> T4 - Design Examples M4 - Citavi
- Garcia, M. (2018). *Estudio sobre la efectividad del factor de sobre-resistencia del criterio columna fuerte- viga débil en el diseño sísmico de pórticos de hormigón mediante el análisis no lineal*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Hatheway, A. W. (1996). *Fundamentals of earthquake engineering. Engineering Geology* (Vol. 43). [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(95\)00070-4](https://doi.org/10.1016/0013-7952(95)00070-4)
- Ludovico, M. Di, Martino, G. De, Prota, A., Moroni, C., Manfredi, G., & Dolce, M. (2017). Analysis of the Relationship between Empirical Damages and Repair Cost on RC Private Buildings after L´AQUILA Earthquake. *16 Th World Conference on Earthquake Engineering*, (January).
- Mejia, R. (2017). *Estudio sobre la efectividad del criterio pilar fuerte-viga débil en el diseño sísmico de pórticos de hormigón*. Univerisdad Politecnica de Catalunya.
- Moehle, J. (2015). *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings*. (McGraw-Hill, Ed.). McGraw-Hill.
- Moreno, R., Pujades, L., Aparicio, A. C., & Barbat, A. H. (2007). Herramientas necesarias para la evaluación sísmica de edificios. *Monografías de Ingeniería Sísmica*, 112. Retrieved from https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/28503/monografia1_rosangel.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ottazzi Pasino, G. A. (2011). Material de apoyo para la enseñanza de los cursos de diseño y comportamiento del concreto armado. *Pontificia Universidad Católica Del Perú*.
- Vielma, J. C. (2008). Caracterización del comportamiento sísmico de edificios de hormigón armado mediante la respuesta no lineal, 272.
- Vielma, J. C., Barbat, A. H., & Oller, S. (2011). Proyecto sismorresistente de estructuras porticadas. *Monografías de Ingeniería Sísmica*.
- Yamin, L. E., Hurtado, A., Rincon, R., Dorado, J. F., & Reyes, J. C. (2017). Probabilistic seismic vulnerability assessment of buildings in terms of economic losses. *Engineering Structures*, 138, 308–323. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.02.013>

Anexo A

Pórtico q=1.5

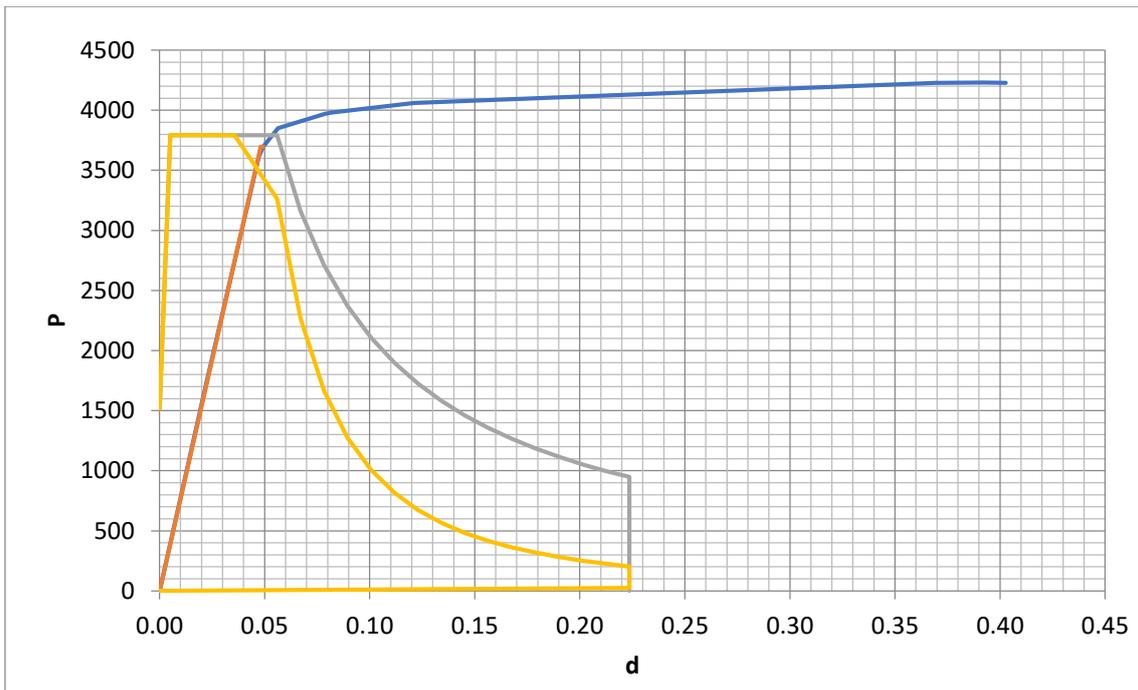


Figura AA.1 Punto de desempeño para el pórtico q=1.5, PGA30%.

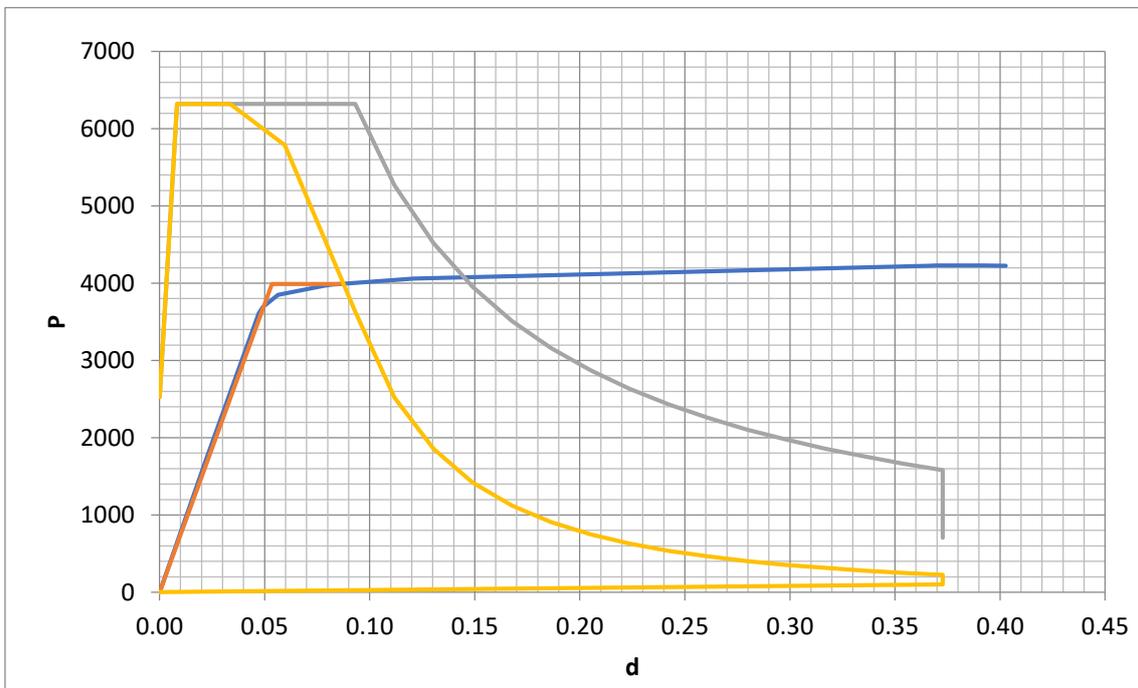


Figura AA.2 Punto de desempeño para el pórtico q=1.5, PGA 50%.

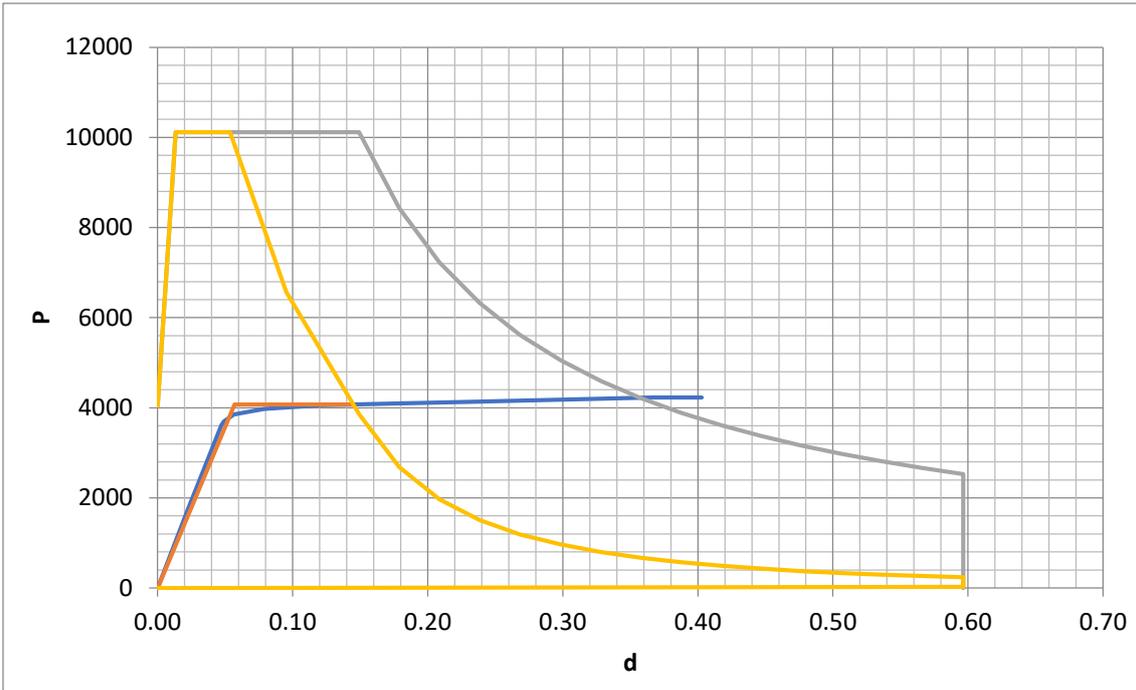


Figura AA.3 Punto de desempeño para el pórtico $q=1.5$, PGA 80%.

Pórtico $q=2.0$

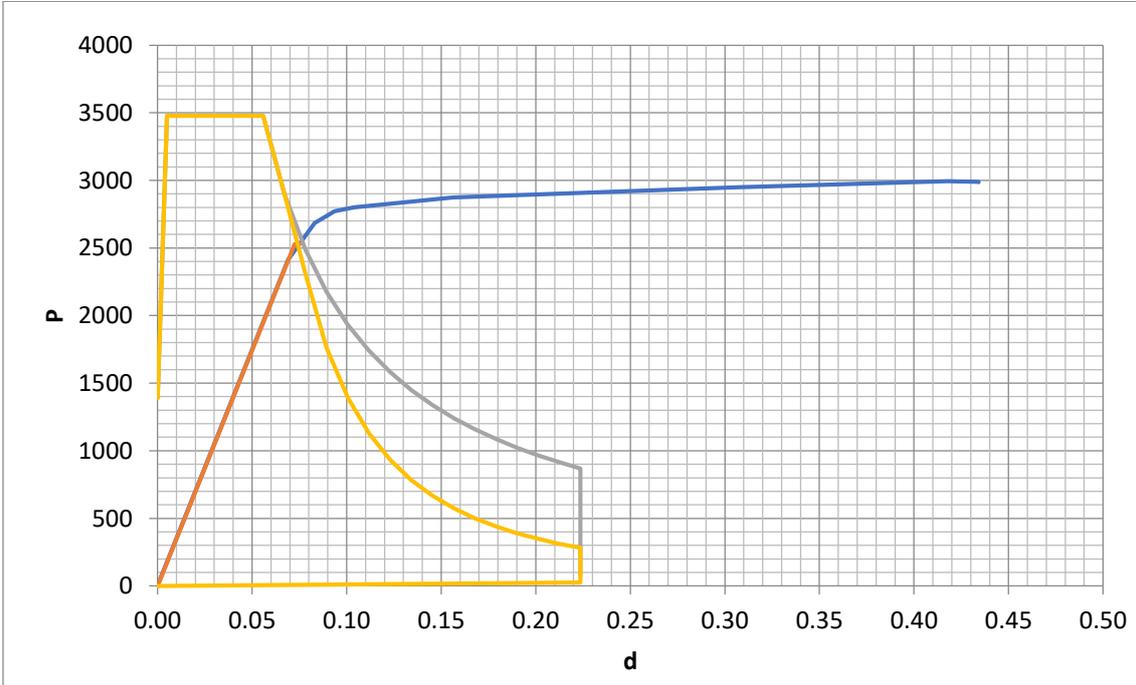


Figura AA.4 Punto de desempeño para el pórtico $q=2.0$, PGA30%.

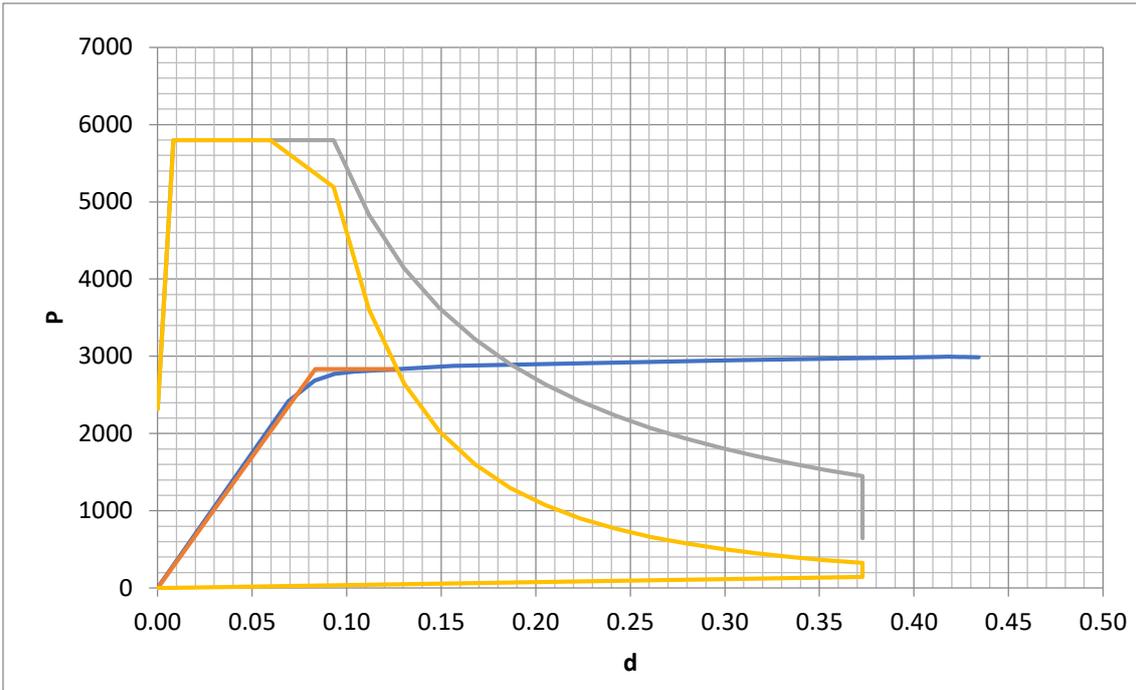


Figura AA.5 Punto de desempeño para el pórtico $q=2.0$, PGA 50%.

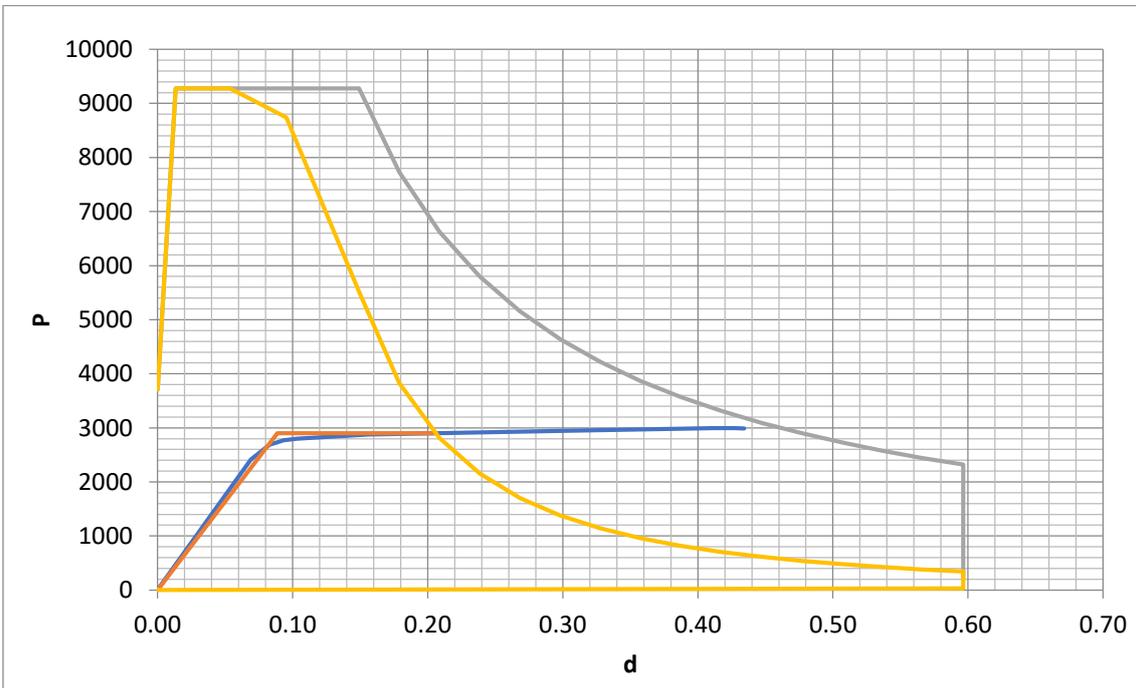


Figura AA.6 Punto de desempeño para el pórtico $q=2.0$, PGA 80%.

Pórtico q=3.0

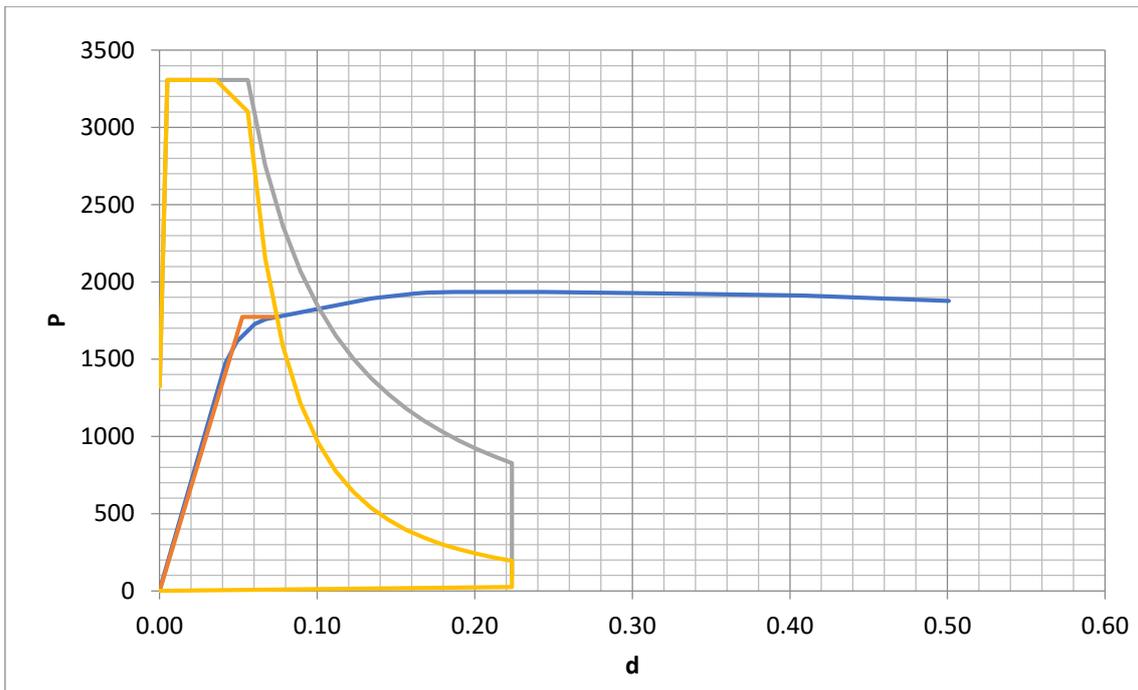


Figura AA.7 Punto de desempeño para el pórtico $q=3.0$, PGA30%.

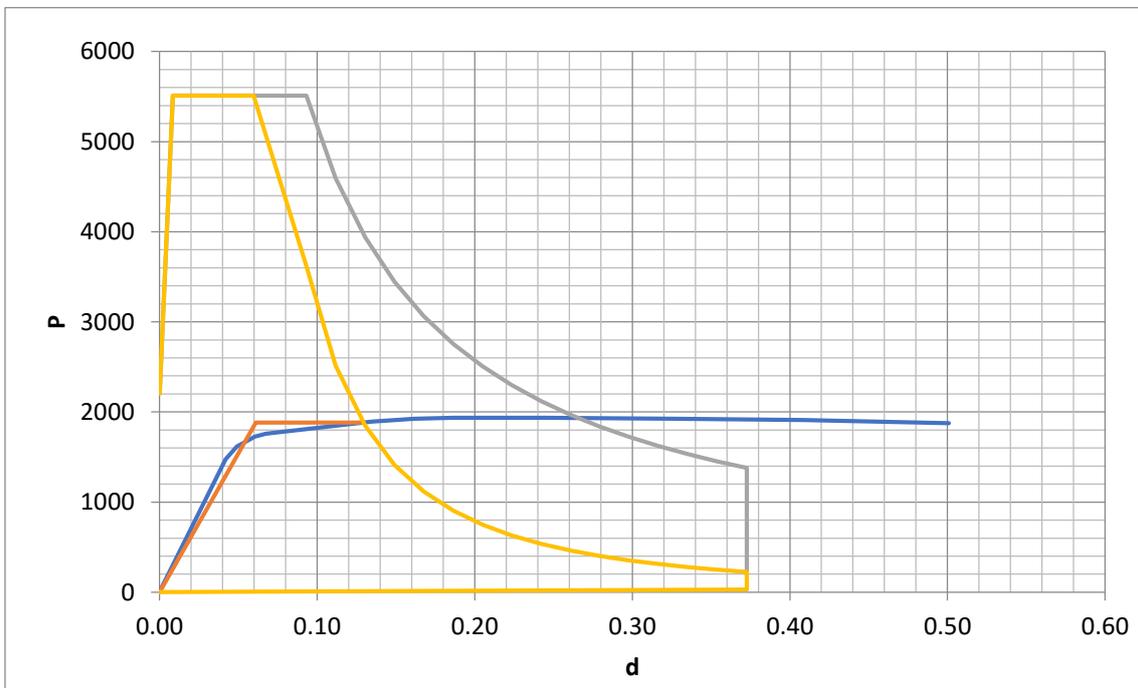


Figura AA.8 Punto de desempeño para el pórtico $q=3.0$, PGA 50%.

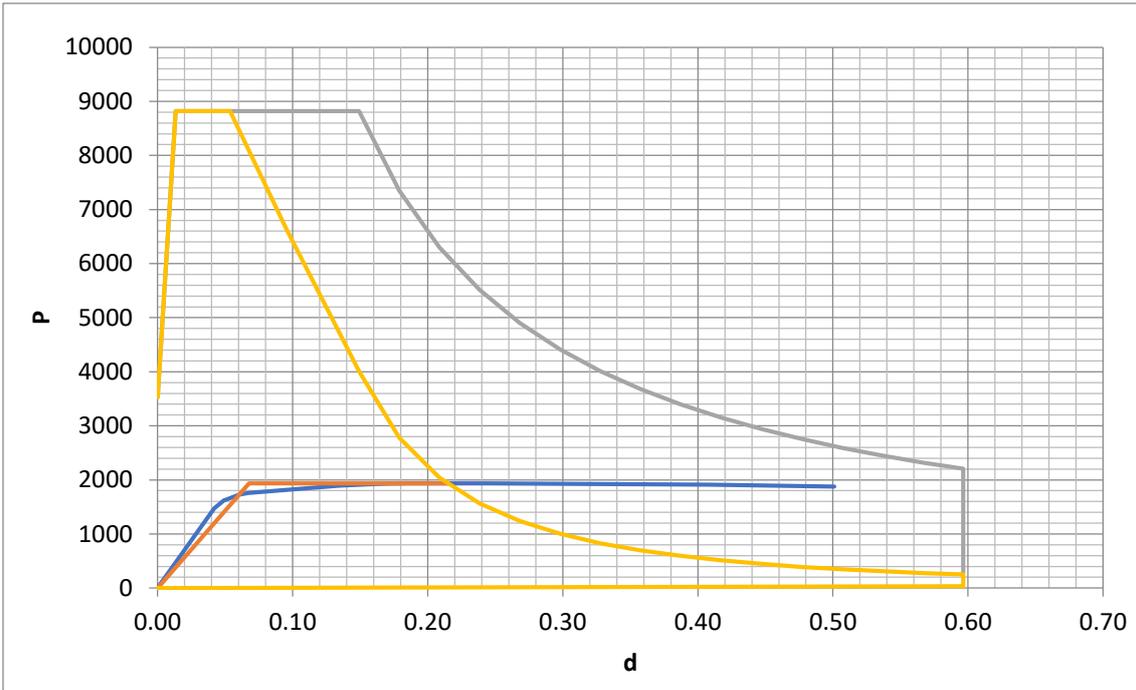


Figura AA.9 Punto de desempeño para el pórtico q=3.0, PGA 80%.

Pórtico q=4.0

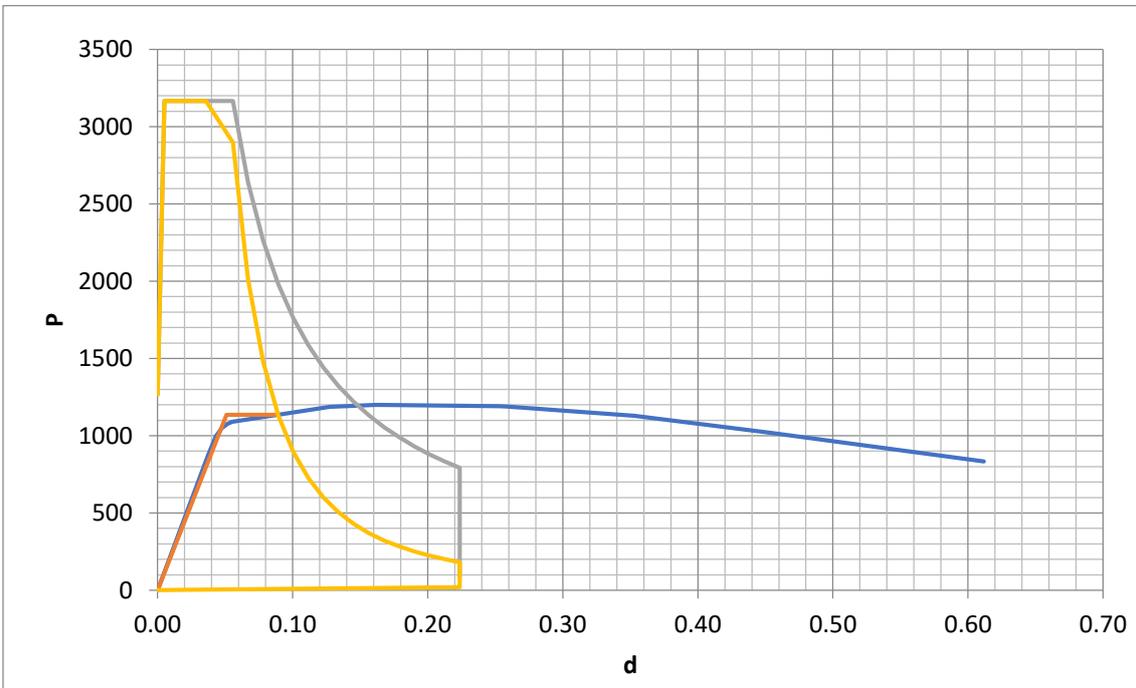


Figura AA.10 Punto de desempeño para el pórtico q=4.0, PGA 30%.

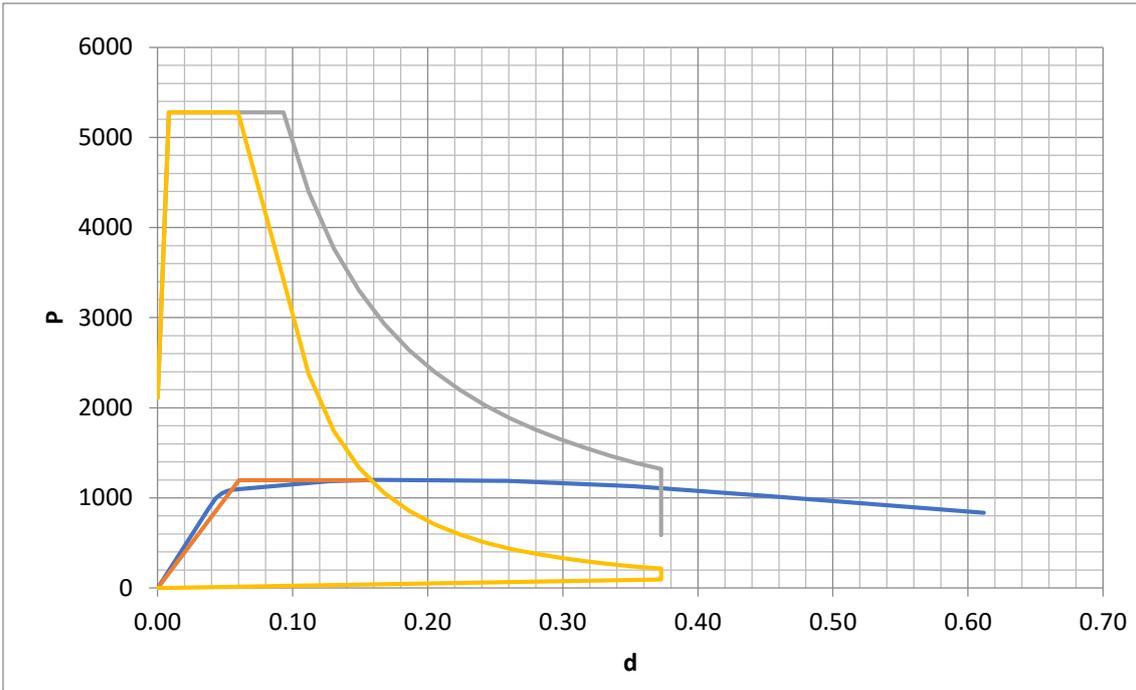


Figura AA.11 Punto de desempeño para el pórtico $q=4.0$, PGA 50%.

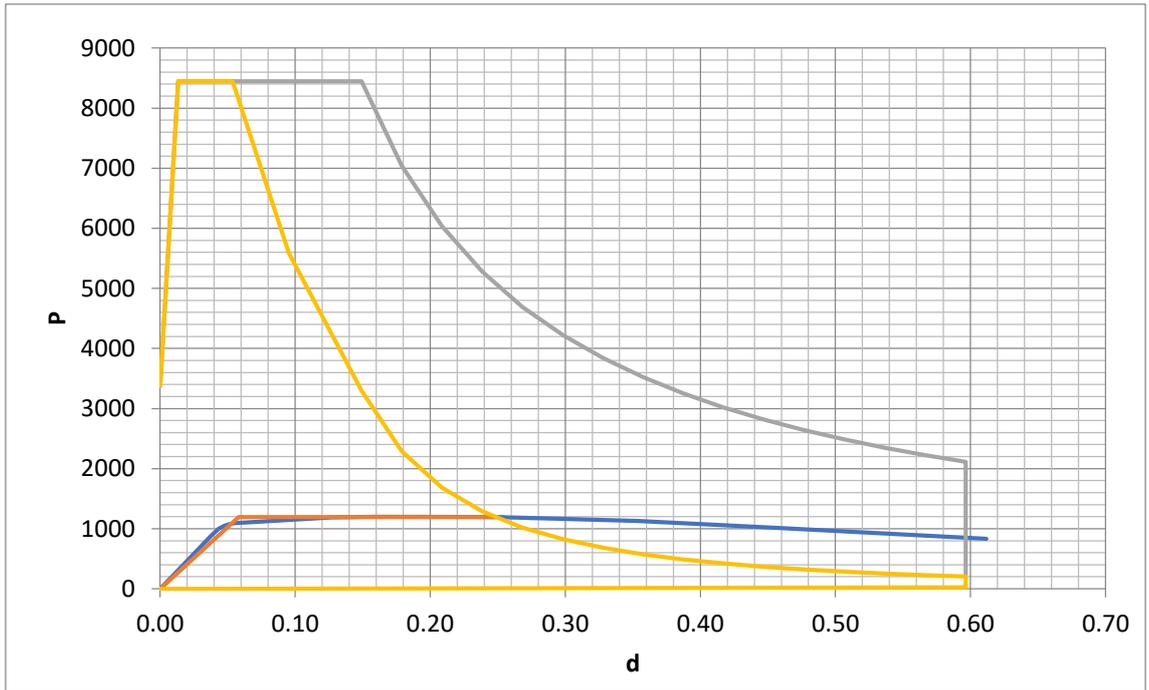


Figura AA.12 Punto de desempeño para el pórtico $q=4.0$, PGA 80%.

Pórtico q=5.0

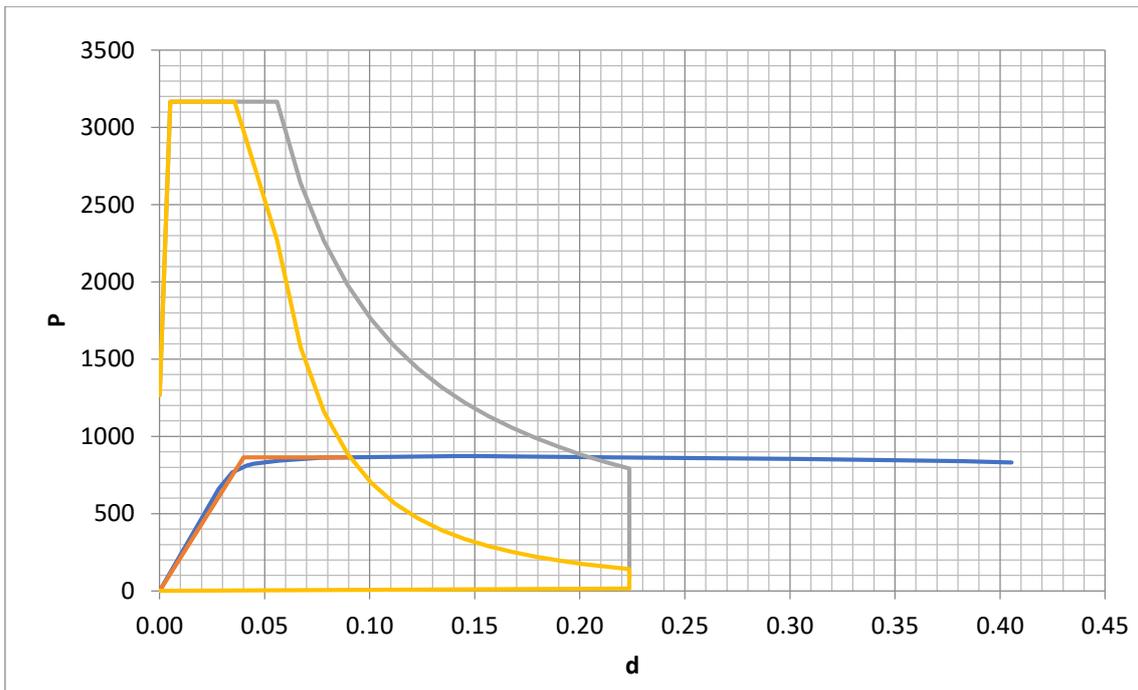


Figura AA.13 Punto de desempeño para el pórtico $q=5.0$, PGA 30%.

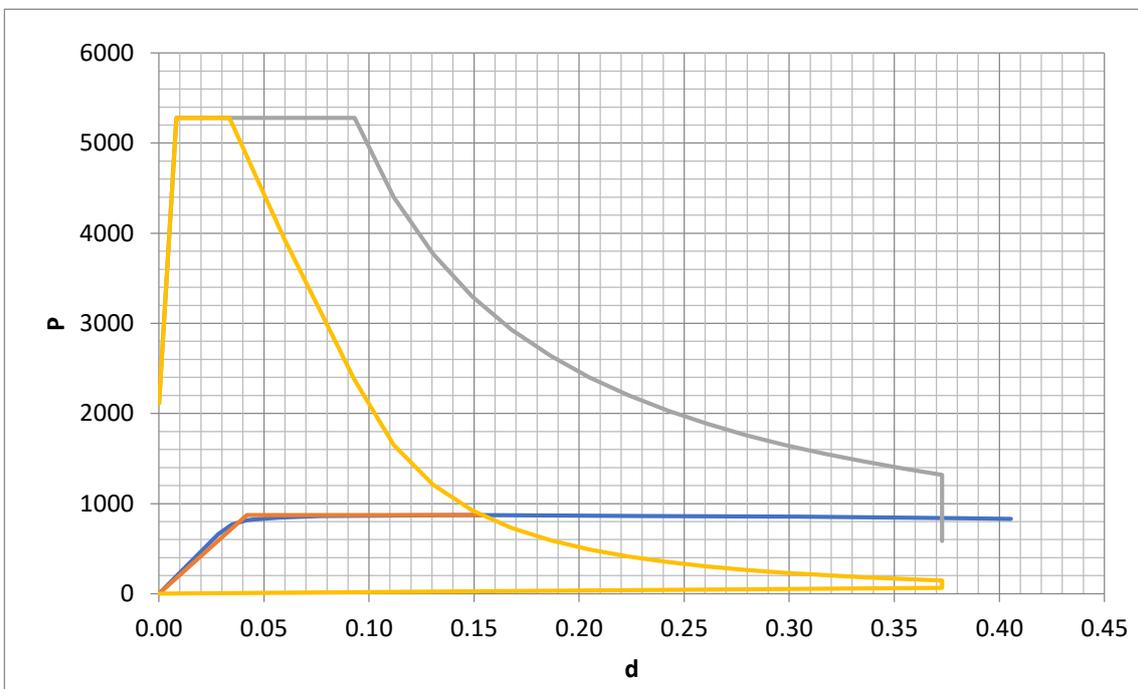


Figura AA.14 Punto de desempeño para el pórtico $q=5.0$, PGA 50%.

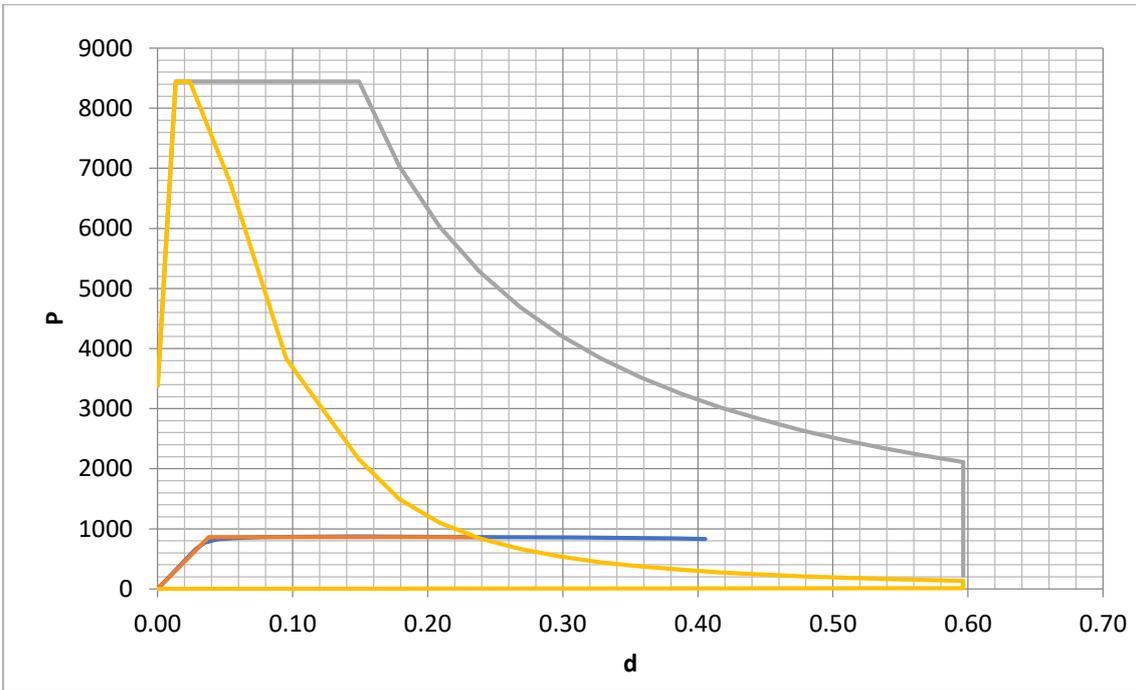


Figura AA.15 Punto de desempeño para el pórtico q=5.0, PGA 80%.

Pórtico q=6.0

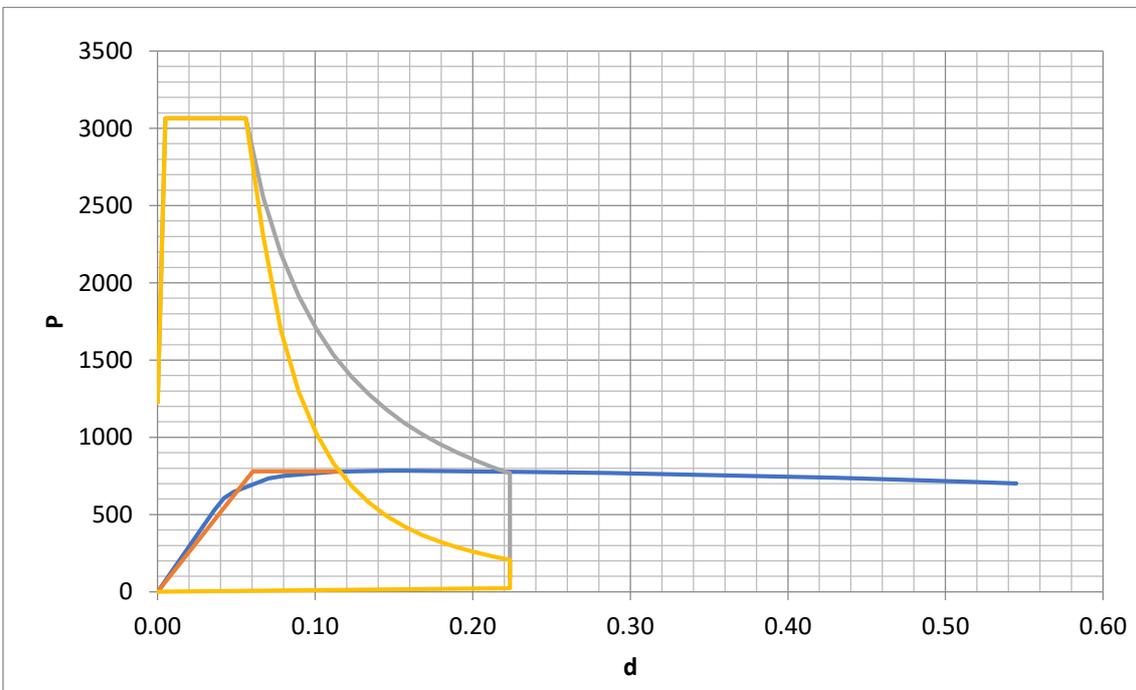


Figura AA.16 Punto de desempeño para el pórtico q=6.0, PGA 30%.

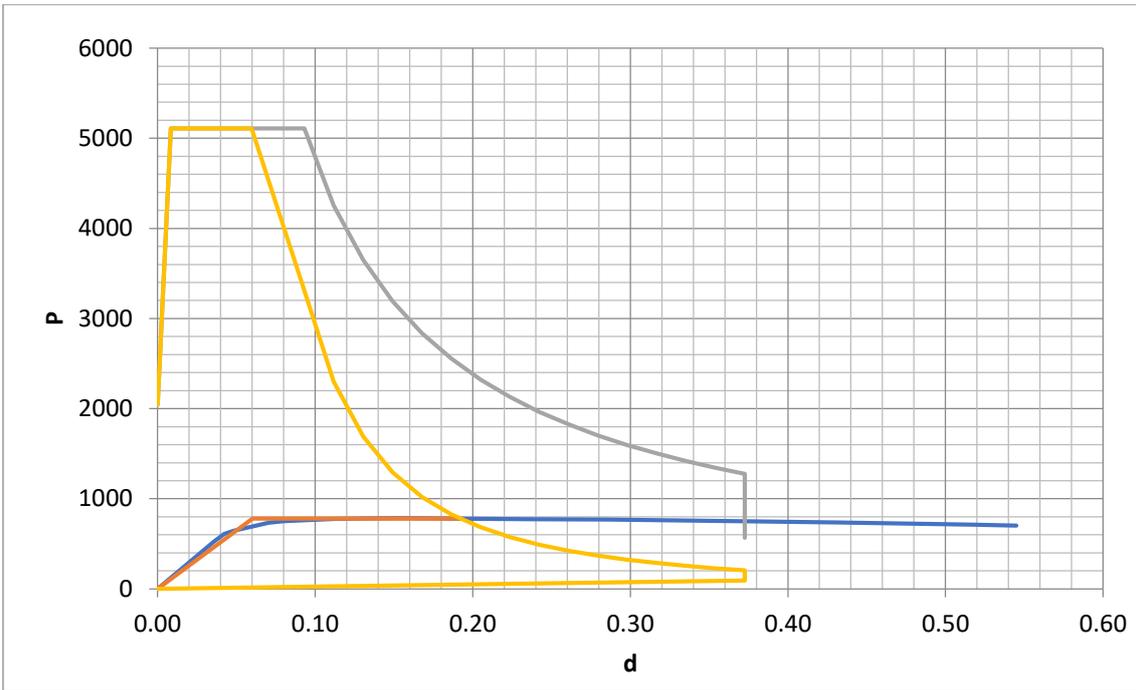


Figura AA.17 Punto de desempeño para el pórtico $q=6.0$, PGA 50%.

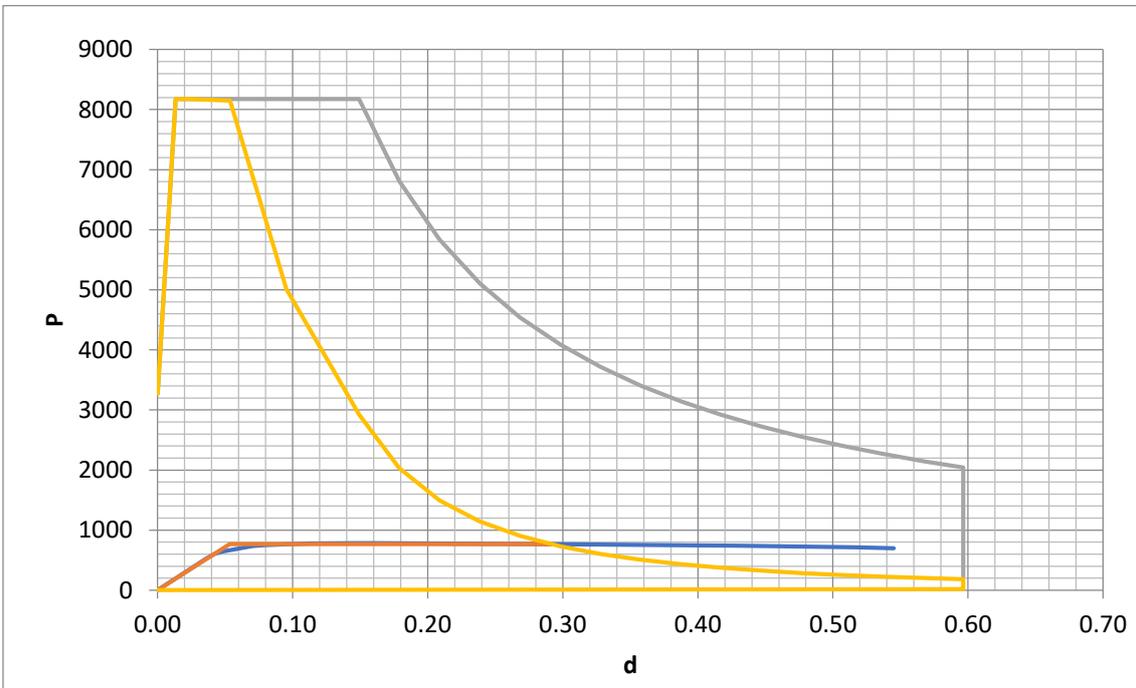


Figura AA.18 Punto de desempeño para el pórtico $q=6.0$, PGA 80%.

Anexo B

Pórtico q=1.5

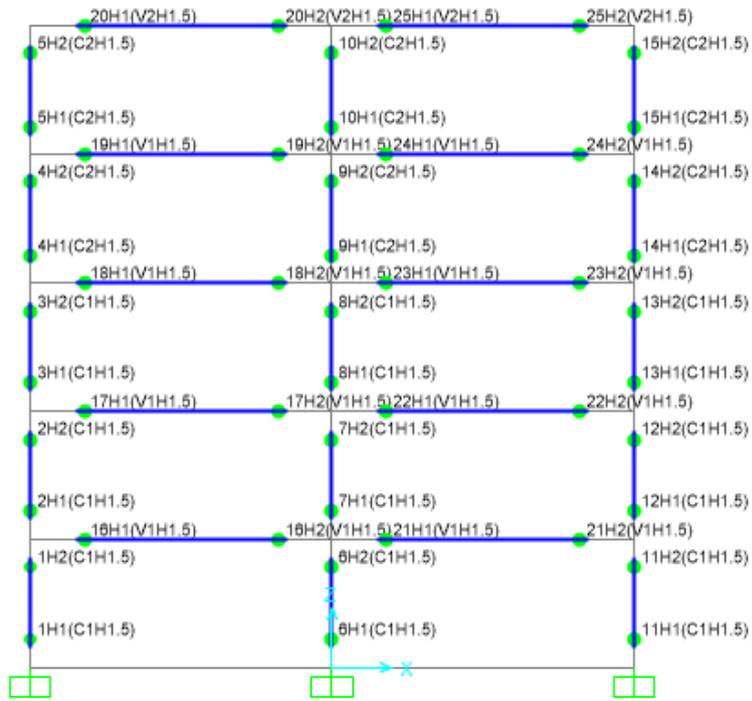


Figura AB. 1 Pórtico con identificadores de cada rotula plástica.

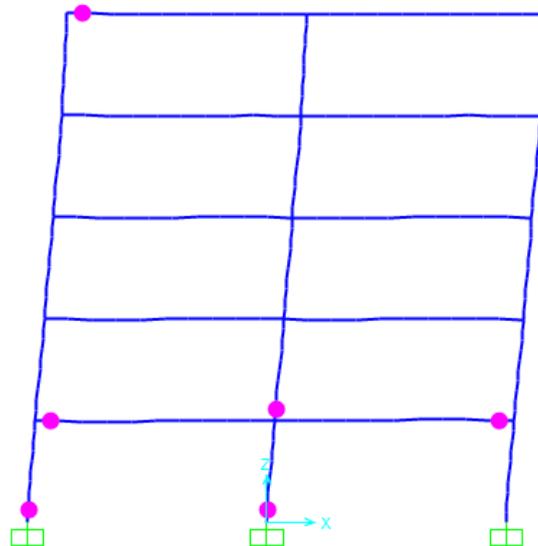


Figura AB.2 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 2 PGA 0.3g.

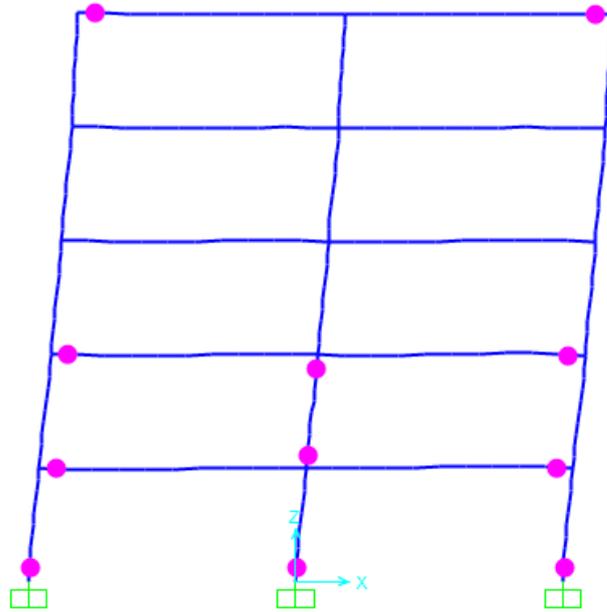


Figura AB.3 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 3 PGA 0.3g.

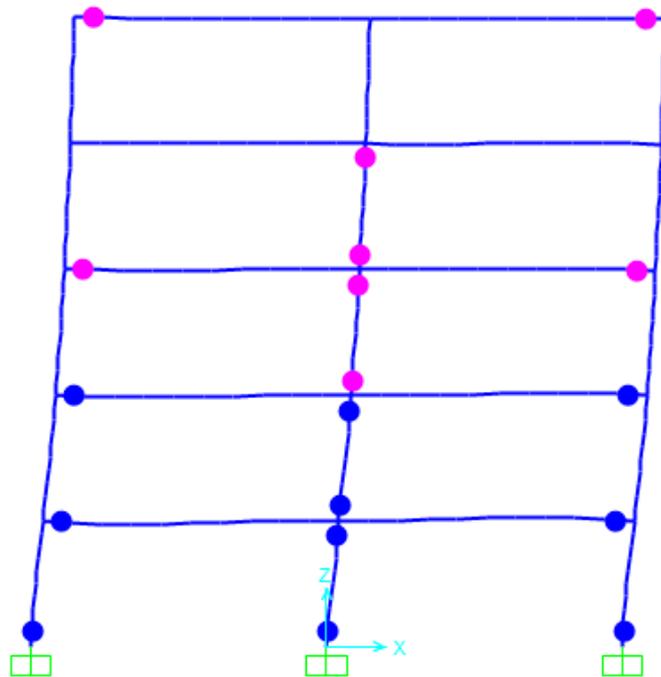


Figura AB.4 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 6 PGA 0.5g.

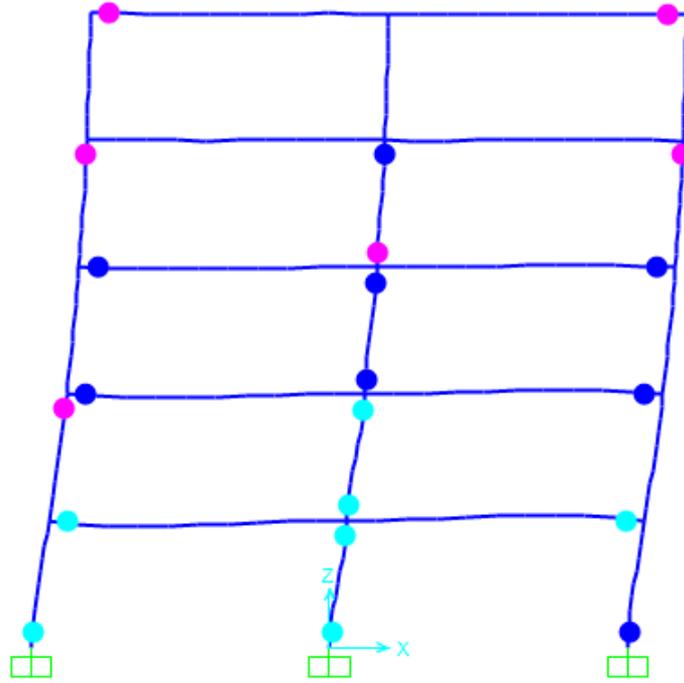


Figura AB.5 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 7 PGA 0.5g y 0.8g.

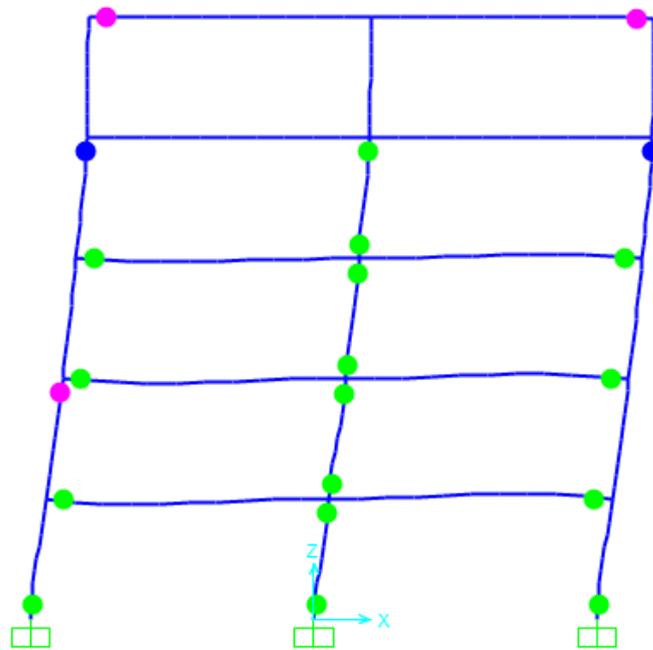


Figura AB.6 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 8 PGA 0.8g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H1.5)	1835.64	1916.25	0.00070	nada
2	16H1 (V1H1.5)	0.00	2810.59	0.00059	nada
3	17H1 (V1H1.5)	0.00	10473.20	0.00021	nada
4	20H1 (V2H1.5)	0.00	428.00	0.00084	nada
5	6H1 (C1H1.5)	-2019.90	2291.93	0.00067	nada
6	7H1 (C1H1.5)	-1614.83	2248.27	0.00037	nada
7	7H2 (C1H1.5)	-1589.18	300.40	-0.00036	nada
8	11H1 (C1H1.5)	-4044.04	2297.24	0.00000	nada
9	21H2 (V1H1.5)	0.00	-3140.13	-0.00049	nada
10	22H2 (V1H1.5)	0.00	-3066.37	-0.00016	nada
11	25H2 (V2H1.5)	0.00	-701.10	-0.00008	nada

Tabla AB.1 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.3g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H1.5)	2082.09	1892.29	0.00702	insignificante
2	16H1 (V1H1.5)	0.00	2828.85	0.00709	insignificante
3	2H2 (C1H1.5)	1492.67	-1848.63	-0.00003	nada
4	17H1 (V1H1.5)	0.00	2821.57	0.00137	insignificante
5	4H2 (C2H1.5)	258.46	-1096.31	-0.00002	nada
6	18H1 (V1H4)	0.00	2810.66	0.00062	insignificante
7	20H2 (V2H1.5)	0.00	428.25	0.00131	nada
8	6H1 (C1H1.5)	-2002.53	2302.90	0.00792	Moderado
9	6H2 (C1H1.5)	-1975.02	-2308.72	-0.00614	ligero
10	7H1 (C1H1.5)	-1592.86	2277.11	0.00704	ligero
11	8H1 (C1H1.5)	-1191.31	2225.67	0.00264	insignificante
12	7H2 (C1H1.5)	-1570.55	-2267.11	-0.00696	ligero
13	8H2 (C1H1.5)	-1167.46	-2224.62	-0.00317	insignificante
14	9H1 (C1H1.5)	-794.07	1480.09	0.00044	insignificante
15	9H2 (C1H1.5)	-775.55	-1471.32	-0.00086	insignificante
16	25H1 (V2H1.5)	0.00	-704.26	-0.00052	nada
17	23H2 (V1H1.5)	0.00	-3140.00	-0.00046	nada
18	22H2 (V1H1.5)	0.00	-3152.85	-0.00456	insignificante
19	21H2 (V1H1.5)	0.00	-3160.72	-0.00707	insignificante
20	11H1 (C1H1.5)	-4329.29	2488.31	0.00582	ligero
21	14H2 (C2H1.5)	-1074.55	-1225.65	0.00000	nada

Tabla AB.2 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.5g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H1.5)	2145.58	1901.11	0.01439	ligero
2	16H1 (V1H1.5)	0.00	2849.36	0.01455	ligero
3	2H2 (C1H1.5)	1547.31	-1962.83	-0.00040	nada
4	17H1 (V1H1.5)	0.00	2840.49	0.01118	ligero
5	4H2 (C2H1.5)	303.18	-1352.63	-0.00240	insignificante
6	18H1 (V1H4)	0.00	2826.34	0.00617	insignificante
7	20H1 (V2H1.5)	0.00	428.31	0.00141	nada
8	6H1 (C1H1.5)	-1994.83	2338.09	0.01617	Extremo
9	6H2 (C1H1.5)	-1966.71	-2340.04	-0.01477	Moderado
10	7H1 (C1H1.5)	-1586.46	2308.79	0.01605	Moderado
11	8H1 (C1H1.5)	-1186.03	2251.42	0.01037	Moderado
12	7H2 (C1H1.5)	-1563.70	-2301.44	-0.01601	Moderado
13	8H2 (C1H1.5)	-1162.03	-2250.85	-0.01087	Moderado
14	9H1 (C1H1.5)	-788.64	1491.46	0.00532	ligero
15	9H2 (C1H1.5)	-770.35	-1484.48	-0.00559	ligero
16	25H2 (V2H1.5)	0.00	-704.14	-0.00061	nada
17	23H2 (V1H1.5)	0.00	-3157.29	-0.00597	insignificante
18	22H2 (V1H1.5)	0.00	-3173.87	-0.01127	ligero
19	21H2 (V1H1.5)	0.00	-3181.83	-0.01383	ligero
20	11H1 (C1H1.5)	-4399.41	2533.16	0.01309	Moderado
21	14H2 (C2H1.5)	-1124.19	-1511.09	-0.00223	insignificante

Tabla AB.3 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.8g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño PGA 0.3g						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0	0.00	0.00	ml	51.80	0.00
Moderado	0	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0	0.00	0.00	ml	51.80	
Extremo	0	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0	0.00	0.00	ml	51.80	0.00
Moderado	0	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0	0.00	0.00	ml	51.80	
Extremo	0	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0	0.00	0.00	ml	51.80	0.00
Moderado	0	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0	0.00	0.00	ml	51.80	
Extremo	0	0.00	0.00	m2	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0	0.00	0.00	ml	51.80	0.00
Moderado	0	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0	0.00	0.00	ml	51.80	
Extremo	0	0.00	0.00	m2	174.91	0.00
					TOTAL	0.00 €

Tabla AB.4 Cubicación de reparaciones PGA 0.3g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño PGA 0.5g						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	3.00	54.60	m2	40.98	2237.51
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.80	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.80	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.80	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.80	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	3.00	23.40	m2	40.98	958.93
Ligero	6.60	2.00	13.20	ml	51.80	683.76
Moderado	3.00	1.00	7.80	m2	40.98	661.52
	6.60	1.00	6.60	ml	51.80	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	4.40	0.00	0.00	ml	51.80	0.00
Moderado	3.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	4.40	0.00	0.00	ml	51.80	
Extremo	3.00	0.00	0.00	m2	174.91	0.00
					TOTAL	4,541.72 €

Tabla AB.5 Cubicación de reparaciones PGA 0.5g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	1.00	18.20	m2	40.98	745.84
Ligero	10.40	2.00	20.80	ml	51.80	1077.44
Moderado	7.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	10.40	0.00	0.00	ml	51.80	
Extremo	7.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.80	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.80	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	6.60	2.00	13.20	ml	51.80	683.76
Moderado	3.00	3.00	23.40	m2	40.98	1984.57
	6.60	3.00	19.80	ml	51.80	
Extremo	3.00	1.00	3.00	ml	174.91	524.73
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	1.00	6.60	m2	40.98	270.47
Ligero	4.40	0.00	0.00	ml	51.80	0.00
Moderado	3.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	4.40	0.00	0.00	ml	51.80	
Extremo	3.00	0.00	0.00	m2	174.91	0.00
					TOTAL	5,286.81 €

Tabla AB.6 Cubicación de reparaciones PGA 0.8g.

Pórtico q=2.0

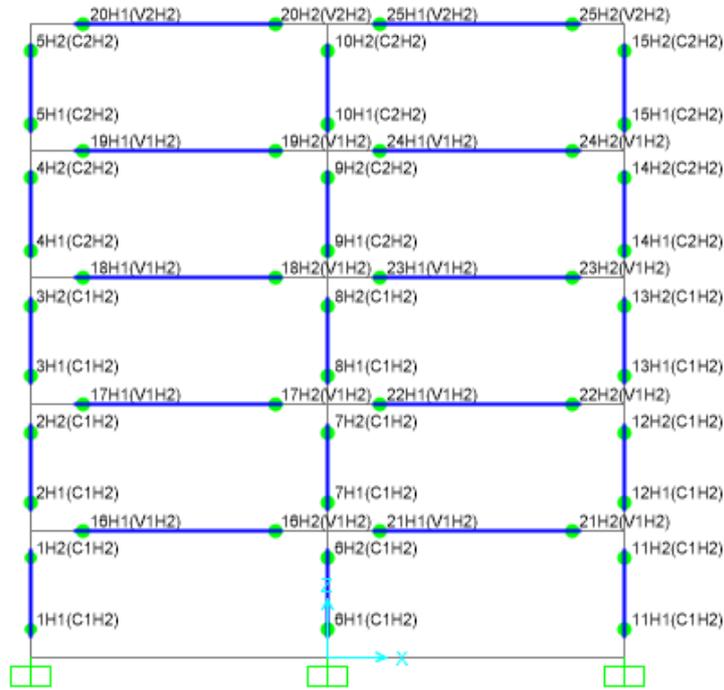


Figura AB. 7 Pórtico con identificadores de cada rotula plástica.

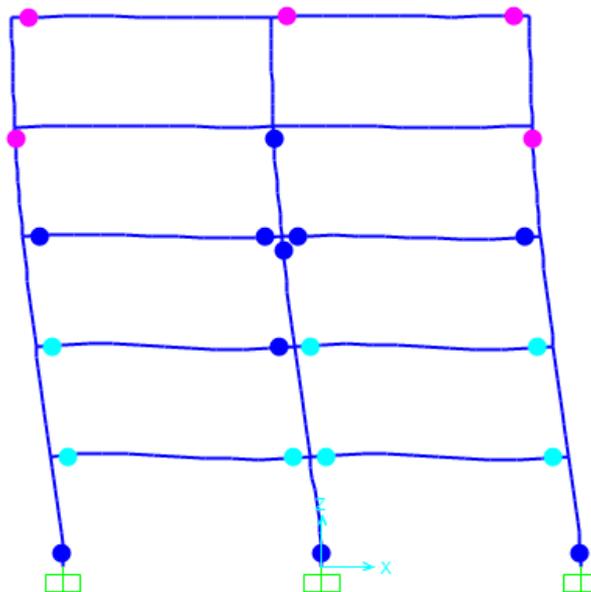


Figura AB.8 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 5 PGA 0.3g y 0.5g.

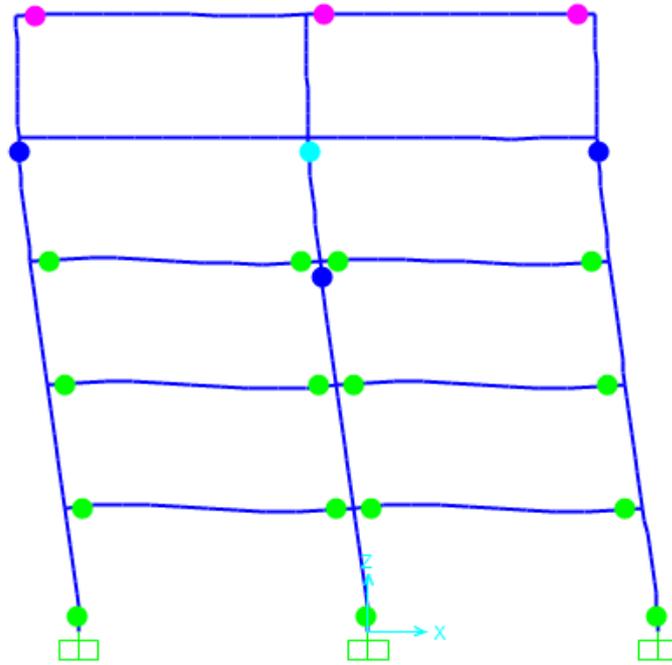


Figura AB.9 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 6 PGA 0.3g, 0.5g y 0.8g.

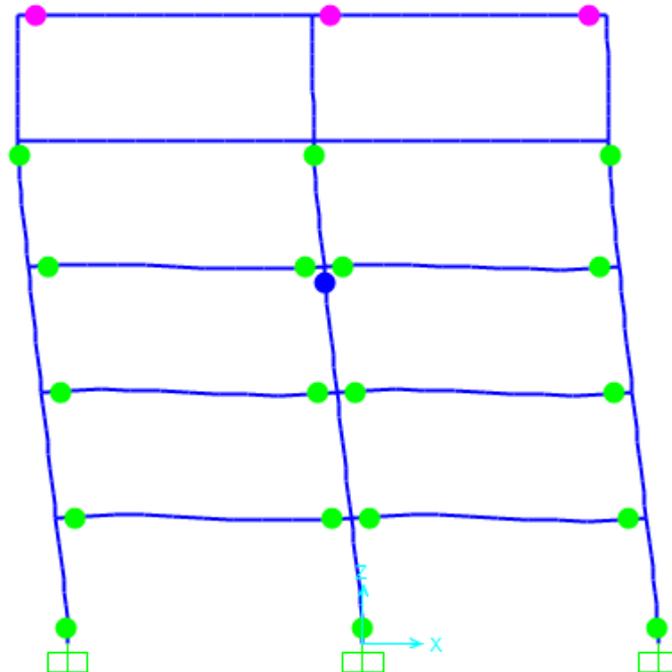


Figura AB.10 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 7 PGA 0.8g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H2)	-3199.45	-2398.87	-0.00150	insignificante
2	16H1 (V1H2)	0.00	-1915.74	-0.00438	insignificante
3	17H1 (V1H2)	0.00	-1915.78	-0.00442	insignificante
4	4H2 (C2H2)	-860.75	980.23	0.00001	nada
5	18H1 (V1H2)	0.00	-1912.33	-0.00206	nada
6	20H1 (V2H2)	0.00	-546.78	-0.00019	nada
7	6H1 (C1H2)	-1890.81	-2287.79	-0.00235	ligero
8	16H2 (V1H2)	0.00	1654.72	0.00289	nada
9	21H1 (V1H2)	0.00	-1913.63	-0.00298	nada
10	17H2 (V1H2)	0.00	1655.50	0.00349	insignificante
11	22H1 (V1H2)	0.00	-1914.49	-0.00353	insignificante
12	8H2 (C1H2)	-1113.72	2208.01	0.00020	Nada
13	18H2 (V1H2)	0.00	1651.35	0.00030	Nada
14	23H1 (V1H2)	0.00	-1909.75	-0.00031	Nada
15	9H2 (C2H2)	-745.52	1337.19	0.00022	Nada
16	25H1 (V2H2)	0.00	-547.88	-0.00002	Nada
17	11H1 (C1H2)	1231.88	-2011.01	-0.00230	Nada
18	21H2 (V1H2)	0.00	-1917.54	-0.00560	insignificante
19	22H2 (V1H2)	0.00	1656.64	0.00437	insignificante
20	14H2 (C2H2)	154.63	844.70	0.00000	Nada
21	23H2 (V1H2)	0.00	1653.67	0.00208	Nada
22	25H2 (V2H2)	0.00	432.31	0.00002	Nada

Tabla AB.7 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.3g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H2)	3278.62	2437.34	0.00823	insignificante
2	16H1 (V1H2)	0.00	-1926.63	-0.01182	ligero
3	17H1 (V1H2)	0.00	-1925.72	-0.01121	ligero
4	4H2 (C2H2)	-931.53	1340.39	0.00012	insignificante
5	18H1 (V1H2)	0.00	-1919.89	-0.00721	insignificante
6	20H1 (V2H2)	0.00	-549.11	-0.00054	nada
7	6H1 (C1H2)	-1880.50	-2314.79	-0.00912	Moderado
8	16H2 (V1H2)	0.00	1664.36	0.01032	ligero
9	21H1 (V1H2)	0.00	-1923.97	-0.01042	ligero
10	17H2 (V1H2)	0.00	1664.25	0.01023	ligero
11	22H1 (V1H2)	0.00	-1924.37	-0.01023	ligero
12	8H2 (C1H2)	-1105.79	2217.92	0.00274	insignificante
13	18H2 (V1H2)	0.00	1655.99	0.00386	insignificante
14	23H1 (V1H2)	0.00	-1914.99	-0.00388	insignificante
15	9H2 (C2H2)	-737.01	1416.05	0.00300	insignificante
16	25H1 (V2H2)	0.00	-549.27	-0.00029	Nada
17	11H1 (C1H2)	1301.05	-2024.71	-0.00911	insignificante
18	21H2 (V1H2)	0.00	-1925.62	-0.01109	ligero
19	22H2 (V1H2)	0.00	1665.45	0.01112	ligero
20	14H2 (C2H2)	217.53	1222.37	0.00000	insignificante
21	23H2 (V1H2)	0.00	1660.37	0.00724	insignificante
22	25H2 (V2H2)	0.00	440.24	0.00021	Nada

Tabla AB.8 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.5g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H2)	-3319.15	-2487.45	-0.01703	Extremo
2	16H1 (V1H2)	0.00	-1941.14	-0.02170	ligero
3	17H1 (V1H2)	0.00	-1939.98	-0.02090	ligero
4	4H2 (C2H2)	-959.39	1466.00	0.00682	ligero
5	18H1 (V1H2)	0.00	-1933.34	-0.01634	ligero
6	20H1 (V2H2)	0.00	-549.82	-0.00071	nada
7	6H1 (C1H2)	-1875.57	-2351.23	-0.01799	Extremo
8	16H2 (V1H2)	0.00	1677.20	0.02020	ligero
9	21H1 (V1H2)	0.00	-1938.76	-0.02030	ligero
10	17H2 (V1H2)	0.00	1676.86	0.01990	ligero
11	22H1 (V1H2)	0.00	-1938.61	-0.01996	ligero
12	8H2 (C1H2)	-1101.28	2221.58	0.00368	ligero
13	18H2 (V1H2)	0.00	1667.15	0.01247	ligero
14	23H1 (V1H2)	0.00	-1927.59	-0.01248	ligero
15	9H2 (C2H2)	-732.47	1457.98	0.01057	Moderado
16	25H1 (V2H2)	0.00	-549.69	-0.00041	Nada
17	11H1 (C1H2)	1338.55	-2047.23	-0.01799	Moderado
18	21H2 (V1H2)	0.00	315.06	0.01151	ligero
19	22H2 (V1H2)	0.00	1678.09	0.02086	ligero
20	14H2 (C2H2)	241.02	1348.35	0.00670	ligero
21	23H2 (V1H2)	1041.93	630.38	0.01642	ligero
22	25H2 (V2H2)	0.00	442.65	0.00033	Nada

Tabla AB.9 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.8g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	3.00	44.10	m2	40.98	1807.22
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	5.85	1.00	5.85	ml	51.8	303.03
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	2.00	13.20	m2	40.98	540.94
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	2,651.18 €

Tabla AB.10 Cubicación de reparaciones PGA 0.3g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	2.00	29.40	m2	40.98	1204.81
Ligero	8.32	4.00	33.28	ml	51.8	1723.90
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.80	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.80	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	2.00	15.60	m2	40.98	639.29
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	3.00	1.00	7.80	m2	40.98	630.44
	6.00	1.00	6.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	2.00	13.20	m2	40.98	540.94
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	4,739.38 €

Tabla AB.11 Cubicación de reparaciones PGA 0.5g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	8.32	6.00	49.92	ml	51.8	2585.86
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.80	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.80	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	5.85	0.50	2.93	ml	51.8	151.52
Moderado	3.00	2.00	15.60	m2	40.98	1260.89
	6.00	2.00	12.00	ml	51.8	
Extremo	3.00	2.00	6.00	ml	174.91	1049.46
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	3.00	1.00	3.00	ml	51.8	155.40
Moderado	3.00	1.00	6.60	m2	40.98	425.87
	3.00	1.00	3.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	5,628.99 €

Tabla AB.12 Cubicación de reparaciones PGA 0.8g.

Pórtico q=3.0

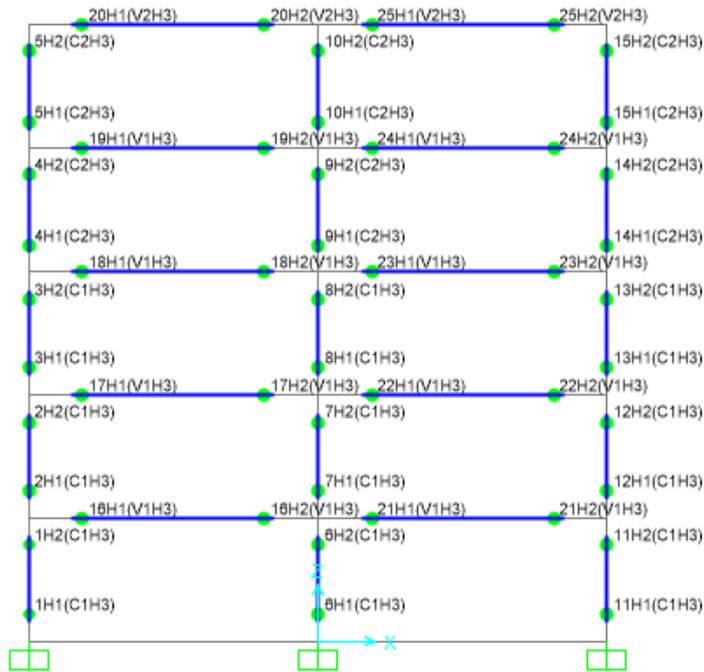


Figura AB.11 Pórtico con identificadores de cada rotula plástica.

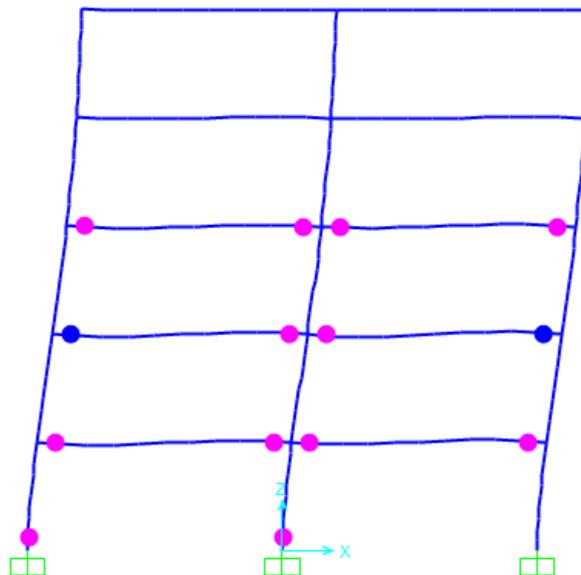


Figura AB.12 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 3 PGA 0.3g y 0.5g.

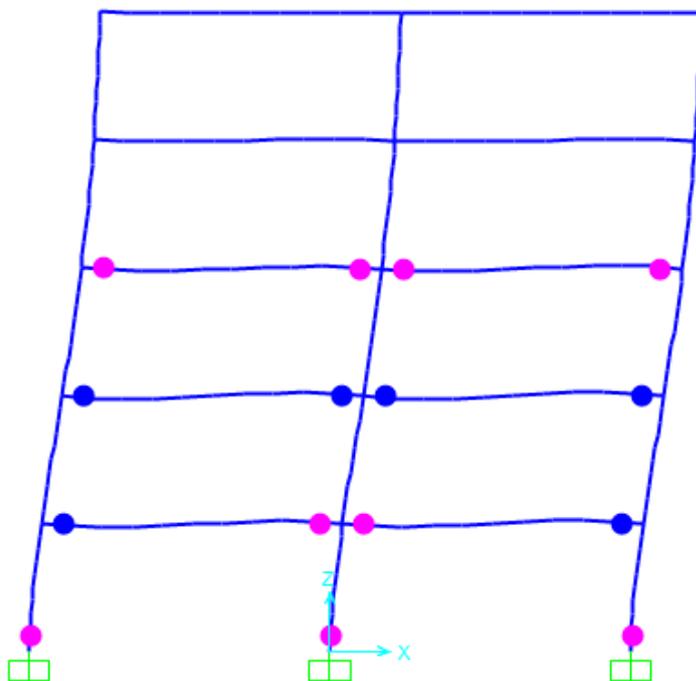


Figura AB.13 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 4 PGA 0.3g y 0.5g.

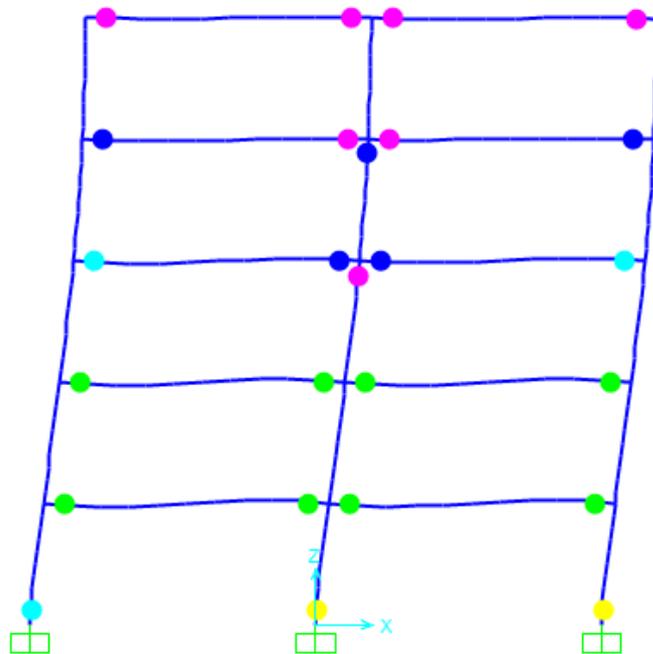


Figura AB.14 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 8 PGA 0.8g.

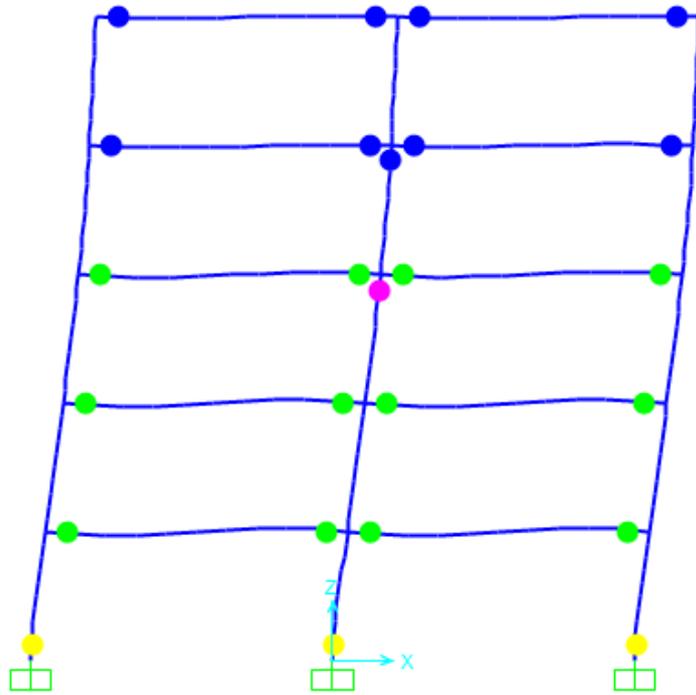


Figura AB.15 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 9 PGA 0.8g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H3)	383.04	1398.34	0.00151	insignificante
2	16H1 (V1H3)	0.00	877.63	0.00471	insignificante
3	17H1 (V1H3)	0.00	877.98	0.00550	insignificante
4	18H1 (V1H3)	0.00	876.90	0.00304	insignificante
5	19H1 (V1H3)	0.00	648.83	0.00003	nada
6	20H1 (V2H3)	0.00	245.88	0.00001	nada
7	20H2 (V2H3)	0.00	-415.28	0.00000	nada
8	18H2 (V1H3)	0.00	-1177.71	-0.00140	insignificante
9	17H2 (V1H3)	0.00	-1180.76	-0.00408	insignificante
10	16H2 (V1H3)	0.00	-1179.72	-0.00317	insignificante
11	6H1 (C1H3)	-1787.27	1600.20	0.00148	insignificante
12	21H1 (V1H3)	0.00	874.40	0.00348	insignificante
13	22H1 (V1H3)	0.00	877.59	0.00462	insignificante
14	8H2 (C1H3)	-1053.23	-1324.96	-0.00009	nada
15	23H1 (V1H3)	0.00	876.35	0.00179	insignificante
16	9H2 (C2H3)	-700.41	-965.95	-0.00010	Nada
17	11H1 (C1H3)	-2261.79	1643.77	0.00009	Nada
18	21H2 (V1H3)	0.00	-1180.91	-0.00421	insignificante
19	22H2 (V1H3)	0.00	-1181.76	-0.00496	insignificante
20	23H2 (V1H3)	0.00	-1179.01	-0.00254	insignificante
21	24H2 (V1H3)	0.00	-907.95	0.00000	nada

Tabla AB.13 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.3g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H3)	460.51	1437.80	0.00868	ligero
2	16H1 (V1H3)	0.00	881.18	0.01280	ligero
3	17H1 (V1H3)	0.00	881.11	0.01259	ligero
4	18H1 (V1H3)	0.00	879.14	0.00814	ligero
5	19H1 (V1H3)	0.00	855.19	0.00030	nada
6	20H1 (V2H3)	0.00	283.54	0.00006	nada
7	20H2 (V2H3)	0.00	-466.29	-0.00001	nada
8	18H2 (V1H3)	0.00	-1183.09	-0.00614	insignificante
9	17H2 (V1H3)	0.00	-1188.94	-0.01128	ligero
10	16H2 (V1H3)	0.00	-1188.85	-0.01120	ligero
11	6H1 (C1H3)	-1774.42	1683.94	0.00851	Moderado
12	21H1 (V1H3)	0.00	880.39	0.01159	ligero
13	22H1 (V1H3)	0.00	880.72	0.01179	ligero
14	8H2 (C1H3)	-1042.00	-1515.99	-0.00077	Moderado
15	23H1 (V1H3)	0.00	878.44	0.00655	insignificante
16	9H2 (C2H3)	-689.00	-1281.07	-0.00089	Moderado
17	11H1 (C1H3)	-2347.87	1738.70	0.00079	Moderado
18	21H2 (V1H3)	0.00	-1190.04	-0.01230	ligero
19	22H2 (V1H3)	0.00	-1189.86	-0.01209	ligero
20	23H2 (V1H3)	0.00	-1184.78	-0.00762	insignificante
21	24H2 (V1H3)	0.00	-1151.88	0.00000	nada

Tabla AB.14 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.5g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H3)	499.87	1494.72	0.01747	ligero
2	16H1 (V1H3)	0.00	885.49	0.02262	ligero
3	17H1 (V1H3)	0.00	885.17	0.02187	ligero
4	18H1 (V1H3)	0.00	882.67	0.01622	ligero
5	19H1 (V1H3)	0.00	878.21	0.00604	insignificante
6	20H1 (V2H3)	0.00	287.90	0.00438	insignificante
7	20H2 (V2H3)	0.00	-472.55	-0.00471	insignificante
8	19H2 (V1H3)	0.00	-1179.10	-0.00262	insignificante
9	18H2 (V1H3)	0.00	-1191.25	-0.01347	ligero
10	17H2 (V1H3)	0.00	-1199.43	-0.02052	ligero
11	16H2 (V1H3)	0.00	-1199.94	-0.02097	Moderado
12	6H1 (C1H3)	-1768.13	1683.36	0.01747	Extremo
13	21H1 (V1H3)	0.00	884.94	0.02132	Moderado
14	22H1 (V1H3)	0.00	884.77	0.02097	Moderado
15	8H2 (C1H3)	-1035.47	-1544.92	-0.00203	insignificante
16	23H1 (V1H3)	0.00	881.66	0.01387	ligero
17	9H2 (C2H3)	-683.56	-1326.51	-0.00395	ligero
18	24H1 (V1H3)	0.00	876.88	0.00301	insignificante
19	25H1 (V2H3)	0.00	579.87	0.00413	insignificante
20	11H1 (C1H3)	-2392.79	1725.12	0.01692	Extremo
21	21H2 (V1H3)	0.00	-1201.12	-0.02197	Moderado
22	22H2 (V1H3)	0.00	-1200.34	-0.02132	Moderado
23	23H2 (V1H3)	0.00	-1188.18	-0.01060	ligero
24	24H2 (V1H3)	0.00	-1182.46	-0.00557	insignificante
25	25H2 (V2H3)	0.00	-472.49	-0.00445	insignificante

Tabla AB.15 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.8g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	7.00	90.65	m2	40.98	3714.84
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.80	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.80	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	1.00	7.20	m2	40.98	295.06
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	4,009.89 €

Tabla AB.16 Cubicación de reparaciones PGA 0.3g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	2.00	25.90	m2	40.98	1061.38
Ligero	8.40	4.50	37.80	ml	51.8	1958.04
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.80	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.80	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	9.00	1.00	9.00	ml	51.8	466.20
Moderado	3.00	2.00	14.40	m2	40.98	1289.41
	9.00	1.50	13.50	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	6.60	1.00	6.60	ml	51.8	341.88
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	5,116.91 €

Tabla AB.17 Cubicación de reparaciones PGA 0.5g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	2.50	32.38	m2	40.98	1326.73
Ligero	8.40	3.50	29.40	ml	51.8	1522.92
Moderado	7.00	3.00	38.85	m2	40.98	2897.43
	8.40	3.00	25.20	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	1.50	19.43	m2	40.98	796.04
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	0.50	3.60	m2	40.98	147.53
Ligero	9.00	0.50	4.50	ml	51.8	233.10
Moderado	3.00	2.00	14.40	m2	40.98	1289.41
	9.00	1.50	13.50	ml	51.8	
Extremo	3.00	2.00	6.00	ml	174.91	1049.46
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	6.60	0.50	3.30	ml	51.8	170.94
Moderado	3.00	1.00	6.60	m2	40.98	441.41
	6.60	0.50	3.30	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	9,874.97 €

Tabla AB.18 Cubicación de reparaciones PGA 0.8g.

Pórtico q=4.0

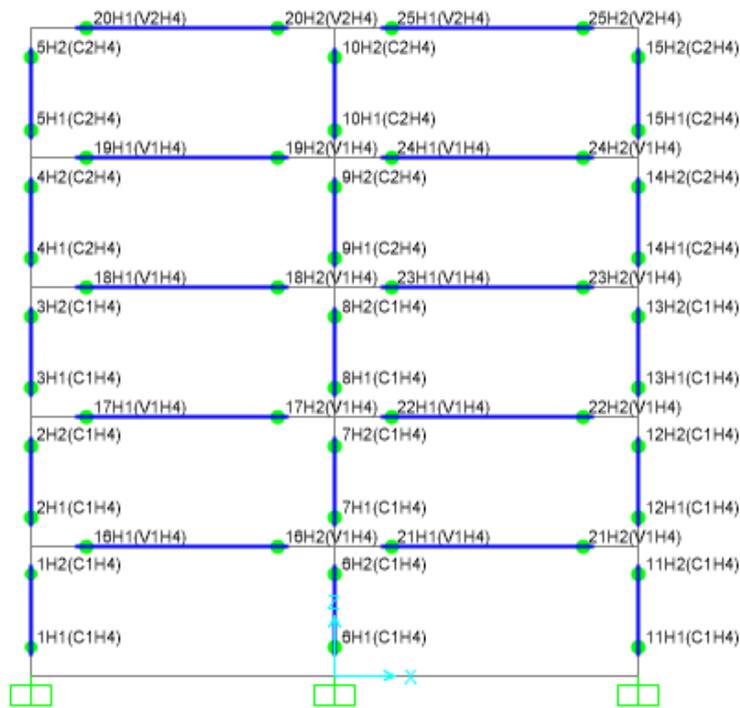


Figura AB.16 Pórtico con identificadores de cada rotula plástica.

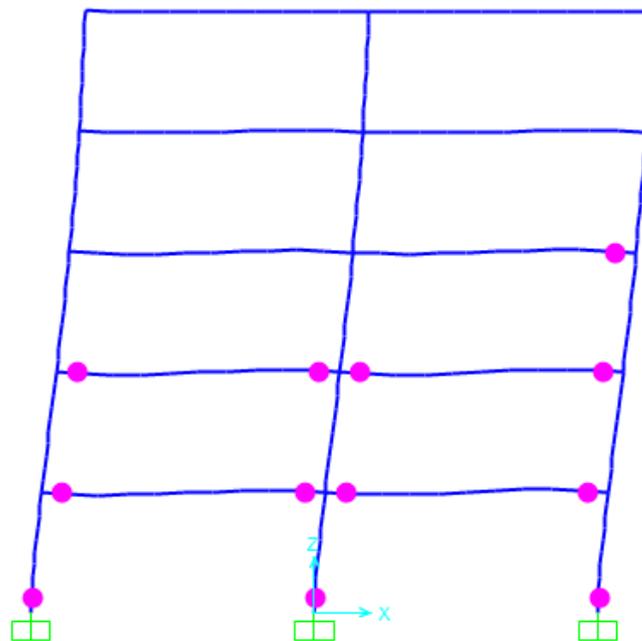


Figura AB.17 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 5 PGA 0.3g y 0.5g.

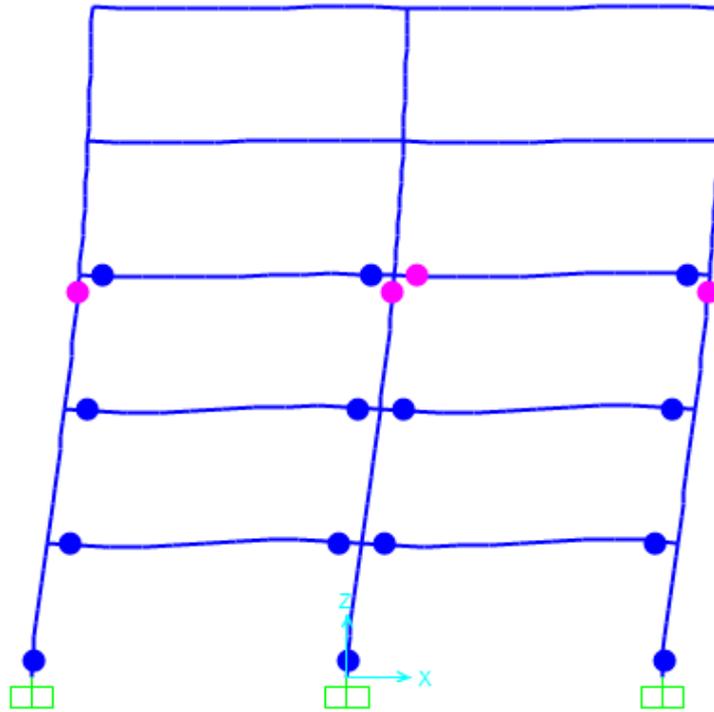


Figura AB.18 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 6 PGA 0.3g y 0.5g.

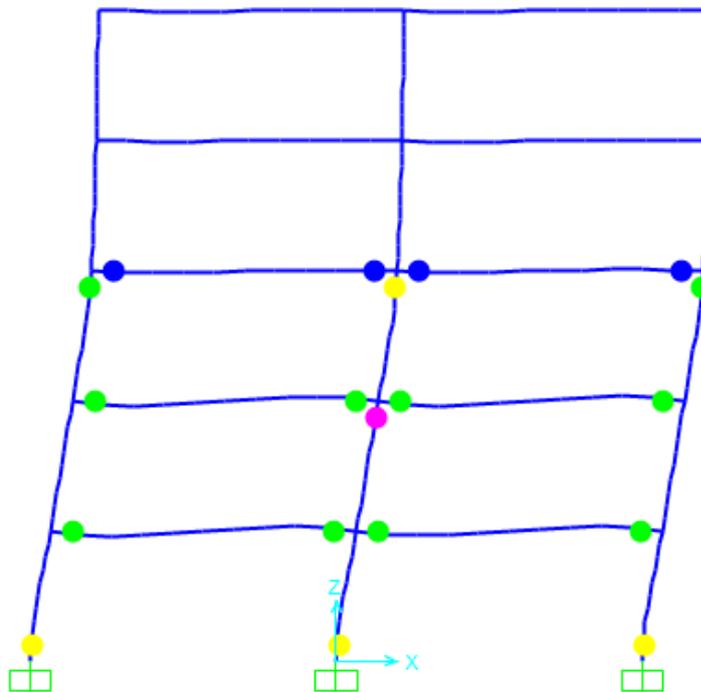


Figura AB.19 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 10 PGA 0.8g.

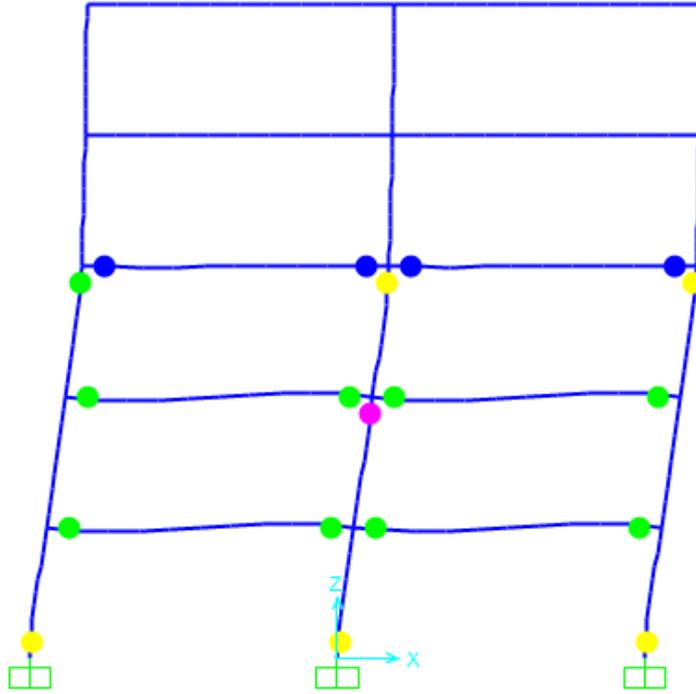


Figura AB.20 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 11 PGA 0.8g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H4)	19.82	708.84	0.00763	ligero
2	16H1 (V1H4)	0.00	614.06	0.00641	insignificante
3	17H1 (V1H4)	0.00	613.92	0.00589	insignificante
4	3H2 (C1H4)	-40.52	-612.40	-0.00045	insignificante
5	18H1 (V1H4)	0.00	603.49	0.00269	insignificante
6	18H2 (V1H4)	0.00	-792.57	-0.00232	insignificante
7	17H2 (V1H4)	0.00	-795.85	-0.00637	ligero
8	16H2 (V1H4)	0.00	-796.12	-0.00680	ligero
9	6H1 (C1H4)	-1716.22	1002.84	0.00718	ligero
10	21H1 (V1H4)	0.00	613.87	0.00567	insignificante
11	22H1 (V1H4)	0.00	613.77	0.00529	insignificante
12	8H2 (C1H4)	-1014.30	-879.71	-0.00163	insignificante
13	23H1 (V1H4)	0.00	583.20	0.00161	insignificante
14	23H2 (V1H4)	0.00	-794.22	-0.00380	insignificante
15	13H2 (C1H4)	-986.74	-790.20	0.00000	nada
16	22H2 (V1H4)	0.00	-796.22	-0.00697	ligero
17	21H2 (V1H4)	0.00	-796.57	-0.00754	ligero
18	11H1 (C1H4)	-1829.74	1004.32	0.00688	ligero

Tabla AB.19 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.3g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H4)	-1852.82	-1054.11	-0.01591	Extremo
2	16H1 (V1H4)	0.00	-803.00	-0.01765	Moderado
3	17H1 (V1H4)	0.00	-802.48	-0.01685	Moderado
4	3H2 (C1H4)	-1007.35	915.31	0.00399	insignificante
5	18H1 (V1H4)	0.00	-797.18	-0.00848	insignificante
6	18H2 (V1H4)	0.00	613.64	0.00477	insignificante
7	17H2 (V1H4)	0.00	616.31	0.01525	ligero
8	16H2 (V1H4)	0.00	616.48	0.01585	ligero
9	6H1 (C1H4)	-1713.10	-1046.53	-0.01621	Extremo
10	21H1 (V1H4)	0.00	-802.54	-0.01695	Moderado
11	22H1 (V1H4)	0.00	-802.11	-0.01625	Moderado
12	8H2 (C1H4)	-1010.85	928.19	0.00715	ligero
13	23H1 (V1H4)	0.00	-795.48	-0.00579	insignificante
14	23H2 (V1H4)	0.00	614.20	0.00698	insignificante
15	13H2 (C1H4)	4.19	704.84	0.00477	insignificante
16	22H2 (V1H4)	0.00	616.46	0.01584	ligero
17	21H2 (V1H4)	0.00	616.67	0.01665	ligero
18	11H1 (C1H4)	64.13	-718.66	-0.01689	Moderado

Tabla AB.20 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.5g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H4)	60.27	748.32	0.03164	Extremo
2	16H1 (V1H4)	0.00	620.78	0.03277	Moderado
3	17H1 (V1H4)	0.00	620.41	0.03126	Moderado
4	3H2 (C1H4)	-3.71	-737.16	-0.02032	ligero
5	18H1 (V1H4)	0.00	610.85	0.00487	insignificante
6	18H2 (V1H4)	0.00	-787.58	-0.00452	insignificante
7	17H2 (V1H4)	0.00	-811.78	-0.03156	Extremo
8	16H2 (V1H4)	0.00	-812.61	-0.03287	Extremo
9	6H1 (C1H4)	-1718.90	896.47	0.03155	Extremo
10	21H1 (V1H4)	0.00	620.57	0.03187	Moderado
11	22H1 (V1H4)	0.00	620.25	0.03066	Moderado
12	8H2 (C1H4)	-1007.89	-965.49	-0.02175	Extremo
13	23H1 (V1H4)	0.00	605.82	0.00349	insignificante
14	23H2 (V1H4)	0.00	-792.57	-0.00649	insignificante
15	13H2 (C1H4)	-1019.94	-971.40	-0.01925	Extremo
16	22H2 (V1H4)	0.00	-812.19	-0.03226	Extremo
17	21H2 (V1H4)	0.00	-813.07	-0.03366	Extremo
18	11H1 (C1H4)	-1873.35	914.62	0.03125	Extremo
19	9H2 (C2H4)	-673.78	-991.23	0.00000	nada

Tabla AB.21 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.8g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	4.00	44.80	m2	40.98	1835.90
Ligero	8.40	2.00	16.00	ml	51.8	828.80
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	55.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	55.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	m2	201.96	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	1.00	7.20	m2	40.98	295.06
Ligero	6.00	2.00	12.00	ml	60.5	726.00
Moderado	3.00	1.00	0.00	m2	40.98	0.00
	6.00	1.00	0.00	ml	60.5	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.50	3.30	ml	51.8	170.94
Moderado	0.00	1.00	6.60	m2	40.98	441.41
	0.00	0.50	3.30	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	4,298.11 €

Tabla AB.22 Cubicación de reparaciones PGA 0.3g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	2.00	22.40	m2	40.98	917.95
Ligero	8.00	2.00	16.00	ml	55.8	892.80
Moderado	7.00	2.00	22.40	m2	40.98	1810.75
	8.00	2.00	16.00	ml	55.8	
Extremo	7.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	1.00	7.20	m2	40.98	295.06
Ligero	6.00	1.00	6.00	ml	60.5	363.00
Moderado	3.00	1.00	7.20	m2	40.98	658.06
	6.00	1.00	6.00	ml	60.5	
Extremo	3.00	2.00	6.00	ml	174.91	1049.46
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	5,987.08 €

Tabla AB.23 Cubicación de reparaciones PGA 0.5g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	2.00	22.40	m2	40.98	917.95
Ligero	8.00	2.00	16.00	ml	55.8	892.80
Moderado	7.00	2.00	22.40	m2	40.98	1810.75
	8.00	2.00	16.00	ml	55.8	
Extremo	7.00	4.00	28.00	m2	201.96	5654.88
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	60.5	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	60.5	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	6.00	0.50	3.00	ml	60.5	181.50
Moderado	3.00	1.00	7.20	m2	40.98	658.06
	6.00	1.00	6.00	ml	60.5	
Extremo	3.00	4.00	12.00	ml	174.91	2098.92
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	12,214.86 €

Tabla AB.24 Cubicación de reparaciones PGA 0.8g.

Pórtico q=5.0

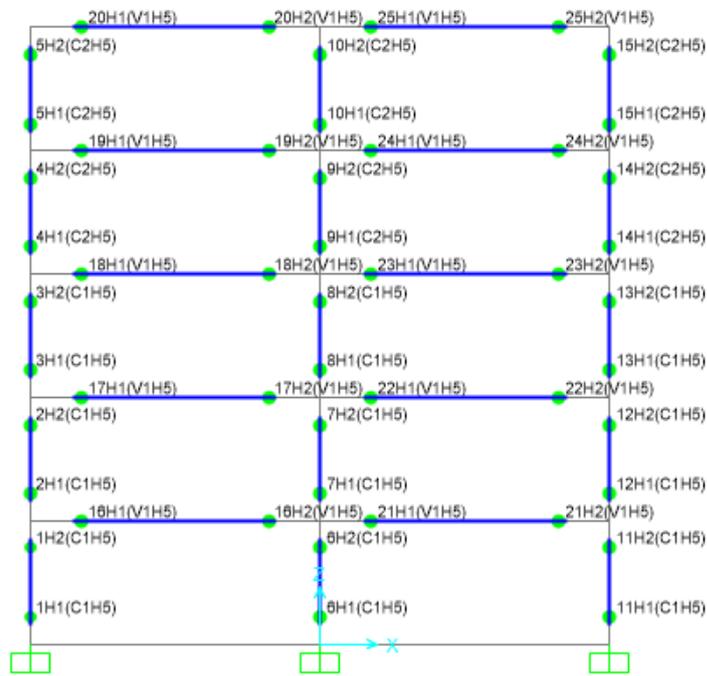


Figura AB.21 Pórtico con identificadores de cada rotula plástica.

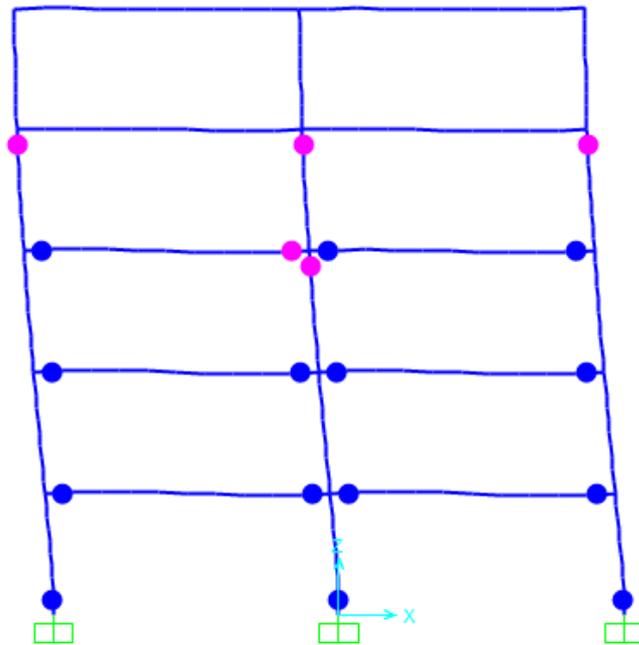


Figura AB.21 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 6 PGA 0.3g.

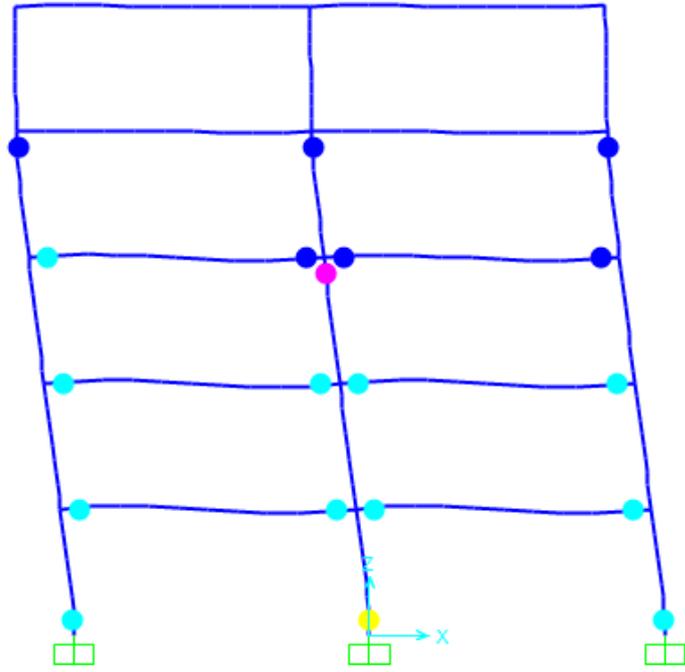


Figura AB.22 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 7 PGA 0.3g.

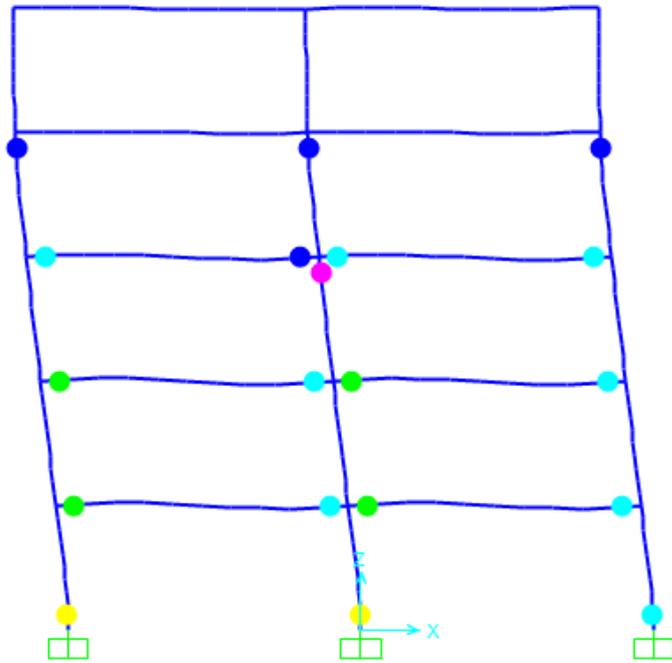


Figura AB.23 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 8 PGA 0.5g.

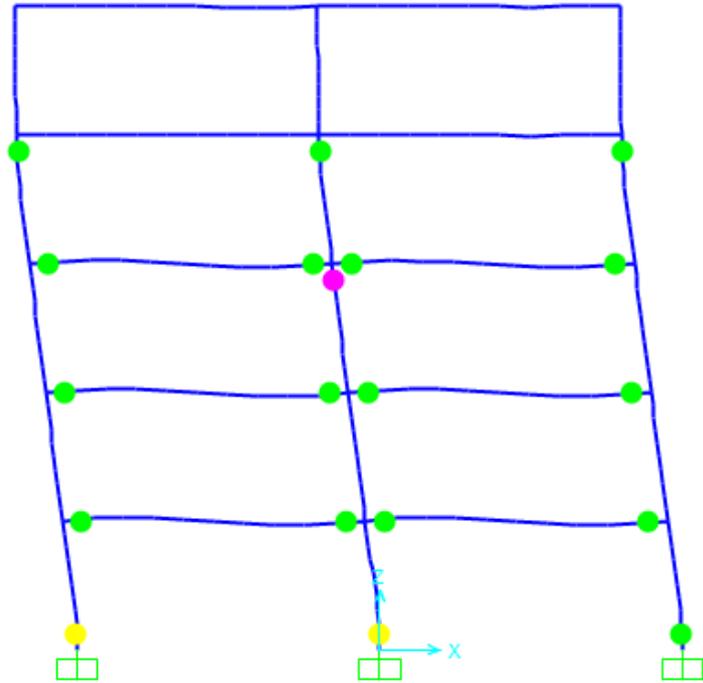


Figura AB.24 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 9 PGA 0.5g y 0.8g.

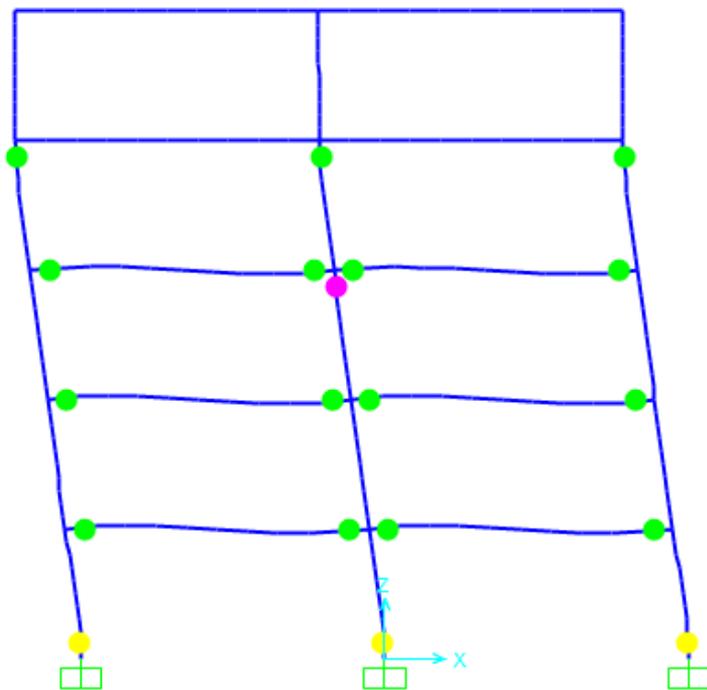


Figura AB.25 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 10 PGA 0.8g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H5)	-1573.51	-816.50	-0.00690	ligero
2	16H1 (V1H5)	0.00	-612.53	-0.00844	ligero
3	17H1 (V1H5)	0.00	-612.50	-0.00838	ligero
4	18H1 (V1H5)	0.00	-611.77	-0.00661	insignificante
5	4H2 (C2H5)	-508.48	469.62	0.00199	insignificante
6	6H1 (C1H5)	-1701.93	-836.09	-0.00703	ligero
7	16H2 (V1H5)	0.00	133.77	0.00621	insignificante
8	17H2 (V1H5)	0.00	450.46	0.00630	insignificante
9	8H2 (C1H5)	-1015.76	702.87	0.00081	insignificante
10	18H2 (V1H5)	0.00	-611.77	-0.00661	insignificante
11	21H1 (V1H5)	0.00	-612.31	-0.00789	ligero
12	22H1 (V1H5)	0.00	-612.33	-0.00798	ligero
13	23H1 (V1H5)	0.00	-611.23	-0.00536	ligero
14	9H2 (C2H5)	-678.26	506.08	0.00299	insignificante
15	11H1 (C1H5)	-199.28	-525.82	-0.00771	ligero
16	21H2 (V1H5)	0.00	450.54	0.00669	insignificante
17	22H2 (V1H5)	0.00	450.53	0.00668	insignificante
18	23H2 (V1H5)	0.00	450.21	0.00498	insignificante
19	14H2 (C2H5)	-138.24	391.97	0.00156	insignificante

Tabla AB.24 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.3g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H5)	-1566.66	-845.37	-0.01376	Extremo
2	16H1 (V1H5)	0.00	-615.74	-0.01597	Extremo
3	17H1 (V1H5)	0.00	-615.73	-0.01596	Extremo
4	18H1 (V1H5)	0.00	-614.99	-0.01425	Moderado
5	4H2 (C2H5)	-509.97	475.94	0.00884	ligero
6	6H1 (C1H5)	-1695.16	-847.50	-0.01396	Extremo
7	16H2 (V1H5)	0.00	451.87	0.01367	ligero
8	17H2 (V1H5)	0.00	451.91	0.01386	ligero
9	8H2 (C1H5)	-1015.61	703.11	0.00084	ligero
10	18H2 (V1H5)	0.00	451.42	0.01134	ligero
11	21H1 (V1H5)	0.00	-615.52	-0.01547	Extremo
12	22H1 (V1H5)	0.00	-615.56	-0.01556	Extremo
13	23H1 (V1H5)	0.00	-614.47	-0.01304	ligero
14	9H2 (C2H5)	-674.98	512.34	0.00984	ligero
15	11H1 (C1H5)	-204.75	-537.21	-0.01465	ligero
16	21H2 (V1H5)	0.00	451.97	0.01417	ligero
17	22H2 (V1H5)	0.00	451.98	0.01426	ligero
18	23H2 (V1H5)	0.00	451.65	0.01255	ligero
19	14H2 (C2H5)	-135.76	396.07	0.00844	insignificante

Tabla AB.25 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.5g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H5)	-1581.04	-752.88	-0.02353	Extremo
2	16H1 (V1H5)	0.00	-619.99	-0.02604	Extremo
3	17H1 (V1H5)	0.00	-619.85	-0.02572	Extremo
4	18H1 (V1H5)	0.00	-619.00	-0.02371	Extremo
5	4H2 (C2H5)	-509.18	482.97	0.01734	ligero
6	6H1 (C1H5)	-1715.38	-753.23	-0.02372	Extremo
7	16H2 (V1H5)	0.00	453.79	0.02384	ligero
8	17H2 (V1H5)	0.00	453.76	0.02363	ligero
9	8H2 (C1H5)	-1049.04	704.28	0.00114	insignificante
10	18H2 (V1H5)	0.00	453.19	0.02070	ligero
11	21H1 (V1H5)	0.00	-619.77	-0.02545	Extremo
12	22H1 (V1H5)	0.00	-619.68	-0.02532	Extremo
13	23H1 (V1H5)	0.00	-618.41	-0.02229	Extremo
14	9H2 (C2H5)	-674.42	520.47	0.01845	Moderado
15	11H1 (C1H5)	-200.44	-549.89	-0.02411	Extremo
16	21H2 (V1H5)	0.00	453.89	0.02435	ligero
17	22H2 (V1H5)	0.00	453.84	0.02403	ligero
18	23H2 (V1H5)	0.00	453.46	0.02211	ligero
19	14H2 (C2H5)	-135.66	401.77	0.01695	ligero

Tabla AB.26 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.8g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	4.00	44.80	m2	40.98	1835.90
Ligero	8.50	3.00	25.50	ml	51.8	1320.90
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	60.5	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	60.5	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	1.00	7.20	m2	40.98	295.06
Ligero	6.50	2.00	13.00	ml	51.8	673.40
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	2.00	12.00	m2	40.98	491.76
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	4,617.02 €

Tabla AB.27 Cubicación de reparaciones PGA 0.3g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	8.50	4.00	34.00	ml	51.8	1761.20
Moderado	7.00	1.00	11.20	m2	40.98	899.28
	8.50	1.00	8.50	ml	51.8	
Extremo	7.00	2.00	14.00	ml	201.96	2827.44
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	60.5	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	60.5	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	6.50	1.00	6.50	ml	51.8	336.70
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	3.00	2.00	6.00	ml	174.91	1049.46
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	0.50	3.00	m2	40.98	122.94
Ligero	6.00	1.50	9.00	ml	51.8	466.20
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	7,463.22 €

Tabla AB.28 Cubicación de reparaciones PGA 0.5g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	8.50	3.00	25.50	ml	51.8	1320.90
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	7.00	6.00	42.00	ml	201.96	8482.32
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	60.5	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	60.5	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	0.50	3.60	m2	40.98	147.53
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	3.00	3.00	9.00	ml	174.91	1574.19
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	6.00	1.00	6.00	ml	51.8	310.80
Moderado	3.00	1.00	6.00	m2	40.98	556.68
	6.00	1.00	6.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	12,392.42 €

Tabla AB.29 Cubicación de reparaciones PGA 0.8g.

Pórtico q=6.0

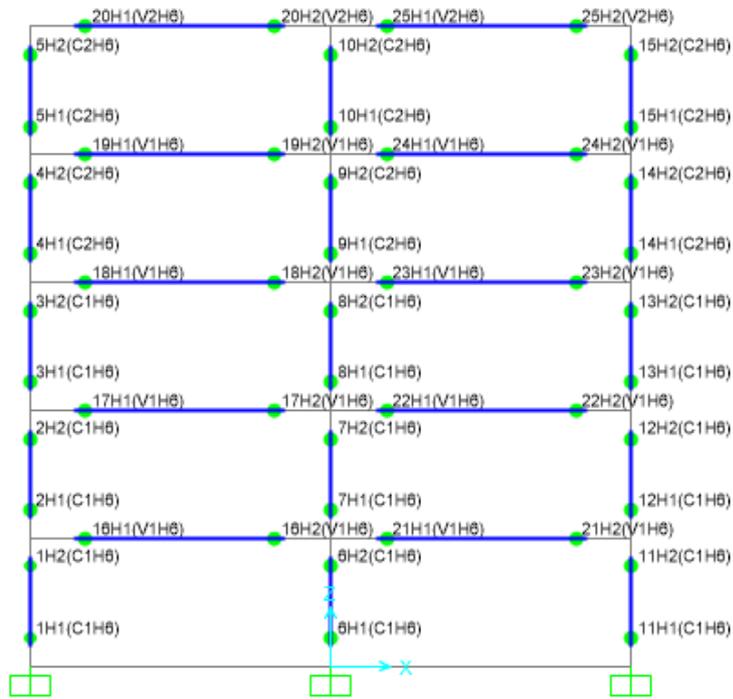


Figura AB.26 Pórtico con identificadores de cada rotula plástica.

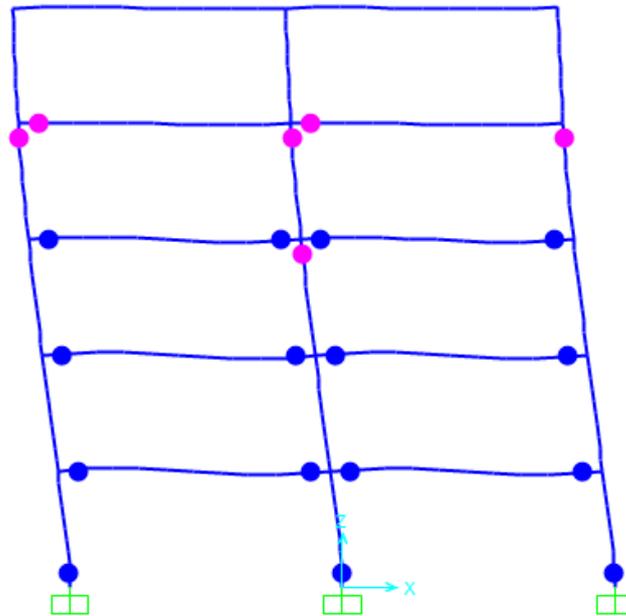


Figura AB.27 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 6 PGA 0.3g.

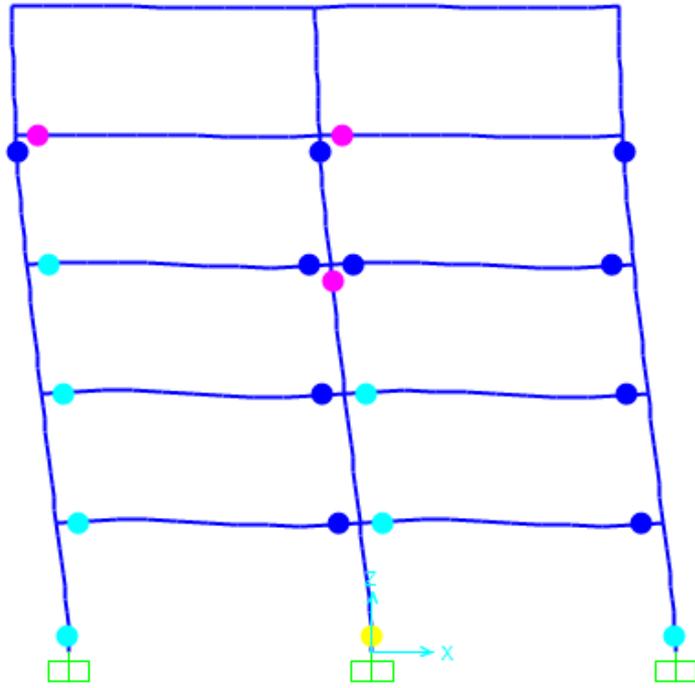


Figura AB.28 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 7 PGA 0.3g.

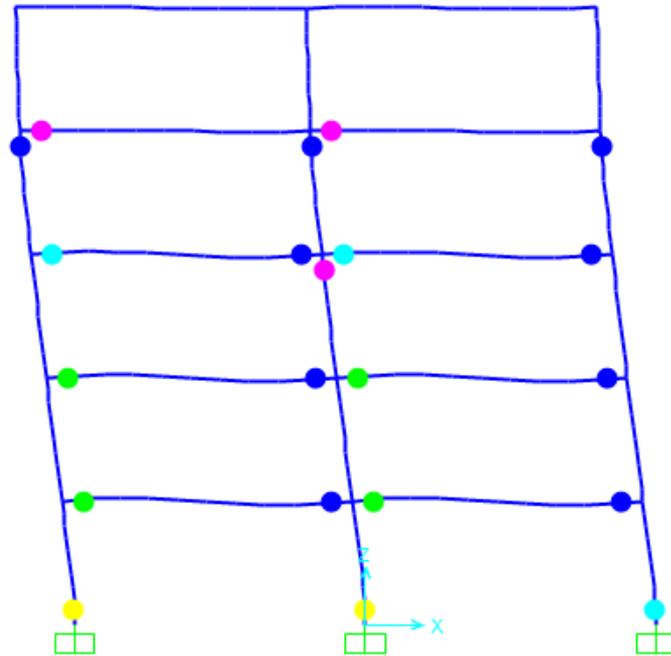


Figura AB.29 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 8 PGA 0.5g.

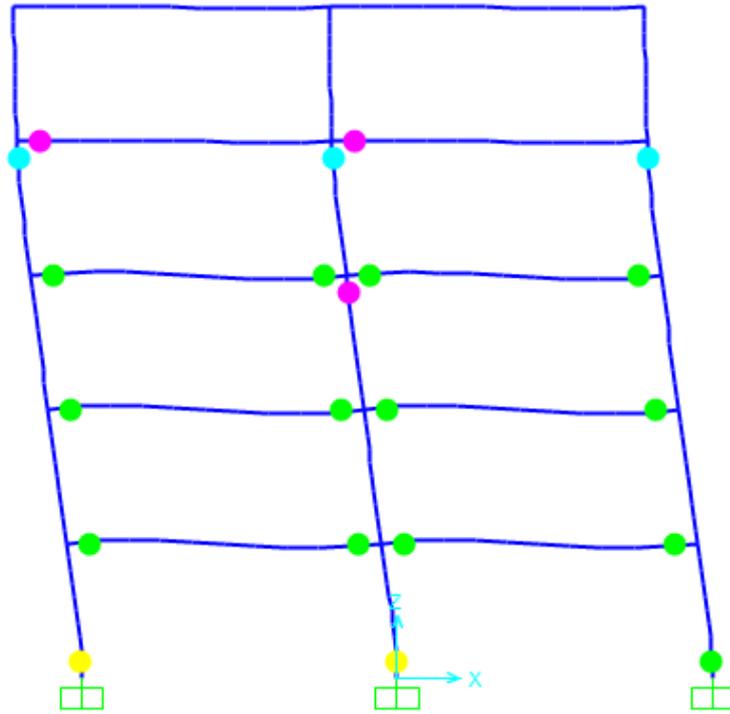


Figura AB.30 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 9 PGA 0.5g.

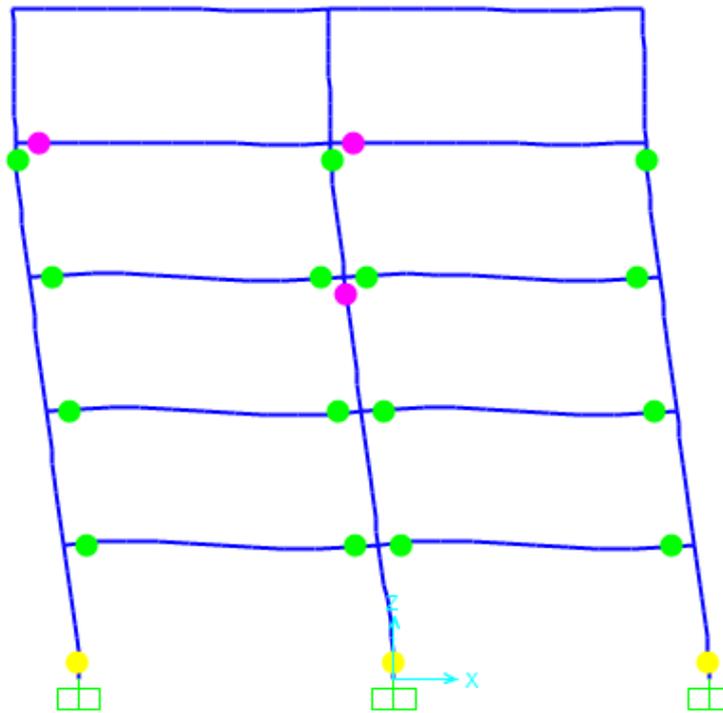


Figura AB.31 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 10 PGA 0.8g.

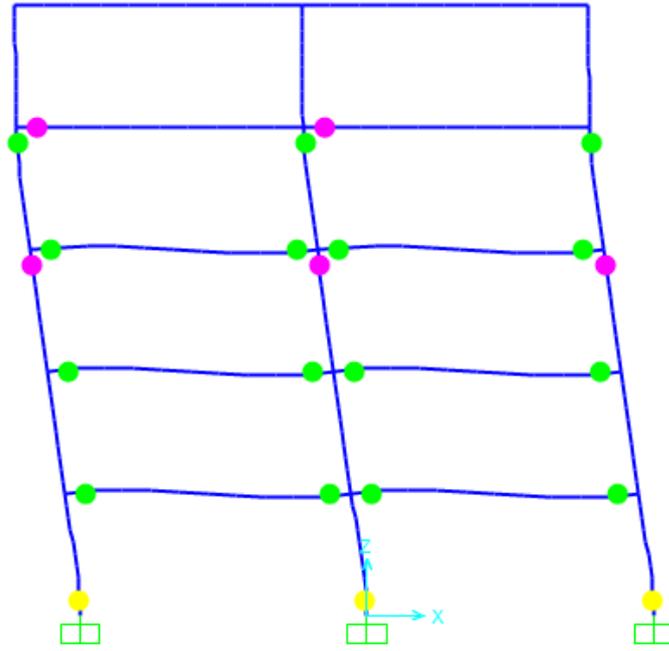


Figura AB.32 Pórtico con rotulas plásticas desarrolladas para paso 11 PGA 0.8g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H6)	-1485.73	-811.03	-0.00926	ligero
2	16H1 (V1H6)	0.00	-493.26	-0.01075	Moderado
3	17H1 (V1H6)	0.00	-493.28	-0.01085	Moderado
4	18H1 (V1H6)	0.00	-492.83	-0.00887	ligero
5	4H2 (C2H6)	-507.89	540.27	0.00031	nada
6	19H1 (V1H6)	0.00	-491.25	-0.00185	insignificante
7	18H2 (V1H6)	0.00	397.02	0.00364	insignificante
8	17H2 (V1H6)	0.00	397.25	0.00605	ligero
9	16H2 (V1H6)	0.00	397.23	0.00584	ligero
10	6H1 (C1H6)	-1644.59	-840.61	-0.00934	Moderado
11	21H1 (V1H6)	0.00	-493.16	-0.01031	Moderado
12	22H1 (V1H6)	0.00	-493.20	-0.01046	Moderado
13	8H2 (C1H6)	-977.55	700.54	0.00033	nada
14	23H1 (V1H6)	0.00	-492.65	-0.00804	ligero
15	9H2 (C2H6)	-652.93	570.82	0.00160	insignificante
16	24H1 (V1H6)	0.00	-491.08	-0.00113	insignificante
17	11H1 (C1H6)	-229.71	-537.57	-0.01002	ligero
18	21H2 (V1H6)	0.00	397.27	0.00623	ligero
19	22H2 (V1H6)	0.00	397.28	0.00634	ligero
20	23H2 (V1H6)	0.00	397.09	0.00438	ligero
21	14H2 (C2H6)	-120.44	458.32	0.00032	nada

Tabla AB.30 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.3g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H6)	-1489.40	-798.51	-0.01809	Extremo
2	16H1 (V1H6)	0.00	-495.44	-0.02040	Extremo
3	17H1 (V1H6)	0.00	-495.44	-0.02037	Extremo
4	18H1 (V1H6)	0.00	-494.96	-0.01824	Extremo
5	4H2 (C2H6)	-508.64	549.51	0.00846	insignificante
6	19H1 (V1H6)	0.00	-491.30	-0.00207	insignificante
7	18H2 (V1H6)	0.00	397.94	0.01300	ligero
8	17H2 (V1H6)	0.00	398.19	0.01563	Moderado
9	16H2 (V1H6)	0.00	398.19	0.01550	Moderado
10	6H1 (C1H6)	-1649.27	-803.89	-0.01823	Extremo
11	21H1 (V1H6)	0.00	-495.30	-0.01996	Extremo
12	22H1 (V1H6)	0.00	-495.36	-0.02003	Extremo
13	8H2 (C1H6)	-977.03	700.87	0.00049	insignificante
14	23H1 (V1H6)	0.00	-494.75	-0.01736	ligero
15	9H2 (C2H6)	-650.20	570.11	0.00977	ligero
16	24H1 (V1H6)	0.00	-491.13	-0.00132	insignificante
17	11H1 (C1H6)	-236.37	-552.76	-0.01876	Extremo
18	21H2 (V1H6)	0.00	398.23	0.01590	Moderado
19	22H2 (V1H6)	0.00	398.22	0.01587	Moderado
20	23H2 (V1H6)	0.00	398.02	0.01382	ligero
21	14H2 (C2H6)	-118.34	465.91	0.00853	ligero

Tabla AB.31 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.5g.

Identificación		Estado de la Rotula Plástica			Reparaciones
# Rot.	Definición Rot.	Axil	Momento	Rotación	Reparación
1	1H1 (C1H6)	-1492.45	-685.06	-0.03025	Extremo
2	16H1 (V1H6)	0.00	-498.31	-0.03307	Extremo
3	17H1 (V1H6)	0.00	-498.22	-0.03264	Extremo
4	18H1 (V1H6)	0.00	-497.67	-0.03020	Extremo
5	4H2 (C2H6)	-509.28	561.17	0.01880	Moderado
6	19H1 (V1H6)	0.00	-491.33	-0.00222	insignificante
7	18H2 (V1H6)	0.00	399.11	0.02478	ligero
8	17H2 (V1H6)	0.00	399.42	0.02794	Moderado
9	16H2 (V1H6)	0.00	399.45	0.02827	Moderado
10	6H1 (C1H6)	-1657.26	-687.62	-0.02786	Moderado
11	21H1 (V1H6)	0.00	-498.21	-0.03267	Extremo
12	22H1 (V1H6)	0.00	-498.14	-0.03234	Extremo
13	8H2 (C1H6)	-976.65	701.80	0.00089	insignificante
14	23H1 (V1H6)	0.00	-497.40	-0.02907	Moderado
15	9H2 (C2H6)	-648.65	594.09	0.02020	Moderado
16	24H1 (V1H6)	0.00	-491.16	-0.00147	insignificante
17	11H1 (C1H6)	-236.88	-565.65	-0.03054	Extremo
18	21H2 (V1H6)	0.00	399.50	0.02877	Moderado
19	22H2 (V1H6)	0.00	399.45	0.02824	Moderado
20	23H2 (V1H6)	0.00	399.21	0.02579	ligero
21	14H2 (C2H6)	-117.32	475.47	0.01890	ligero
22	3H2 (C1H6)	-826.35	566.44	0.00000	nada
23	13H2 (C1H6)	-146.84	471.75	0.00003	nada

Tabla AB.32 Axil, momento y rotación de la rótula plástica PGA 0.8g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	1.50	14.18	m2	40.98	580.89
Ligero	9.00	4.00	36.00	ml	51.8	1864.80
Moderado	7.00	2.00	2.45	m2	40.98	1032.80
	9.00	2.00	18.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	201.96	0.00
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	60.5	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	60.5	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	7.00	1.00	7.00	ml	51.8	362.60
Moderado	3.00	1.00	7.20	m2	40.98	657.66
	7.00	1.00	7.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	0.50	3.00	m2	40.98	122.94
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	4,621.69 €

Tabla AB.33 Cubicación de reparaciones PGA 0.3g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	1.00	9.45	m2	40.98	387.26
Ligero	9.00	2.00	18.00	ml	51.8	932.40
Moderado	7.00	2.00	18.90	m2	40.98	1706.92
	9.00	2.00	18.00	ml	51.8	
Extremo	7.00	3.00	21.00	ml	201.96	4241.16
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	60.5	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	60.5	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	0.50	3.60	m2	40.98	147.53
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	3.00	2.00	6.00	ml	174.91	1049.46
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	0.50	3.00	m2	40.98	122.94
Ligero	6.50	2.00	13.00	ml	51.8	673.40
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	9,261.07 €

Tabla AB.34 Cubicación de reparaciones PGA 0.5g.

Reparaciones por elementos y nivel de daño						
Reparaciones Viga 1						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	7.00	1.00	9.45	m2	40.98	387.26
Ligero	9.00	1.00	9.00	ml	51.8	466.20
Moderado	7.00	5.00	47.25	m2	40.98	4267.31
	9.00	5.00	45.00	ml	51.8	
Extremo	7.00	5.00	35.00	ml	201.96	7068.60
Reparaciones Viga 2						
Lp=	517.5	mm	2Lp=	1035	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	60.5	0.00
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	60.5	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
Reparaciones Pilar 1						
Lp=	637.5	mm	2Lp=	1275	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	3.00	1.00	7.20	m2	40.98	295.06
Ligero	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	0.00
Moderado	3.00	1.00	7.20	m2	40.98	657.66
	7.00	1.00	7.00	ml	51.8	
Extremo	3.00	2.00	6.00	ml	174.91	1049.46
Reparaciones Pilar 2						
Lp=	562.5	mm	2Lp=	1125	mm	Lt=
Nivel de Daño	Long. Reparar	Cantidad	Medida	UM	PU	Total
Insignificante	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
Ligero	6.50	1.00	6.50	ml	51.8	336.70
Moderado	0.00	0.00	0.00	m2	40.98	0.00
	0.00	0.00	0.00	ml	51.8	
Extremo	0.00	0.00	0.00	ml	174.91	0.00
					TOTAL	14,528.24 €

Tabla AB.35 Cubicación de reparaciones PGA 0.8g.