



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**Diseño de un dispositivo de aislamiento de tabiques
sometidos a acciones sísmicas**

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Alumno: Carlos Alberto Piera Moreno

Tutor: Ignacio Ferrer Ballester

Escuela: E.T.S.I.D

Enero 2017

RESUMEN

Las construcciones de viviendas comúnmente realizadas en España consisten de estructuras con a base de pórticos de hormigón armado rellenos mediante tabiques de mampostería. Este tipo de tabiquería, es usada tanto para la tabiquería interior como para el cerramiento exterior de las fachadas. La adición de estos elementos en las estructuras provocan una gran rigidez en su plano, afectando al comportamiento estructural de la construcción frente a esfuerzos horizontales.

Dichas construcciones durante su vida son sometidas a esfuerzos horizontales tales como el viento o la acción de un sismo por ejemplo, y debido a esto hay una fuerte interacción entre la estructura y el relleno. En un principio podría pensarse que esta interacción puede ser favorable debido a que la adición de la tabiquería en la estructura provoca un aumento de resistencia, siendo esto cierto. Pero también se ha observado que este aumento de resistencia provoca un aumento de rigidez en el conjunto de la estructura, el cual en los diseños previos de las estructuras este aumento de rigidez no son calculados ya que no se tiene en cuenta la tabiquería interior dado que esta puede variar de localización, por lo tanto, esto genera un problema, ya que dichas tabiquerías pueden provocar fallos en la estructura inesperados al variar los periodos de vibración de diseño de la estructura.

El objetivo de este trabajo es diseñar un dispositivo el cual sea capaz de aislar la tabiquería de la estructura frente a este tipo de acciones externas, y de esta manera no variar, o variar lo mínimo posible los cálculos de diseño de la estructura en cuanto a su rigidez y a si periodo propio de vibración.

La primera parte del trabajo consiste en generar una serie de modelos de elementos finitos en base a ensayos realizados en el laboratorio ICITECH con varios marcos de hormigón a escala reducida.

Una vez modelizados estos ensayos, en la segunda parte del trabajo se procede a la extrapolación de estos modelos a escala reducida a modelos en escala real para así diseñar el dispositivo e implementarlo en el modelo real para ver su interacción con el resto del conjunto y obtener resultados antes de la fabricación de estos modelos.

En el apartado 1, se realiza una introducción al trabajo y una breve explicación de la necesidad del dispositivo de aislamiento sísmico.

En el apartado 2, se realiza una explicación de los ensayos realizados en el laboratorio y sus posteriores modelizaciones mediante modelos de elementos finitos para cada uno de los ensayos realizados, describiendo cada uno de los elementos utilizados para finalmente obtener unas curvas de roturas idénticas a las obtenidas mediante los modelos experimentales.

En el apartado 3, se describen las modelizaciones y las extrapolaciones para obtener los distintos modelos de elementos finitos a escala real, posteriormente se realiza una comparativa de los resultados entre los modelos realizados.

En el apartado 4, se exponen las conclusiones una vez terminado el trabajo, tanto de rigideces como de la localización en el marco del dispositivo, entre otras.

En el apartado 5, se realiza una explicación del dispositivo de aislamiento sísmico en su totalidad. También se realiza un ejemplo práctico para observar la variación en los periodos propios de cada modelo a escala real.

En el apartado 6, se describen distintos temas y distintas líneas de investigación para futuros trabajos.

Índice de contenidos

MEMORIA.....	10
1. Introducción al proyecto.....	7
1.1. Objeto del proyecto.....	7
1.2. Antecedentes y alcance del proyecto.....	7
1.3. Propuesta de dispositivo.....	8
1.4. Modelización del ensayo.....	8
2. Modelo de elementos finitos.....	9
2.1. Presentación del ensayo.....	9
2.2. Modelo de marco en vacío.....	9
2.2.1. Ensayo de marco en vacío.....	9
2.3. Modelo de elementos finitos.....	12
2.2.1. Modelización de las rótulas.....	12
2.2.2. Modelización del ensayo.....	16
2.2.4. Análisis de resultados.....	18
2.4. Modelo de marco con relleno.....	21
2.4.1. Descripción de los elementos del relleno y materiales utilizados.....	21
2.4.2. Marco de hormigón.....	22
2.4.3. Ladrillos.....	26
2.4.4. Mortero.....	28
2.4.5. Análisis de resultados.....	37
3. Marco de hormigón a escala real.....	41
3.1. Descripción de los elementos y materiales utilizados.....	41
3.2. Modelo marco en escala real con marco en vacío.....	43
3.2.1. Análisis de resultados.....	48
3.3. Marco en escala real con relleno.....	50
3.3.1. Análisis de resultados.....	56
3.4. Marco en escala real con dispositivo de aislamiento sísmico.....	59
3.4.1. Análisis de resultados.....	60
3.5. Comparación de resultados.....	61
4. Conclusiones.....	64
4.1. Modelo de elementos finitos.....	64
4.2. Rigidez.....	64

4.3. Carga última	65
4.4. Diseño del dispositivo aislante	65
4.5. Localización del dispositivo	66
5. Dispositivo de aislamiento sísmico	67
6. Futuras líneas de investigación	75
7. Bibliografía	77
PRESUPUESTO	76
1. Consideraciones previas	79
2. Presupuesto para el modelo a escala real.....	79
2.1. Presupuesto de los pilares	80
2.2. Presupuesto de las vigas	81
2.3. Presupuesto de la tabiquería	82
2.4. Presupuesto total del modelo a escala real	83
ANEXOS	82
Anexo 1. Índice de ilustraciones	85
PLANOS.....	88



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Diseño de un dispositivo de aislamiento de
tabiques sometidos a acciones sísmicas

MEMORIA

1. Introducción al proyecto

1.1. Objeto del proyecto

El objeto del proyecto es el diseño y el cálculo de un dispositivo aislante sísmico, que sea capaz de aislar la tabiquería del resto de la estructura frente a acciones sísmicas, y de asegurar los requerimientos de servicio de un tabique, es decir, aislándolo térmica y acústicamente.

En la norma de construcción sismoresistente (NCSE-02), la cual tiene como objeto proporcionar los criterios que deben seguirse dentro del territorio español para la consideración de la acción sísmica en los proyectos, construcciones, reformas y conservaciones de edificaciones y obras a las que sea aplicable, se indica que los elementos no estructurales deben actuar de modo independiente a la estructura principal. Para ello, se pueden disponer elementos que aseguren el aislamiento estructural del tabique frente a la estructura principal.

En este proyecto se propone un dispositivo que sea capaz de aislar la tabiquería frente a la estructural principal. Para ello se realiza un modelo en elementos finitos, que será la base para los posteriores ensayos experimentales que se realizarán en el laboratorio ICITECH de la Universitat Politècnica de Valencia (UPV).

1.2. Antecedentes y alcance del proyecto

Una tipología de edificación muy común consiste en estructuras aporricadas de hormigón armado de 5 a 8 alturas, rellenas con tabiques de mampostería, tanto para la compartimentación interior como para realizar el cerramiento exterior.

En el diseño de estas estructuras no se suele tener en cuenta, por norma general, la presencia de tabiquería, pues ésta es susceptible de aparecer y/o desaparecer según las necesidades. La distribución del relleno en la estructura tiene una fuerte influencia en el comportamiento de la estructura principal. Aun introduciendo una pequeña mása, el cambio de rigidez frente a esfuerzos horizontales es considerable.

De este modo, la inclusión de estos elementos de gran rigidez en su plano afecta al comportamiento estructural de la construcción frente a esfuerzos horizontales. Debido a estos factores cuando las construcciones son sometidas a esfuerzos horizontales como pueden ser el viento o la acción de un sismo, hay una fuerte interacción entre la estructura y el relleno. Esta inclusión del relleno también puede producir un fuerte cambio en la rigidez de la estructura, lo que puede producir un aumento en la respuesta sísmica, según el espectro de respuesta en la NCSE-02.

El alcance de este proyecto incluye el estudio de los materiales empleados y la caracterización del comportamiento de la estructura. No se incluye, aunque si se describen, los procesos empleados en la fabricación posterior.

El alcance y estudio de este proyecto se centra en el comportamiento estático de la estructura frente a esfuerzos horizontales provocados por un sismo. Estudiaremos la influencia del relleno de mampostería en la rigidez de un pórtico de hormigón armado sometido a cargas horizontales así como la influencia del relleno de mampostería en la carga última de un pórtico de hormigón.

A partir de la experiencia adquirida al modelizar los ensayos de un pórtico a escala reducida se pretende diseñar el ensayo de un pórtico a escala real para preparar el ensayo experimental a escala real.

1.3. Propuesta de dispositivo

En el proyecto se propone un dispositivo capaz de aislar estructuralmente el tabique frente a la estructura principal. El objetivo consiste en diseñar un ladrillo rectangular con un material mucho más flexible que el tradicional ladrillo cerámico o de arcilla cocida comúnmente utilizado, pero que igualmente se asegure el aislamiento acústico y térmico requerido por el código técnico de la edificación (CTE).

Para ello se realizara un ensayo a escala real de un pórtico de edificación. El proyecto consiste en determinar las características del ensayo mediante la modelización previa en elementos finitos del ensayo a escala real. Para ello se ajustará el modelo de elementos finitos mediante un ensayo de laboratorio a escala reducida, y finalmente se hará el modelo a escala real en que se propone la disposición de los dispositivos de aislamiento en el relleno y la capacidad portante.

Los resultados obtenidos del ensayo serán utilizados para el diseño y la ejecución del ensayo experimental, y para su valoración económica.

1.4. Modelización del ensayo

Para realizar la modelización emplearemos varias vías:

1. Crearemos un modelo basado en elementos finitos para analizar el comportamiento del conjunto marco-mampostería frente a una acción horizontal.

2. Modelizaremos la mampostería en el interior del marco basándonos en el modelo propuesto por Xi Chen y Yi Liu, en el que proponen el estudio numérico del comportamiento y la resistencia de la mampostería de hormigón en el plano.

3. Para finalizar, sustituiremos el ladrillo común utilizado para modelizar la mampostería por el dispositivo aislante sísmico, y analizaremos los resultados.

2. Modelo de elementos finitos

2.1. Presentación del ensayo

En este trabajo modelizaremos el comportamiento no lineal del conjunto marco-mampostería sometido a cargas horizontales. Para ello se utilizara la técnica de empuje progresivo o Push-over.

La técnica de Push-over se basa en someter a una estructura a una carga estática incremental, de manera que las deformaciones aumenten hasta llegar al colapso de la estructura. Esta técnica se aplica para un análisis estático no lineal.

Modelizaremos en elementos finitos los ensayos experimentales ya realizados en el laboratorio, de esta manera, más adelante podremos extrapolar los resultados obtenidos en el modelo de elementos finitos para diseñar un modelo a escala real, que sirva de base para los futuros ensayos experimentales.

2.2. Modelo de marco en vacío

2.2.1. Ensayo de marco en vacío

Para la modelización del ensayo, utilizaremos la geometría del ensayo con el pórtico de hormigón armado realizado en el laboratorio. El pórtico tiene una altura de 1620 mm y un ancho de 1200 mm a caras exteriores de pieza. La sección utilizada tiene 25 cm de canto y 35 cm de ancho. El armado se realiza a partir de armadura de diámetro 16 mm para el armado longitudinal colocando un redondo en cada esquina de la sección. Los estribos de diámetro 10 mm se distribuyen uniformemente en las vigas y columnas disminuyendo su separación en los nudos.

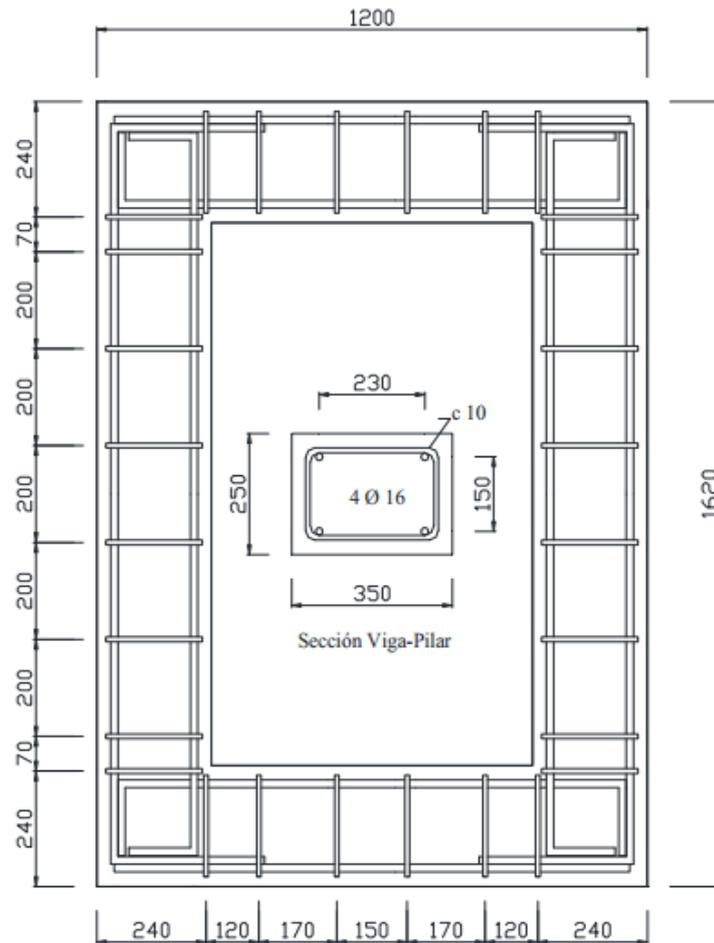


Ilustración 1: Geometría marco en vacío

Con las dimensiones planteadas el ratio luz-altura que se obtiene es:

$$\frac{Luz}{Altura} = \frac{1200}{1620} = 0.74$$

Los materiales empleados para su diseño han sido hormigón HA- 35 y acero B 500 S tanto para la armadura longitudinal como para la armadura transversal.

Como se puede observar en la ilustración 2, el ensayo ha consistido del marco sobre una estructura metálica que permite anclarlo en posición vertical y empujar en el centro de la sección de la viga mediante el actuador en el sentido que sale el émbolo del mismo. De esta manera se aplica la carga hasta el colapso del marco frente a esfuerzos horizontales.

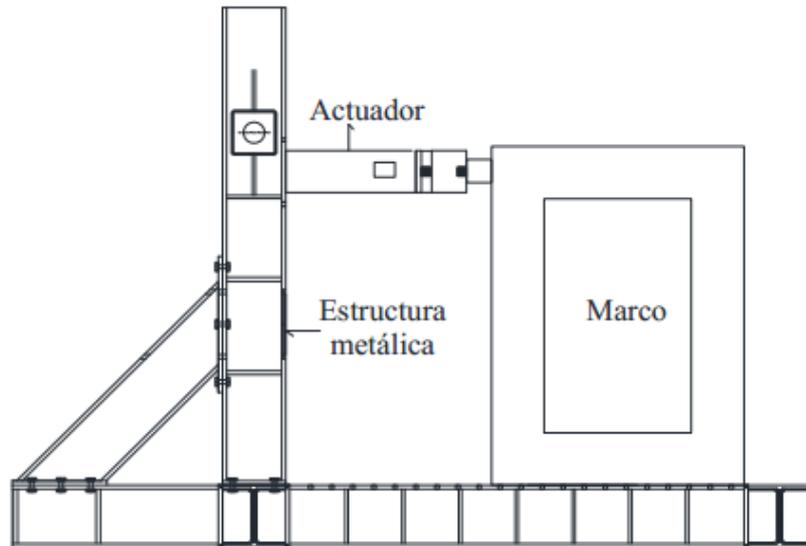


Ilustración 2: Vista general ensayo

La unión entre el marco y la estructura metálica en los diferentes ensayos se considera como un empotramiento en las bases de los pilares. De esta misma forma será modelizada la unión posteriormente en nuestro modelo de elementos finitos.

Las características mecánicas de los materiales empleados en la construcción de los ensayos son:

- Hormigón
 - $f_{cm} = 35$ MPa
 - $\nu = 0,3$ MPa
 - $E_c = 30000$ MPa
- Ladrillo
 - $f'_m = 20,4$ MPa
 - $E_m = 5000$ MPa
 - $G_m = 2000$ MPa
- Mortero
 - $E_{mortero} = 500$ MPa
 - $h_{mortero} = 10$ mm
 - $G_{mortero} = 200$ MPa

Dónde:

f_{cm} : Resistencia a compresión del hormigón.

ν : Coeficiente de Poisson.

E_c : Modulo de elasticidad del hormigón.

f'_m : Resistencia a compresión del ladrillo.

E_m : Modulo de elasticidad del ladrillo.

G_m : Modulo de elasticidad transversal del ladrillo.

$E_{mortero}$: Modulo de elasticidad del mortero.

$h_{mortero}$: Espesor de juntas del mortero entre ladrillos.

$G_{mortero}$: Modulo de elasticidad transversal del mortero.

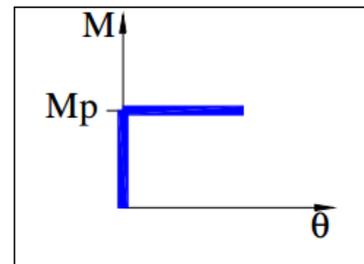
2.3. Modelo de elementos finitos

2.2.1. Modelización de las rótulas

Para modelizar el hormigón en el programa informático, partiremos de la base que necesitamos definir unas rótulas plásticas, de esta forma podremos modelizar el hormigón tal y como se comporta en la realidad. De forma simplificada se puede asimilar la rótula a un resorte bi-lineal (M- θ), siendo M el momento sobre el resorte y θ el giro relativo entre los extremos del mismo, la rigidez del resorte $k=\Delta M/\Delta\theta$ en cada tramo es:

Si $M < M_p$ $k_1=\Delta M/\Delta\theta\approx\infty$, mientras el momento sea inferior al plástico no hay giro relativo entre ambos extremos se comporta de la forma habitual, conexión rígida.

Si $M = M_p$ $k_2=\Delta M/\Delta\theta\approx 0$, esto es, una vez alcanzado el momento plástico se permite el giro relativo sin incremento del momento.



En el análisis de los miembros sometidos a flexión, se supone que una transición abrupta, se produce a un cierto valor del momento, conocido como el momento plástico (M_p). Cuando se alcanza el M_p , se forma una rótula plástica, en contraste con una fricción de la bisagra que permite la rotación libre y ocurre en el momento plástico M_p de forma constante. Mediante la inserción de una rótula plástica en un límite de carga y una viga estáticamente determinada, un mecanismo cinemático permite un desplazamiento sin límites que se pueden formar en el sistema, esto es conocido como el mecanismo de colapso. Para cada grado de indeterminación estática de la viga, se debe agregar una rótula plástica adicional para formar un mecanismo de colapso.

Definiremos una rótula plástica necesaria para el estudio del comportamiento de la estructura al análisis no lineal. En esta parte introduciremos todos los datos necesarios, así como la manera de hacerlo para conseguir una rótula plástica idónea. Los datos introducidos para definir las rótulas son teóricos, obtenidos mediante el prontuario informático del hormigón.

La ley momento-curvatura de una rótula teórica, tanto sus valores como su gráfico, se muestra en la ilustración 3.

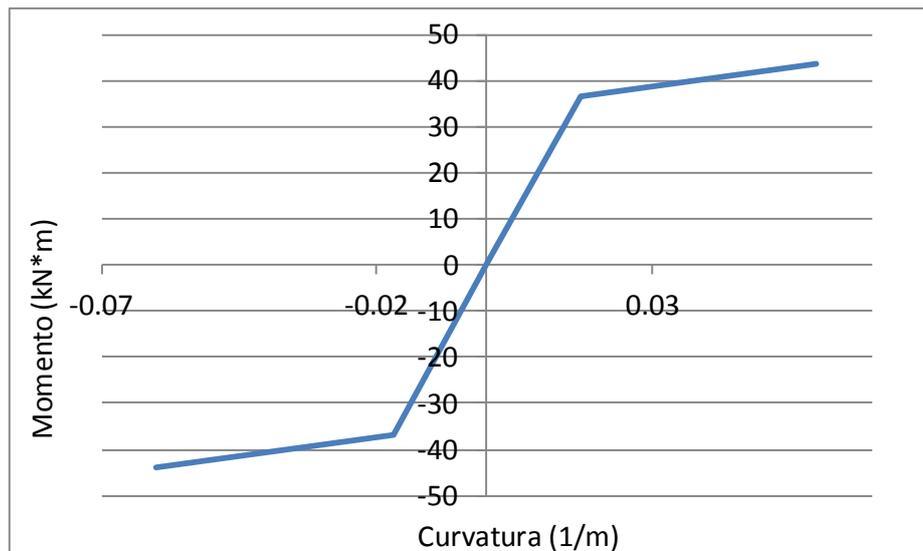


Ilustración 3: Ley momento-curvatura

	Momento (KN·m)	Curvatura (1/m)
P	43.77	0.06
U	36.7	0.017

P = momento plástico

U = momento último

El punto P es definido como el momento plástico, momento a partir del cual el nudo comenzará a plastificar, siendo irreversible su vuelta al estado inicial, a partir de este punto el momento ya no conseguirá incrementar su valor, únicamente tendremos un aumento del giro en el nudo, tal y como hemos explicado anteriormente.

El punto U es denominado como momento último, a partir del cual comienza a formarse la rótula, tendiendo a plastificar la estructura a partir de que en cualquier sección aparezca un momento tal como este o superior.

Para la realización del ensayo Push-over es necesario introducir rótulas plásticas en los pilares tanto en cabeza como en base, así como en ambos extremos de la viga superior tal y como citado anteriormente. Las rótulas plásticas se definen a partir de los materiales empleados y su sección con su geometría exacta.

Definiremos dos tipos de rótulas plásticas, a las que las llamaremos (FH1) y (FH3). Estas rótulas nos harán capaces de modelizar tanto la parte elástica como la parte plástica de la curva de rotura del marco, consiguiendo al variar sus valores en momento y rotación adaptar la curva de rotura mediante elementos finitos a la curva de rotura del ensayo real.

Mediante el prontuario informático del hormigón EHE-08 obtendremos el diagrama de momento-curvatura de la sección con la que vamos a realizar el nuestro modelo de

elementos finitos, para así modelar de manera correcta las leyes de momento-curvatura de las rótulas definidas en el marco.

El diagrama momento-curvatura teórico para la sección utilizada se muestra en la ilustración 4.

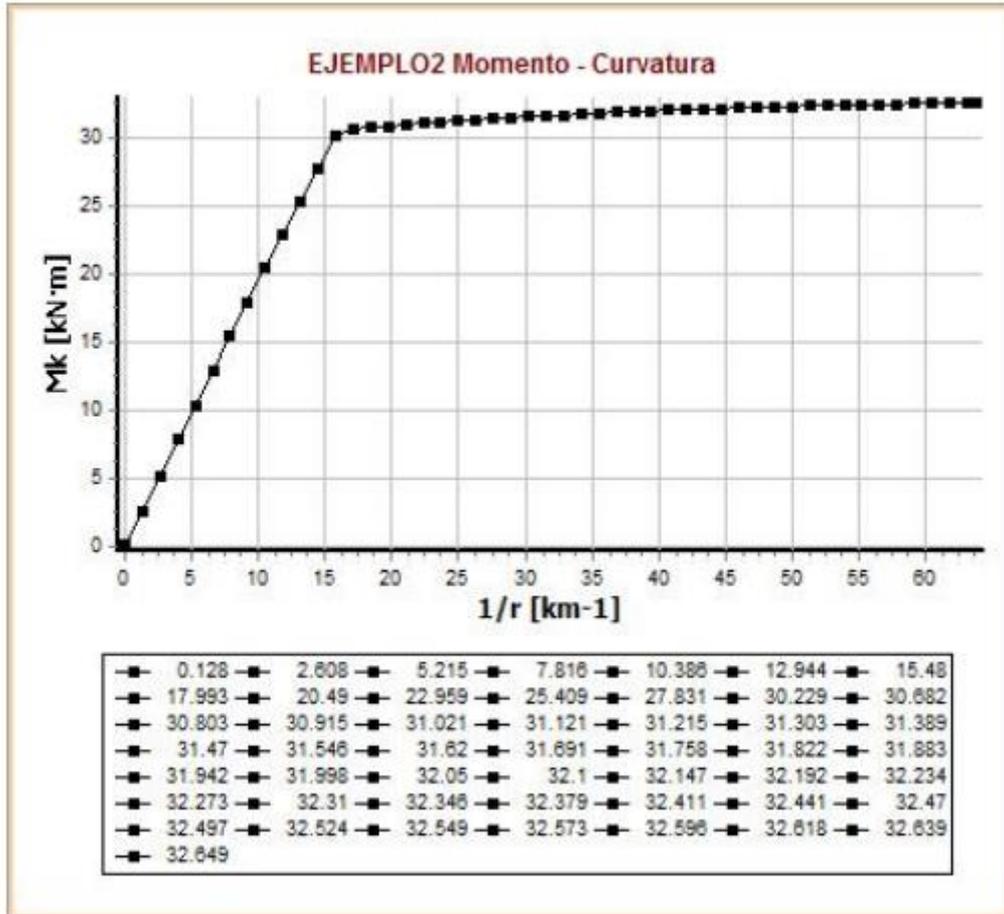


Ilustración 4: Ley momento-curvatura marco en vacío escala reducida

Por lo tanto, la ley de momento-curvatura de las rótulas plásticas quedarán de la siguiente manera:

- FH1:

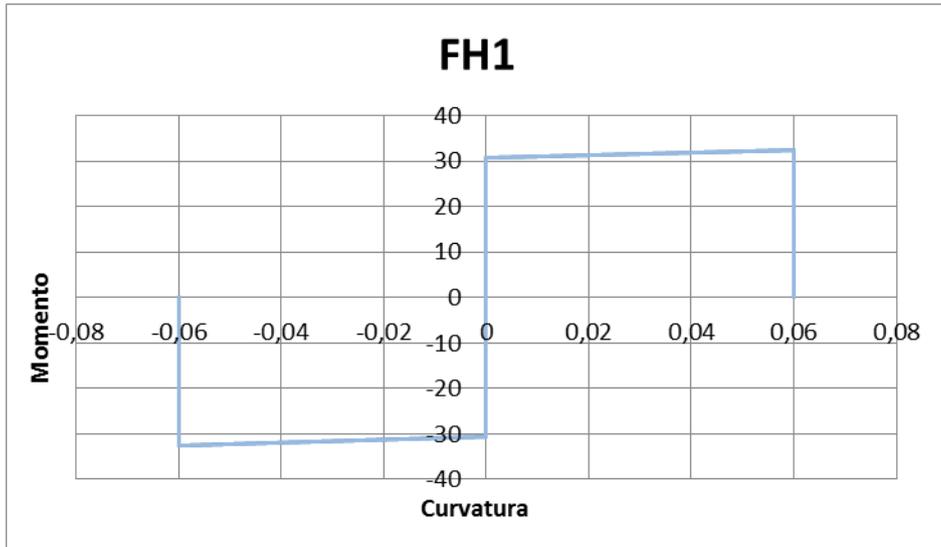


Ilustración 5: Ley momento-curvatura rótula FH1 marco en vacío escala reducida

	Momento (KN·m)	Curvatura (1/m)
P	32.542	0.06
U	30.7	0

P = momento plástico

U = momento ultimo

- FH3:

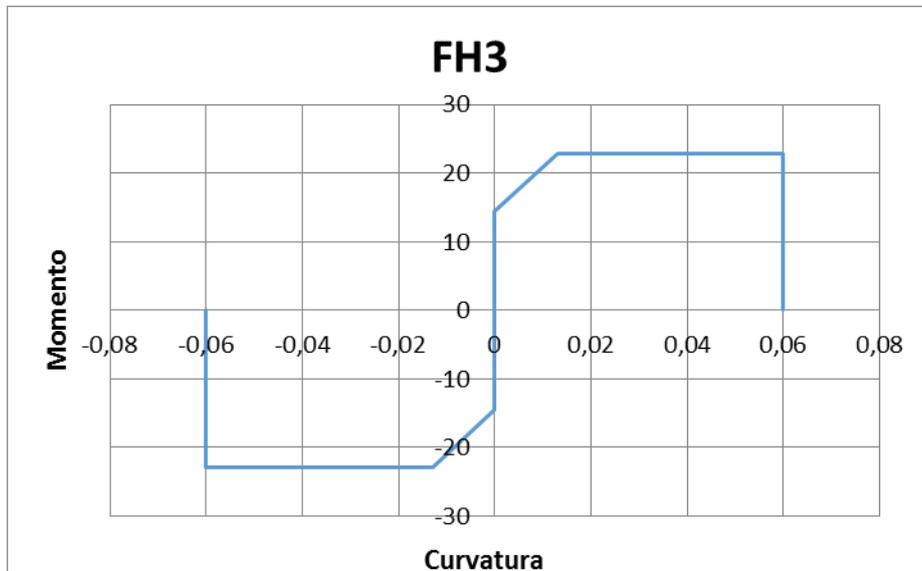


Ilustración 6: Ley momento-curvatura rótula FH3 marco en vacío escala reducida

	Momento (KN·m)	Curvatura (1/m)
P	22,8121	0,059985

U	14,53	0
---	-------	---

P = momento plástico

U = momento último

Para la rótula FH1, al ser colocada en la parte superior de los pilares y en los extremos de la viga, diseñamos una ley momento-curvatura en la que tendremos dos zonas destacadas, la zona elástica, y posteriormente la zona plástica. Una vez sobrepasemos el punto de mayor esfuerzo en la zona plástica la rótula colapsará por lo que el momento que resulta será nulo.

De distinto modo, la rótula FH3 está colocada en las bases de ambos pilares. Para ella diseñamos una ley momento-curvatura diferente, debido a que la base de los pilares sufren unos esfuerzos mucho mayores que los extremos superiores. Para facilitarnos la obtención de la curva final de comparación entre el modelo real y el modelo de elementos finitos, en esta rótula hemos definido una zona más en la ley de momento-curvatura. Esta zona trata de representar el efecto de la fisuración, que produce una disminución de la resistencia de modo progresivo. Con este modelo, los resultados se ajustan mejor a los ensayos. Por lo tanto hemos definido dos zonas plásticas en las rótulas de las bases de los pilares. En esta rótula observamos durante su modelización que la ley de momento-curvatura ha de ser diferente a la ley obtenida por el prontuario informático debido a que en el prontuario no se tiene en cuenta la fisuración del hormigón una vez entramos en la zona plástica del marco, por consiguiente, esta fisuración provoca que tengamos que introducir un momento-curvatura menor al obtenido de manera teórica mediante el prontuario informático.

2.2.2. Modelización del ensayo

El modelo se realiza mediante el programa SAP 2000. Se introduce la geometría descrita y las características mecánicas teóricas de los materiales. Los elementos que forman el marco se han modelizado mediante elementos tipo barra.

El marco anclado por su parte inferior ha sido modelado como un pórtico de dos pilares de 1.3 metros de altura empotrados en su base y unidos en cabeza por una viga de 0.9 metros de longitud (Ilustración 7). Estas dimensiones son tomadas respecto del centro de gravedad de las secciones. La unión entre los elementos tipo barra así como las condiciones de contorno de los pilares en su base han sido considerados como rígidas.

A la hora de introducir los datos dimensionales del marco, lo haremos de distinta manera para los pilares y la viga, ya que dependiendo del eje de medición, los pilares tendrán las medidas de la sección de una manera, y la viga de otra.

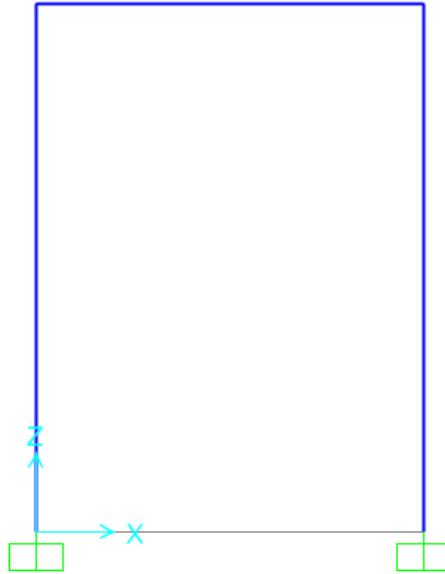


Ilustración 7: Modelo marco en vacío

Una vez introducido el modelo se realiza el ensayo Push-over para calcular la carga máxima que produce el agotamiento de la estructura. Para ello se introduce en SAP una fuerza horizontal en el nudo superior izquierdo que representa el actuador. Esta fuerza se introduce para realizar un análisis no lineal estático teniendo como control el desplazamiento horizontal del mismo nudo.

En cuanto a las rótulas, las asignaremos y las definiremos como anteriormente descritas, quedándonos ubicadas y representadas en el marco en la ilustración 8.

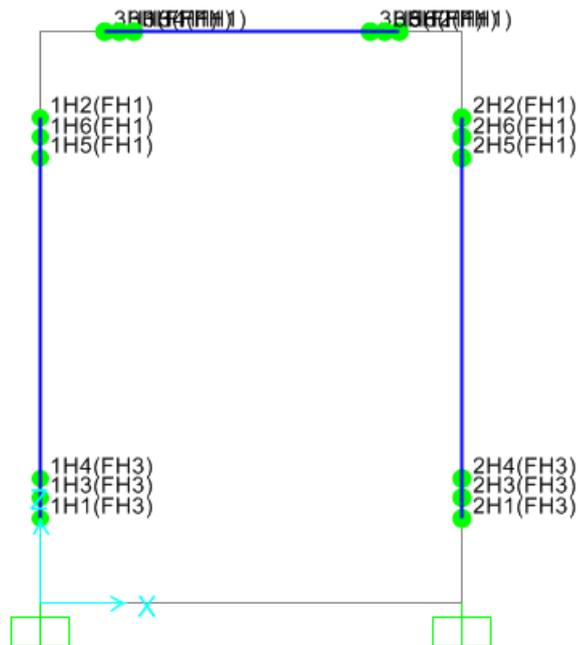


Ilustración 8: Disposición de las rótulas en el marco en vacío escala reducida

El orden de aparición de las rótulas plásticas se muestra en la Ilustración 9.

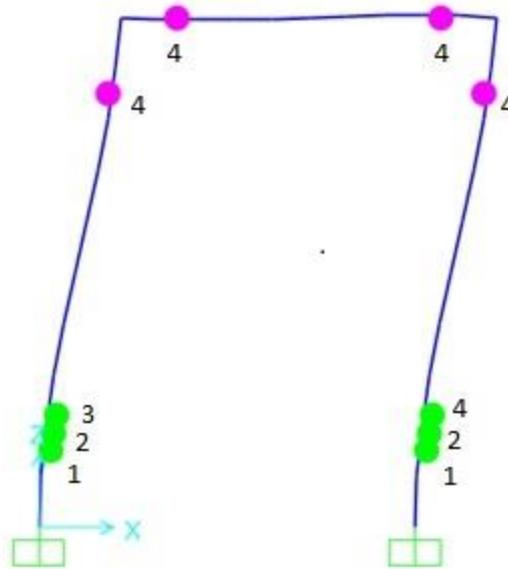


Ilustración 9: Orden de aparición rótulas plásticas marco en vacío escala reducida

- Primeras rótulas: Aparecen simultáneamente en las bases de los pilares.
- Segundas rótulas: Aparece simultáneamente encima de las rótulas de las bases de los pilares.
- Tercera rótula: Aparece en el pilar que recibe carga.
- Cuartas rótulas: Aparecen simultáneamente en las cabezas de los pilares, en los extremos de la viga, y en la parte inferior del pilar que no recibe carga.

2.2.4. Análisis de resultados

Una vez determinados los parámetros del marco en vacío mediante el modelo de elementos finitos, el análisis de resultados lo haremos mediante la comparación de las curvas de rotura, en el caso del modelo de elementos finitos a través de la gráfica mediante la técnica de Push-over del marco sin relleno, y en el caso del modelo real en vacío mediante la curva de rotura real obtenida durante el ensayo en el laboratorio (Ensayo I).

Podemos observar la deformada del marco de hormigón en vacío mediante nuestro modelo de elementos finitos. La simulación de la deformada es simulada por el programa informático, podemos apreciarla en la ilustración 10

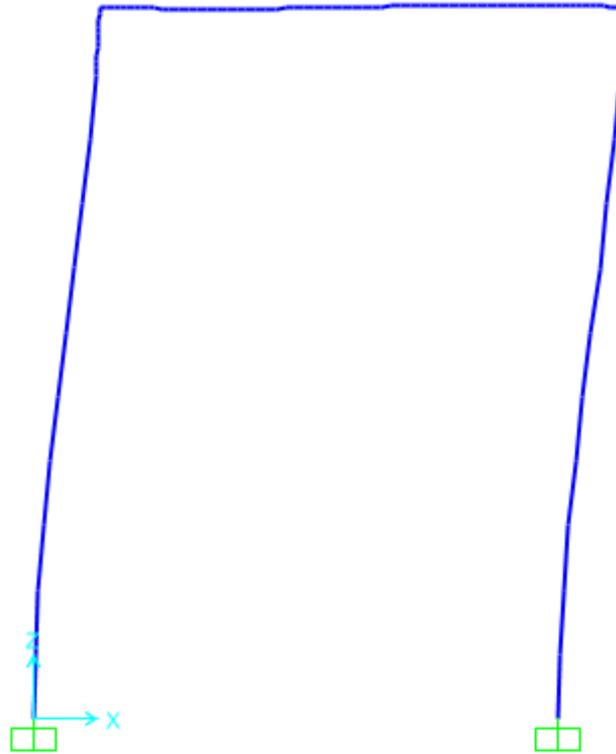


Ilustración 10: Deformada del marco en vacío a escala reducida

La comparación de las curvas de rotura resultantes del ensayo en laboratorio y del modelo de elementos finitos se muestran en la ilustración 11.

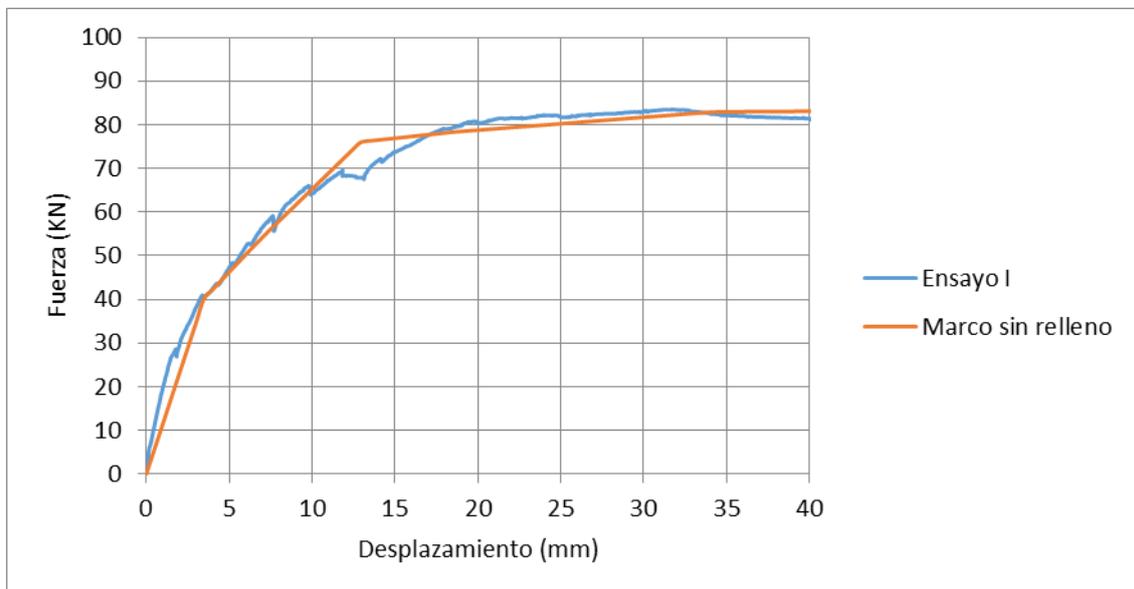


Ilustración 11: Comparación de curvas para marco en vacío a escala reducida

Una vez obtenidas ambas curvas, observamos como la curva de Fuerza-Desplazamiento obtenida mediante el modelo de elementos finitos se ajusta a la curva

obtenida por el ensayo real en vacío. Lo cual podemos decir que mediante una modelización correcta de las rótulas obtenemos un modelo de elementos finitos capaz de asemejarse al modelo real realizado en el laboratorio.

Observamos en la gráfica del modelo de elementos finitos como la modificación realizada en la rótula FH3 nos sirve de gran ayuda a la hora de ajustar la curva, por lo que consideramos que es un método correcto de modelización.

Mediante la curva teórica, así como con la real, podemos ver que hay dos claros puntos de formación de rótulas, el primer punto de formación de rótulas se genera con un empuje de 40KN y un desplazamiento en el punto de aplicación de la fuerza en el marco de unos 3,5 mm. Como anteriormente citado, las primeras rótulas que se forman están ubicadas en las bases de los pilares, estas rótulas son las que mayor esfuerzo reciben mediante la técnica de empuje progresivo.

El segundo punto claro de formación de rótulas se genera con un empuje de 75KN y un desplazamiento en el punto de aplicación de la fuerza en el marco de unos 13 mm. En este punto se forman las rótulas ubicadas en las cabezas de los pilares así como en los extremos de la viga superior.

Obtenida correctamente la curva de rotura del marco en vacío, utilizaremos este modelo generado para modelizar el siguiente ensayo realizado en el laboratorio, el marco con relleno de mampostería.

2.4. Modelado de marco con relleno

2.4.1. Descripción de los elementos del relleno y materiales utilizados

La modelización del marco con relleno ha sido de manera que se trata de un marco de hormigón armado con relleno de mampostería. El relleno consiste en un tabique de ladrillo hueco de arcilla cocida de dimensiones nominales 330x160x70 mm ejecutado con mortero M5 de juntas de 1 cm de espesor. La unión entre relleno y viga superior e inferior se ha realizado mediante mortero.

En la ilustración 12 se enumeran los distintos elementos modelizados. Posteriormente describiremos y definiremos cada uno de ellos.

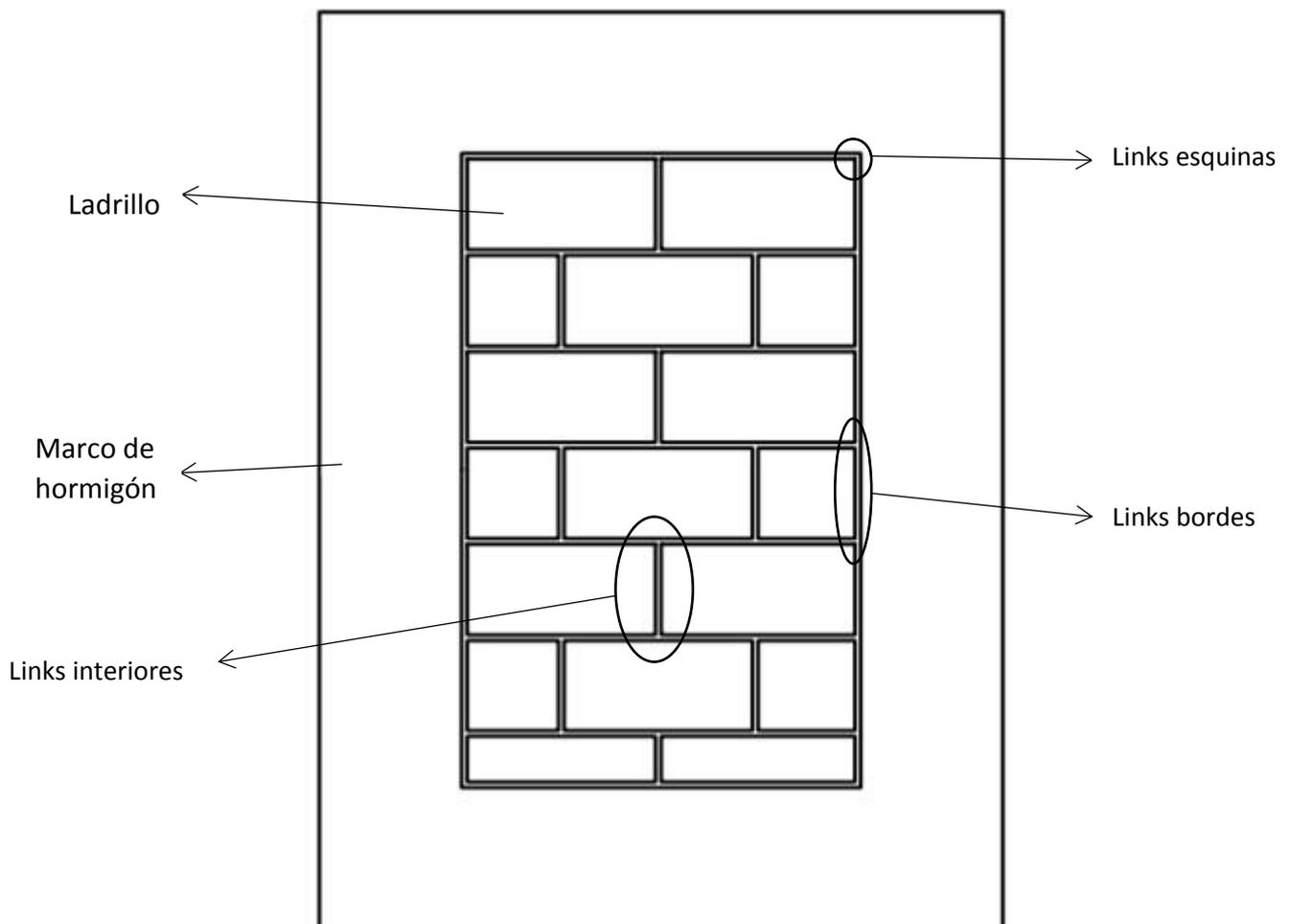


Ilustración 12: Comparación de curvas para marco en vacío a escala reducida

2.4.2. Marco de hormigón

Para la modelización del marco de hormigón con relleno, utilizaremos el marco anteriormente modelizado para el ensayo del marco en vacío, manteniendo los mismos materiales y geometría pero añadiremos unos nuevos elementos tipo barra, que explicaremos más adelante. La modelización de las rótulas se incluyen en este apartado.

Para la ejecución de la técnica Push-Over extrapolaremos las anteriores modelizaciones de las rótulas en el marco sin relleno. Pero en esta ocasión, al haber incluido la mampostería como relleno, obtenemos un aumento en la rigidez del conjunto marco-mampostería.

Este aumento de rigidez provoca que el conjunto marco-mampostería estudiado llegue al colapso a mayor esfuerzo aplicado sobre él, que el marco en vacío, por lo que deberemos modelizar unas nuevas rótulas con una ley momento-curvatura mayor a las modelizadas en el marco en vacío para obtener ese aumento de rigidez en el modelo de elementos finitos.

Por lo que mediante iteraciones en el modelo con relleno, las leyes momento-curvatura de las rótulas utilizadas para el conjunto marco-mampostería serán las siguientes:

- FH1:

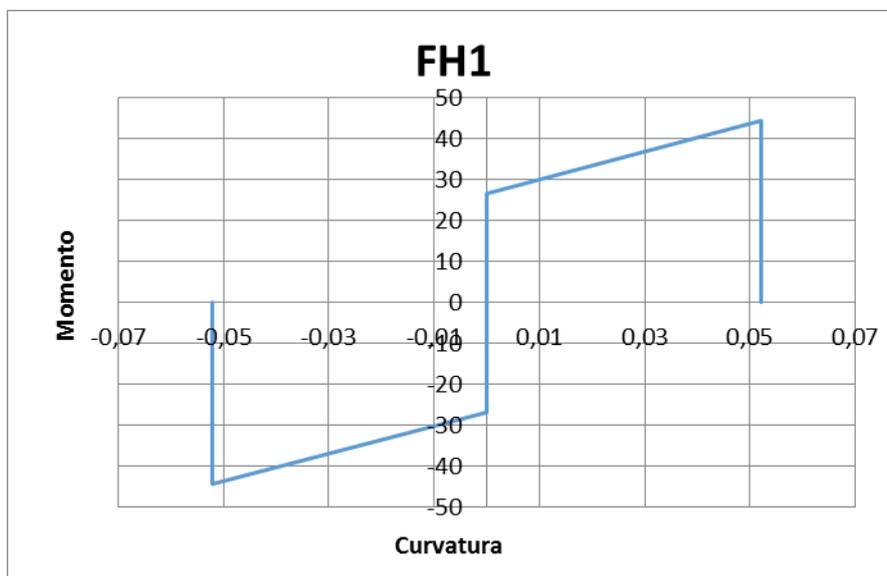


Ilustración 13: Ley momento-curvatura rótula FH1 marco con relleno escala reducida

	Momento (KN·m)	Curvatura (1/m)
P	44,322	0,05224
U	26,7	0

P = Momento plástico

U = Momento ultimo

- FH3:

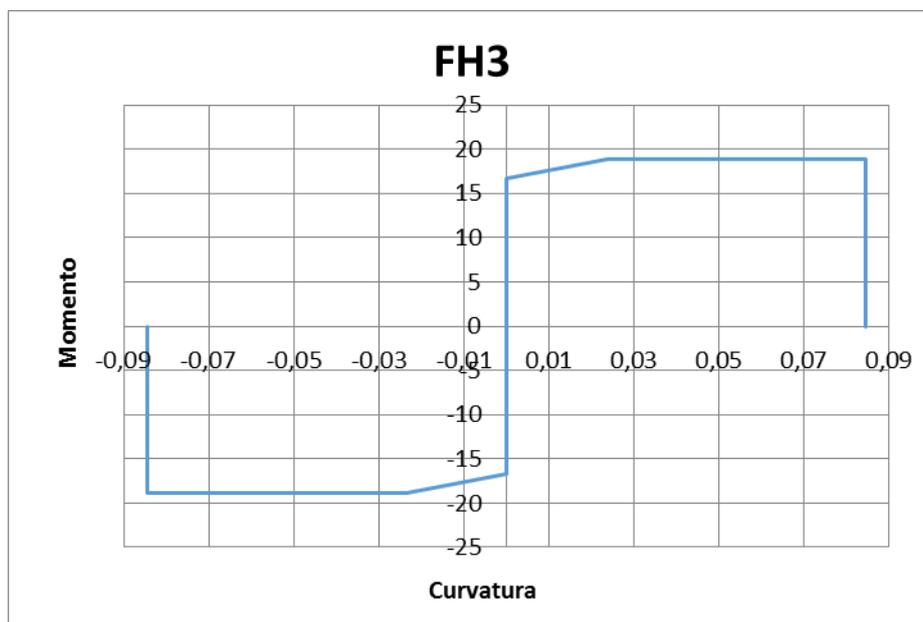


Ilustración 14: Ley momento-curvatura rótula FH3 marco con relleno escala reducida

	Momento (KN·m)	Curvatura (1/m)
P	18,871	0,084495
U	16,7	0

P = Momento plástico

U = Momento ultimo

Una vez incluido en el modelo el marco en vacío con sus respectivas propiedades y dimensiones, añadiremos unos nuevos elementos tipo barra al interior del marco, simulando así las dimensiones que tienen tanto los pilares como la viga del marco, de esta manera conseguiremos una correcta modelización del marco de hormigón para posteriormente incluir el relleno en el interior.

Estos elementos tipo barra colocados al interior se les asignan una propiedades especiales, podemos denominar a estos elementos como “barras ficticias”, ya que el material utilizado para dichos elementos será un material el cual no nos afecte sus propiedades o características al realizar los ensayos mediante Push-over, por lo que las propiedades asignadas serán las siguientes:

$$Peso = 0 \text{ Kg}$$

$$v = 0$$

$$E = 0$$

desplazarse entre sí mismos. Este tipo de uniones las utilizaremos a lo largo de los pilares y la viga, pero no en las uniones de los pilares con la viga.

Dentro de estas restricciones debemos destacar que obtendremos dos tipos:

- Uniones para los pilares del marco:

En las uniones destinadas a los pilares restringiremos el desplazamiento entre sí en los diferentes planos deseados para una correcta interacción, para el caso de los pilares, restringiremos el movimiento en los planos X e Y, así como la rotación en el eje Z.

- Uniones para la viga del marco:

En las uniones destinadas a los pilares restringiremos el desplazamiento entre sí en los diferentes planos deseados para una correcta interacción, para el caso de los pilares, restringiremos el movimiento en los planos X e Z, así como la rotación en el eje Y.

- Constraints tipo Rod:

Una Restricción tipo Rod hace que todas las uniones contenidas se muevan juntas como una varilla recta que es rígida contra la deformación axial. Todas las uniones mediante esta restricción mantienen una distancia fija entre sí en la dirección paralela al eje de la varilla, pero los desplazamientos normales al eje y todas las rotaciones no se ven afectadas.

Estos elementos de restricción los utilizaremos en las uniones de los pilares con la viga.

Dentro de estas uniones también diferenciaremos dos tipos:

- Uniones en la parte superior de los pilares con la viga:

En la unión destinada a la parte superior de los pilares con la viga, añadiremos este elemento de restricción en el plano X, imposibilitando así el desplazamiento entre sí en esta zona.

- Uniones en los extremos de la viga con los pilares:

En la unión destinada a la parte superior de los pilares con la viga, añadiremos este elemento de restricción en el plano Z, imposibilitando así el desplazamiento entre sí en esta zona.

Los tres planos basados en los ejes de coordenadas quedan representados en la ilustración 16.

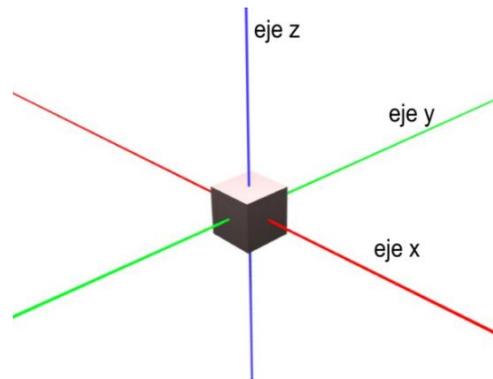


Ilustración 16: Ejes de coordenadas universales

2.4.3. Ladrillos

Para la modelización de la fábrica se ha utilizado una mampostería representativa de la tabiquería actual de uso en España. Se trata de ladrillo hueco de arcilla cocida de dimensiones nominales 330 x 160 x 70 x mm. Es común su uso para tabiquería interior o bien como capa interior en cerramientos exteriores. La fábrica se realiza a partir de las piezas descritas y mortero M 5 con juntas de 1 cm de espesor.

Las características técnicas del ladrillo vienen dadas por la ilustración 17.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		Método de Ensayo	Valores declarados por el fabricante		
PIEZAS FISURADAS		VISUAL	≤ 1 de cada 6		
TOLERANCIAS DIMENSIONALES		UNE-EN 772-16	Longitud	323 mm	
			Anchura	160 mm	
			Altura	69 mm	
ESPESOR DE PARED	PARED EXTERIOR NO VISTA	UNE-EN 772-16	≥ 6 mm		
	PARED INTERIOR		≥ 5 mm		
PLANEIDAD	DIAGONALES	L ≥ 300 mm	≤ 6 mm		
		300 L ≥ 250	≤ 5 mm		
		L ≤ 250 mm	≤ 3 mm		
PORCENTAJE EN HUECOS		%	UNE-EN 772-3	62%	
DENSIDAD	ABSOLUTA (Kg/ m³)	UNE-EN 772-13	1.900 Kg/ m³		
	APARENTE (Kg/ m³)		714 Kg/ m³		
	TOLERANCIA (%)		T = D2 5%		
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (Categoría II)			6.5 N/ mm²		
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA NORMALIZADA A COMPRESIÓN	(N/mm²)	UNE-EN 772-1	4.9 N/mm²		
CONTENIDO EN SALES SOLUBLES ACTIVAS		UNE-EN 772-5	Mg 0.00 %	Na 0.006 %	K 0.016 %
DURABILIDAD (HELACIDAD)		---	F0 (NO DESTINADO A SER EXPUESTO)		
REACCION AL FUEGO		UNE-EN 13501-1	EUROCLASE A1		
ADHERENCIA Resistencia característica inicial a cortante		Anexo C UNE-EN 998-2	0,15 N/ mm2 con morteros de uso general y ligeros		

Ilustración 17: características técnicas ladrillo 330x160x70

Modelizamos el ladrillo en el programa informático mediante un elemento Shell (Placa) para conseguir una correcta unión entre ladrillos dentro de la fábrica y así una correcta interacción entre estos una vez se realice el ensayo Push-over.

Las propiedades mecánicas utilizadas para el diseño del ladrillo serán las siguientes, obtenidas de los ensayos realizados en el laboratorio:

$$f'_m = 20,4 \text{ MPa}$$

$$E_m = 5000 \text{ MPa}$$

$$G_m = 2000 \text{ MPa}$$

Dónde:

f'_m : Resistencia a compresión del ladrillo.

E_m : Modulo de elasticidad del ladrillo.

G_m : Modulo de elasticidad transversal del ladrillo.

El módulo de elasticidad transversal G_m de la arcilla cocida puede tomarse igual al 40% del módulo de elasticidad E_m , a falta de valores más precisos.

En el próximo apartado, definiremos las uniones entre los ladrillos utilizados, por lo que especificamos las distintas zonas o caras del ladrillo con las que realizaremos dichas uniones. Las zonas de los ladrillos las hemos nombrado de dos maneras:

- Cama: Parte con mayor longitud de la tabla del ladrillo (soga).
- Cabeza: Parte con menor longitud de la tabla del ladrillo (tizón).



Ilustración 18: Caras de uniones entre ladrillos

2.4.4. Mortero

El mortero empleado se trata de una mezcla que viene preparada de fábrica la cual contiene una proporción prefijada de arena y cemento a la cual se le añade el agua necesaria para su correcto amasado. Las especificaciones de este mortero son: Mortero de albañilería M 5, es decir, que su resistencia a compresión debe ser de al menos de 5 MPa a los 28 días). La resistencia a compresión simple del mortero en función del tiempo se resume en la ilustración 19, así como la resistencia a flexión en la ilustración 20.

Para la modelización del mortero en nuestro modelo de elementos finitos utilizaremos unos nuevos elementos de unión punto a punto, descritos más adelante.

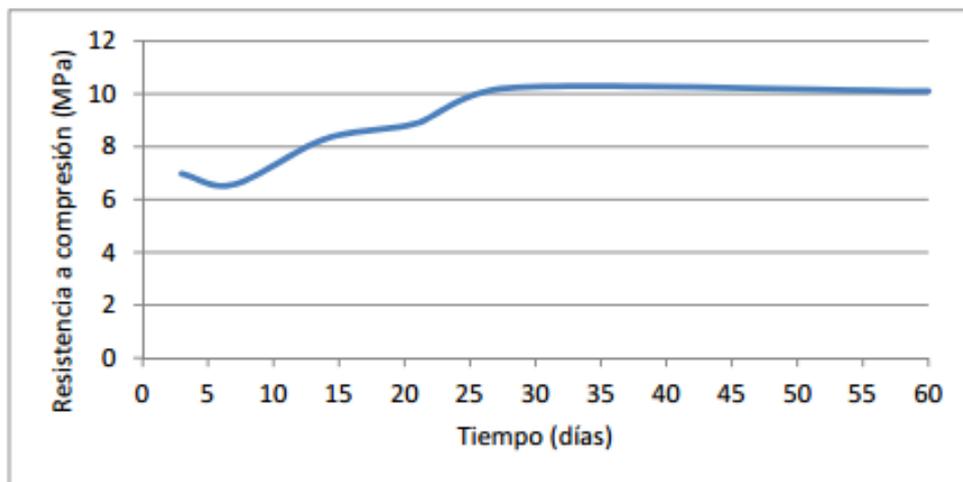


Ilustración 19: Resistencia a compresión del mortero.

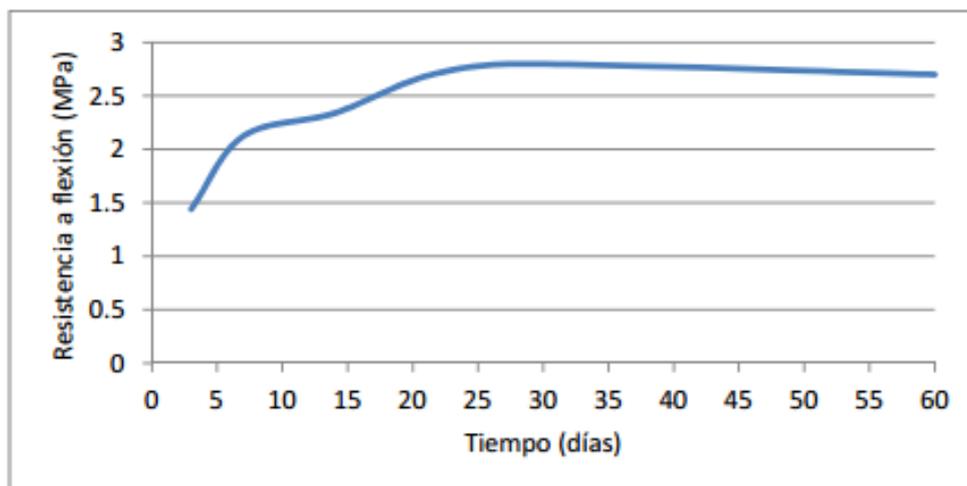


Ilustración 20: Resistencia a flexión del mortero.

Las propiedades mecánicas utilizadas para el diseño del ladrillo serán las siguientes:

$$E_{mortero} = 500 \text{ MPa}$$

$$h_{mortero} = 10 \text{ mm}$$

$$G_{mortero} = 200 \text{ MPa}$$

Dónde:

$E_{mortero}$: Modulo de elasticidad del mortero.

$h_{mortero}$: Espesor de las juntas de mortero.

$G_{mortero}$: Modulo de elasticidad transversal del mortero.

El módulo de elasticidad transversal $G_{mortero}$ puede tomarse igual al 40 % del módulo de elasticidad $E_{mortero}$, a falta de valores más precisos.

Para la modelización del mortero nos basaremos en el modelo propuesto por Chen, Liu (2014), en el que consideran las uniones de los diferentes puntos de la mampostería (Ladrillo y mortero) como elementos de contacto punto a punto (Links) de longitud cero. En dicho modelo propuesto se considera la modelización de la unión entre ladrillos (mortero), como 6 nodos o muelles, los cuales 3 de ellos trabajan en dirección normal y 3 en dirección transversal. Por lo tanto, los muelles enumerados 1-2-3 serán los encargados de transferir los esfuerzos normales, y los muelles enumerados 4-5-6 serán los encargados de transferir los esfuerzos transversales. En la ilustración 21 podemos ver dicho modelo propuesto.

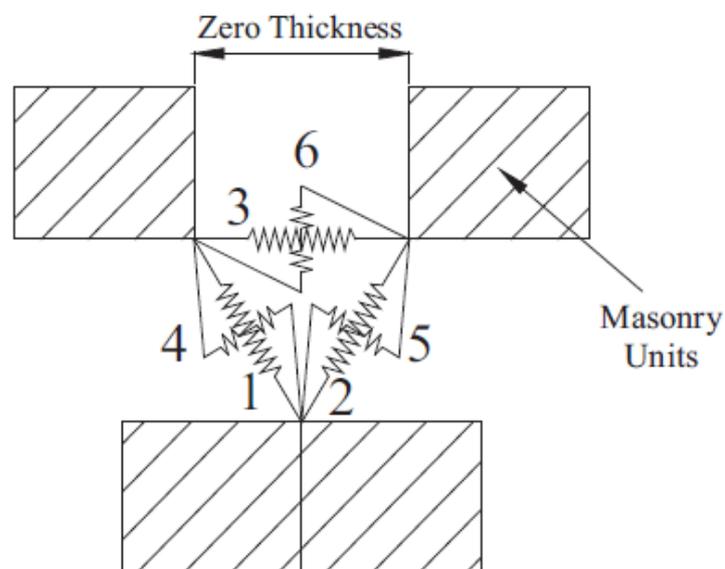


Ilustración 21: Resistencia a flexión del mortero.

En el caso de nuestro modelo, modelizamos las uniones punto a punto mediante 3 nodos o muelles que contienen dos tipos de rigideces, rigidez normal y rigidez transversal. Se propone de manera que los cada uno de los muelles transfieran los esfuerzos normales así como los transversales. Esta manera de modelizar simplifica el modelo propuesto por Chen, Liu (2014), así como más sencillo de introducir los valores de rigideces en nuestro modelo de elementos finitos.

Quedando representados en la ilustración 22 los elementos punto a punto en la mampostería del modelo de elementos finitos.

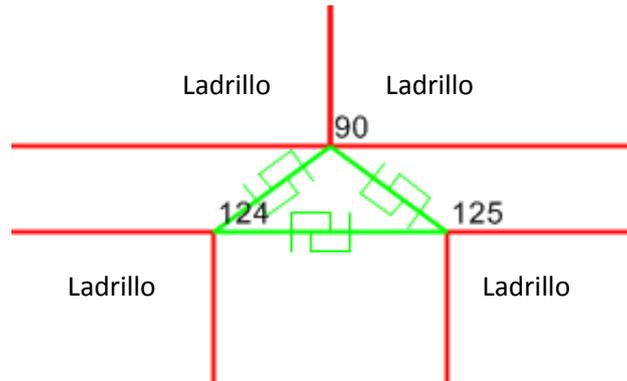


Ilustración 22: elementos de unión punto a punto en la mampostería

Definimos valores de rigideces para los muelles normales (k_n) y para los muelles transversales (k_s) de ambas caras mediante las expresiones propuestas por Chen, Liu (2014):

- Cabeza:

$$k_n = \frac{E_m \cdot E_{mortero}}{h_{mortero} \cdot (E_m - E_{mortero})} \cdot A_{cabeza} = 311111,11 \frac{N}{mm}$$

$$k_s = \frac{G_m \cdot G_{mortero}}{h_{mortero} \cdot (G_m - G_{mortero})} \cdot A_{cabeza} = 124444,44 \frac{N}{mm}$$

- Cama:

$$k_n = \frac{E_m \cdot E_{mortero}}{h_{mortero} \cdot (E_m - E_{mortero})} \cdot A_{cama} = 642000 \frac{N}{mm}$$

$$k_s = \frac{G_m \cdot G_{mortero}}{h_{mortero} \cdot (G_m - G_{mortero})} \cdot A_{cama} = 256666,67 \frac{N}{mm}$$

Dónde:

E_m : Modulo de elasticidad del ladrillo.

G_m : Modulo de elasticidad transversal del ladrillo.

$E_{mortero}$: Modulo de elasticidad del mortero.

$h_{mortero}$: Espesor de las juntas de mortero.

$G_{mortero}$: Modulo de elasticidad transversal del mortero.

A_{cama} : Área de la testa del ladrillo.

A_{cabeza} : Área del canto del ladrillo.

A su vez, modelizaremos los elementos de unión entre ladrillos de manera diferente, diferenciando entre lineales y no lineales.

Para los muelles en dirección normal a la zona de la cabeza y la cama del ladrillo, utilizaremos elementos de unión no lineales, por lo que así definiremos un comportamiento no lineal durante la técnica de Push-over, proporcionándonos mayor capacidad de modelización durante todo el desplazamiento adquirido por el ensayo hasta alcanzar el colapso del modelo.

Para los muelles en dirección transversal a la zona de la cabeza y la cama del ladrillo, utilizaremos únicamente elementos de unión lineales, ya que consideramos que estos proporcionan una clara rigidez a la mampostería pero no es necesario tener variaciones durante el transcurso del ensayo, facilitándonos así la modelización. Por lo tanto únicamente tendremos variación en la rigidez de los elementos de unión en dirección normal.

Una vez calculadas las rigideces de los elementos de unión, procederemos a calcular el comportamiento de estos a lo largo del desplazamiento del modelo durante el ensayo estático no lineal mediante las siguientes expresiones diferenciando entre los elementos utilizados en la zona de la cabeza (tizón) y en la zona de la cama (soga) del ladrillo así como los elementos (Links) colocados en la zona de las esquinas de la mampostería, la zonas de los bordes, o la zona interior.

- Links interiores:

- Cabeza:

$$F_t = f_{mort} \cdot A_{cabeza} = 28000 \text{ N} = 28 \text{ KN}$$
$$d = \frac{F_t}{K_n} = 0.09 \text{ mm}$$

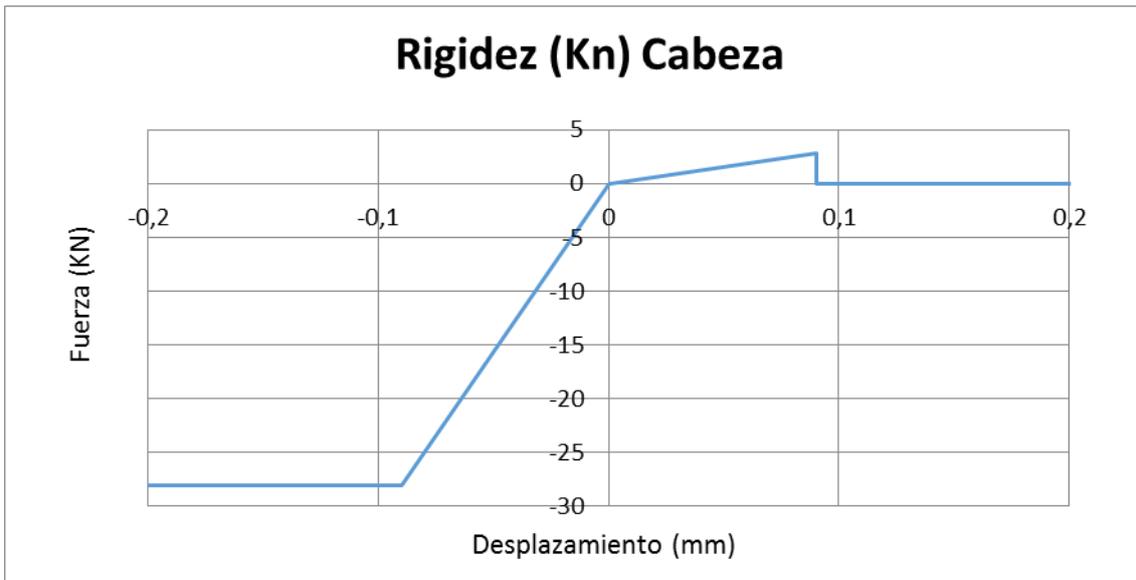


Ilustración 23: Grafica de no linealidad normal en la zona de cabeza del ladrillo

- Cama:

$$F_t = f_{mort} \cdot A_{cama} = 57750 \text{ N} = 57.75 \text{ KN}$$

$$d = \frac{F_t}{K_n} = 0.09 \text{ mm}$$

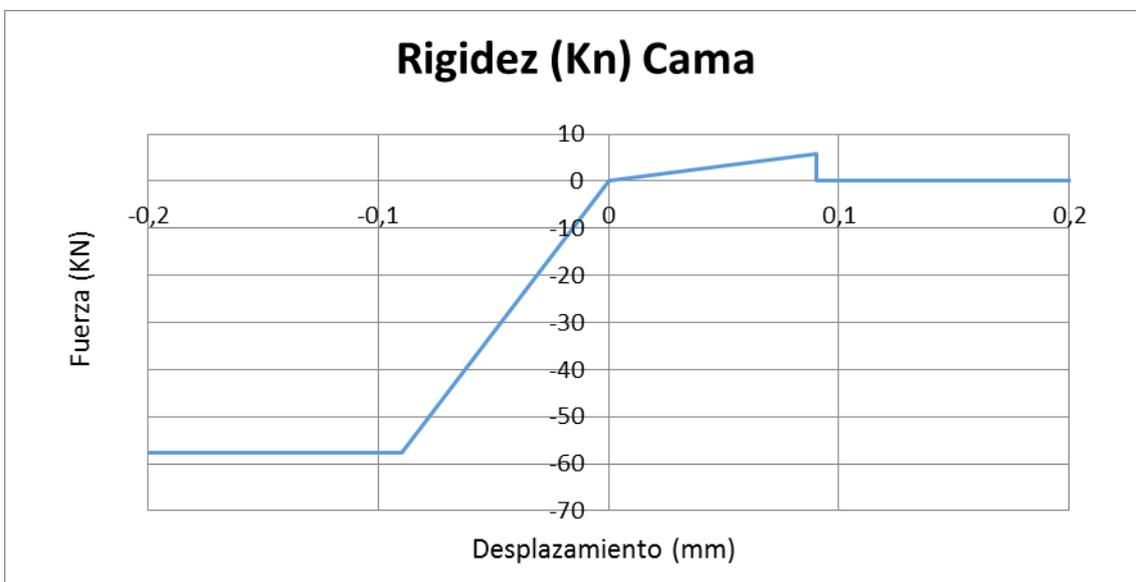


Ilustración 24: Grafica de no linealidad normal en la zona de cama del ladrillo

Dónde:

F_t : Resistencia.

f_{mort} : Fuerza a compresión del mortero.

K_n : Rigidez normal.

d : Desplazamiento.

A_{cama} : Área de la testa del ladrillo.

A_{cabeza} : Área del canto del ladrillo.

En el caso de la rigidez en dirección normal para los muelles de las zonas interiores, como puede verse en la gráfica, una vez alcanzada la resistencia del mortero a compresión, el valor se mantendrá constante debido a que después de esto lo que proporcionará resistencia a modelo serán los ladrillos de la mampostería. De manera contraria, en tracción, una vez alcanzado su valor, no habrá ningún elemento que proporcione resistencia, por lo que a partir de ese valor y ese desplazamiento, la resistencia será cero.

Las resistencias de los elementos de unión utilizados tanto en la zona de la cabeza como en la zona de la cama del ladrillo son calculadas para esfuerzos de compresión en la mampostería. Para los esfuerzos de tracción en la mampostería supondremos un 10% de la resistencia a compresión, a falta de valores más precisos.

Por otra parte, modelizaremos de manera diferente los elementos de unión entre la mampostería y el marco de hormigón, pero utilizando la misma clase de material que para la unión entre los ladrillos.

A la hora de modelizar esto en nuestro modelo de elementos finitos, crearemos unos nuevos elementos de unión punto a punto, de la misma manera en la que los modelizamos para el mortero como elemento de unión en la mampostería, pero esta vez únicamente los usaremos como unión entre la mampostería y el marco de hormigón.

A diferencia del caso de los elementos de unión de la mampostería, en la que consideramos los muelles en dirección normal a la zona de la cabeza y la cama del ladrillo como elementos de unión no lineales, esta vez consideraremos como no lineales los muelles en dirección transversal a la zona de la cabeza y la cama del ladrillo.

Por lo que los muelles en dirección normal los consideraremos lineales, y los muelles en dirección transversal no lineales.

Los elementos de unión entre la mampostería y el marco de hormigón quedaran representados en la ilustración 25.

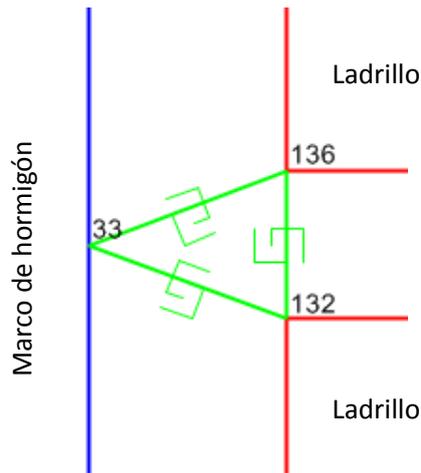


Ilustración 25: Elementos de unión punto a punto entre mampostería y marco de hormigón

Por lo tanto, únicamente tendremos no linealidad en la rigidez de los elementos de unión en dirección transversal, así que procederemos a calcular el comportamiento de estos a lo largo del desplazamiento del modelo durante el ensayo estático no lineal mediante las siguientes expresiones diferenciando entre los elementos utilizados en la zona de la cabeza (tizón) y en la zona de la cama (soga) del ladrillo.

- Links bordes:
 - Cabeza:

$$F_t = F_{mort} \cdot A_{cabeza} = 28000 \text{ N} = 28 \text{ KN}$$

$$d = \frac{F_t}{K_s} = 0.22 \text{ mm}$$

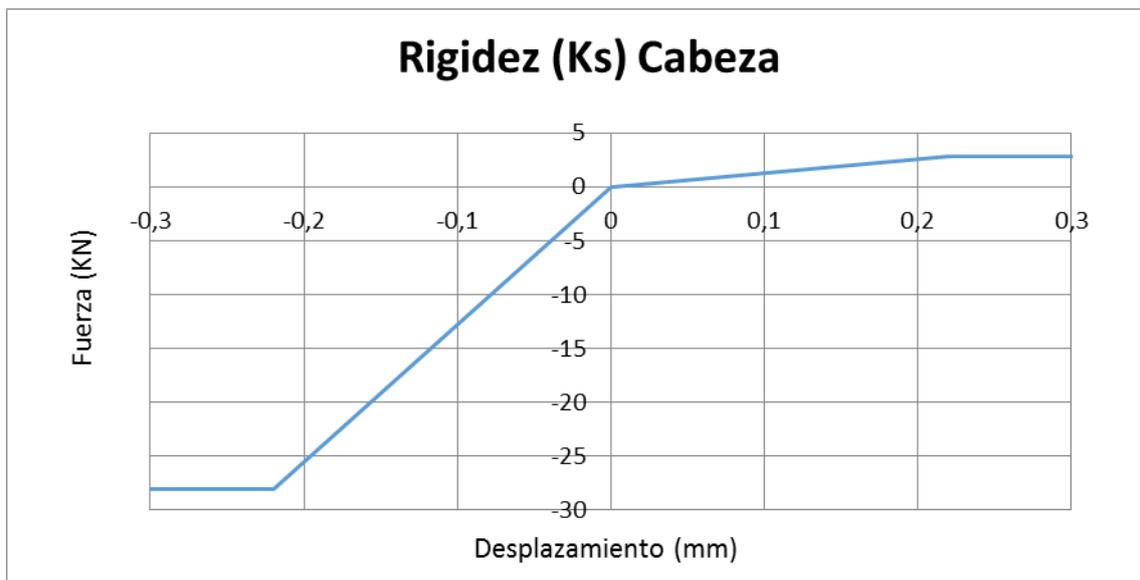


Ilustración 26: Grafica de no linealidad transversal en la zona de cabeza del ladrillo

- Cama:

$$F_t = F_{mort} \cdot A_{cama} = 57750 \text{ N} = 57.75 \text{ KN}$$

$$d = \frac{F_t}{K_s} = 0.22 \text{ mm}$$

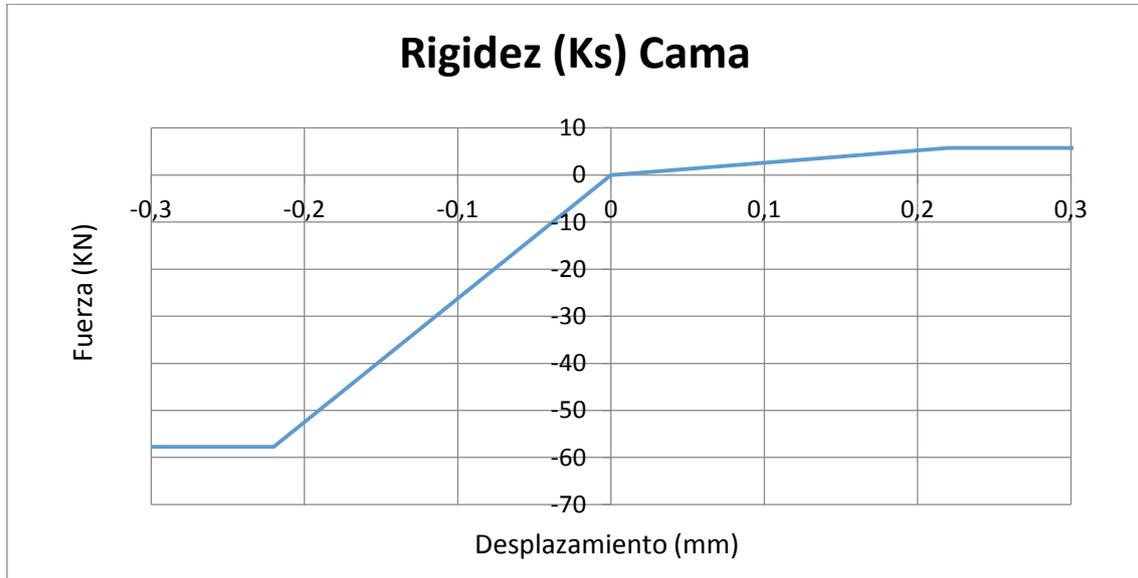


Ilustración 27: Grafica de no linealidad transversal en la zona de cama del ladrillo

Dónde:

F_t : Resistencia.

F_{mort} : Fuerza a compresión del mortero.

K_s : Rigidez transversal.

d : Desplazamiento.

A_{cama} : Área de la testa del ladrillo.

A_{cabeza} : Área del canto del ladrillo.

En el caso de no linealidad transversal, una vez alcanzada la resistencia del mortero tanto a compresión como a tracción el valor se mantendrá constante debido a que después de esto lo que proporcionará resistencia a modelo serán los ladrillos de la mampostería debido al roce entre ellos y el roce entre los ladrillos y el marco a lo largo del desplazamiento del ensayo.

Por último, definiremos unos nuevos elementos de unión punto a punto en las zonas de las cuatro esquinas de unión entre la mampostería y el marco de hormigón armado.

Estos elementos de unión han sido considerados de tal forma que trabajaran tanto con no linealidad normal como no linealidad transversal, por lo que, las rigideces asignadas a estos elementos serán las de mayor cantidad, debido a que es una zona que trabaja tanto en la cama como en la cabeza del ladrillo. Debido a esto, la zona de la cama del

ladrillo al tener mayor área, es más influyente en los resultados que obtengamos, por lo que tanto los valores de la rigidez normal, como los de la rigidez transversal vendrán definidos por los obtenidos anteriormente en la zona de la cama. Sin embargo, en esta ocasión, debido que estos elementos se encuentran en la unión entre la mampostería y el marco de hormigón, en el que hemos considerado que una vez alcanzada la resistencia del mortero tanto a compresión como a tracción el valor se mantendrá constante, diseñaremos la gráfica de la rigidez normal del mismo modo que se hace con la rigidez transversal.

- Links esquinas:

- Rigidez en dirección normal:

$$F_t = F_{mort} \cdot A_{cama} = 57750 \text{ N} = 57.75 \text{ KN}$$
$$d = \frac{F_t}{K_n} = 0.09 \text{ mm}$$

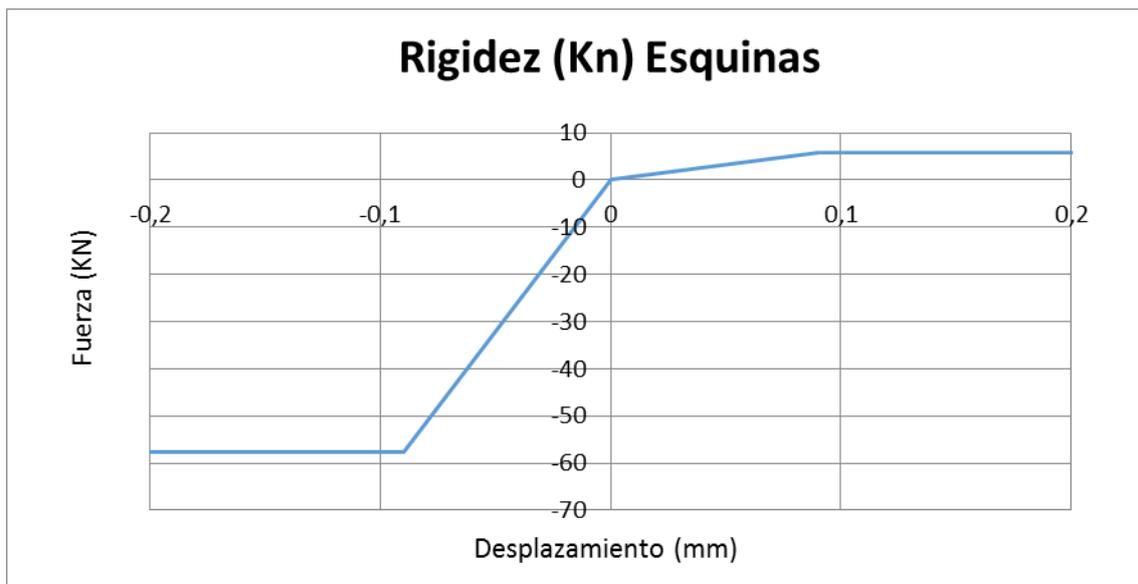


Ilustración 28: Grafica de no linealidad normal en la zona de las esquinas

- Rigidez en dirección transversal:

$$F_t = F_{mort} \cdot A_{cama} = 57750 \text{ N} = 57.75 \text{ KN}$$
$$d = \frac{F_t}{K_s} = 0.22 \text{ mm}$$

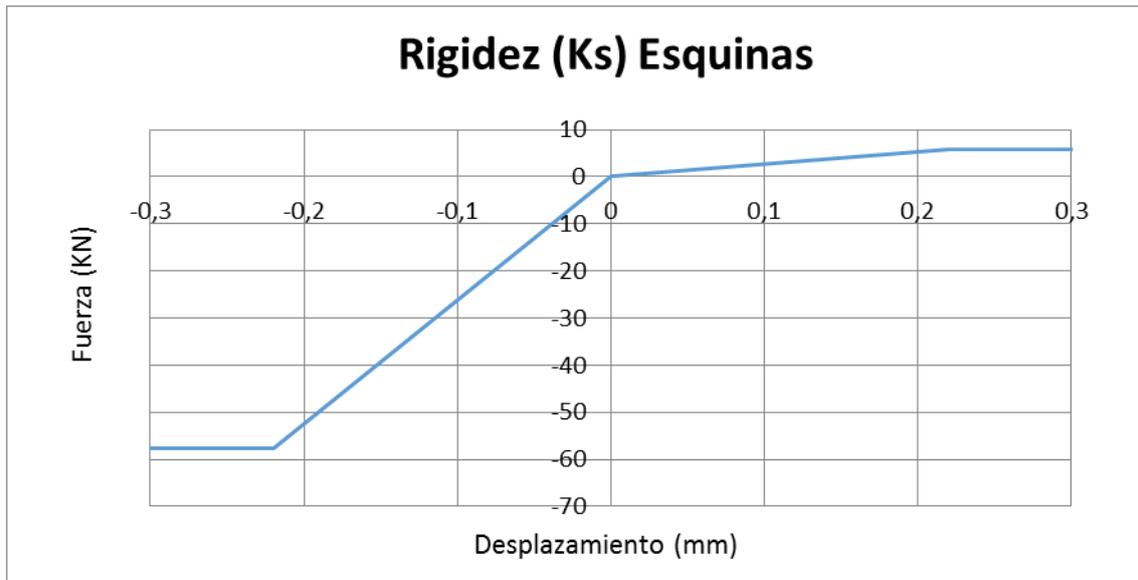


Ilustración 29: Grafica de no linealidad transversal en la zona de las esquinas

Las resistencias de los elementos de unión utilizados tanto en la zona de la cabeza como en la zona de la cama del ladrillo son calculadas para esfuerzos de compresión entre la mampostería y el marco. Para los esfuerzos de tracción supondremos un 10% de la resistencia a compresión al igual que en los elementos de unión en la mampostería, a falta de valores más precisos.

2.4.5. Análisis de resultados

Una vez modelizado el marco con relleno mediante el modelo de elementos finitos, el análisis de resultados lo haremos mediante la comparación de las curvas de rotura, en el caso del modelo de elementos finitos a través del ensayo Push-over del marco con relleno, y en el caso del modelo real con relleno mediante la curva de rotura real obtenida durante el ensayo en el laboratorio (Ensayo III).

El modelo en elementos finitos final antes de ser ejecutado para su posterior comparación se muestra en la ilustración 30.

En la zona central de la mampostería podemos observar como hay algo más de espesor de mortero que en el resto de la mampostería, esto se debe a que una vez modelizando, con las dimensiones interiores del marco el espesor para cada hueco de mortero no son iguales, por lo que es diferencia la compensamos en esta zona central. El espesor de diferencia de esta zona son 5 milímetros con respecto a las demás zonas de la mampostería. Modelizado de esta manera, no es realmente influyente a la hora de obtener los resultados del análisis Push-over.

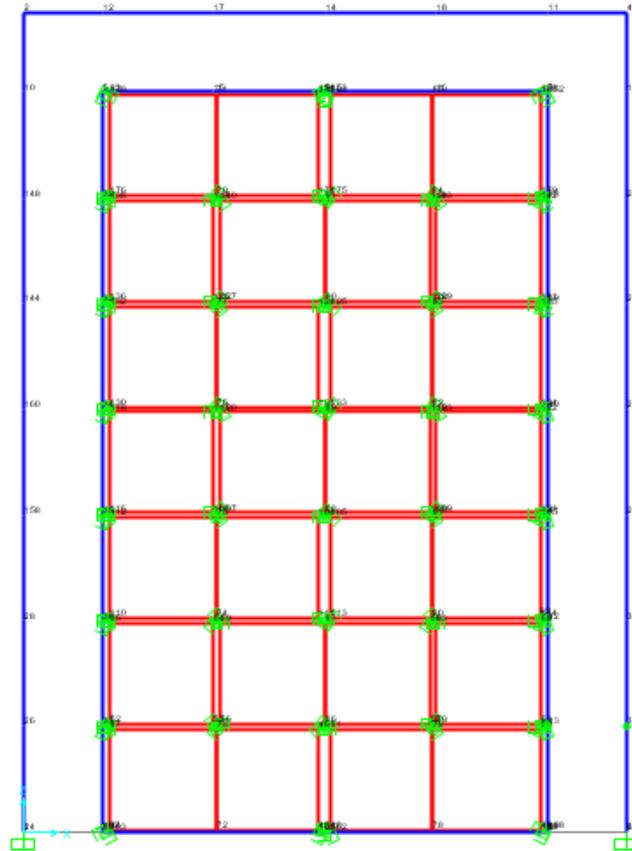


Ilustración 30: Modelo de elementos finitos del marco con relleno escala reducida

Una vez ejecutada la técnica de Push-over mediante el programa informático, podemos observar la deformada del marco-mampostería. Esta deformada es generada mediante el programa informático por lo que es una manera de visualizar el proceso de deformación del marco durante el ensayo, pero no deja de ser una simulación que únicamente nos sirve a modo de orientación.

En la ilustración 31 podemos observar como hay una clara zona de despegue de la mampostería respecto del marco de hormigón. Este claro despegue ocurre en la zona superior derecha de la mampostería debido a que es la zona con mayores esfuerzos por tracción, al aplicar la carga en la zona superior izquierda, se generan unas bielas de compresión dentro de la mampostería, las cuales veremos más adelante.

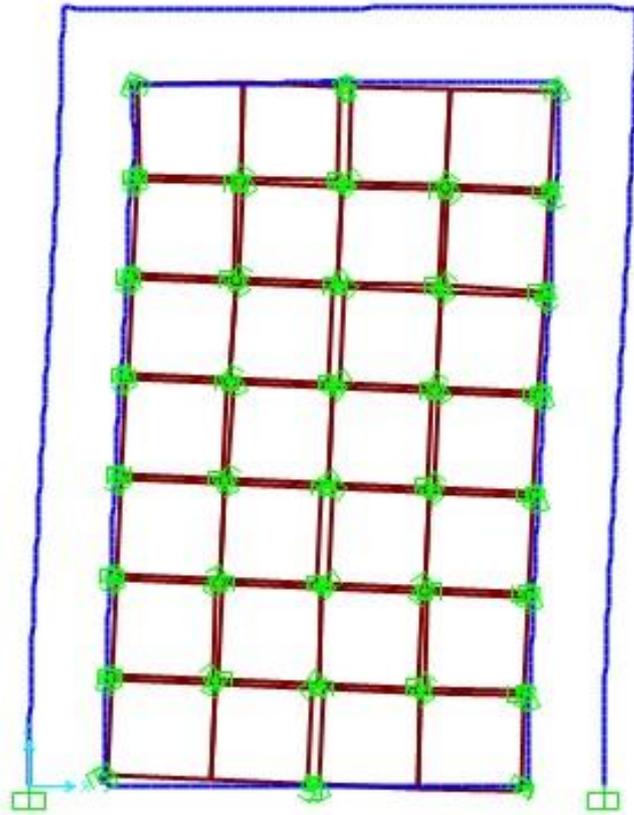


Ilustración 31: Modelo de elementos finitos del marco con relleno escala reducida

La comparación de las curvas de rotura resultantes del ensayo en laboratorio y del modelo de elementos finitos se muestran en la ilustración 32.

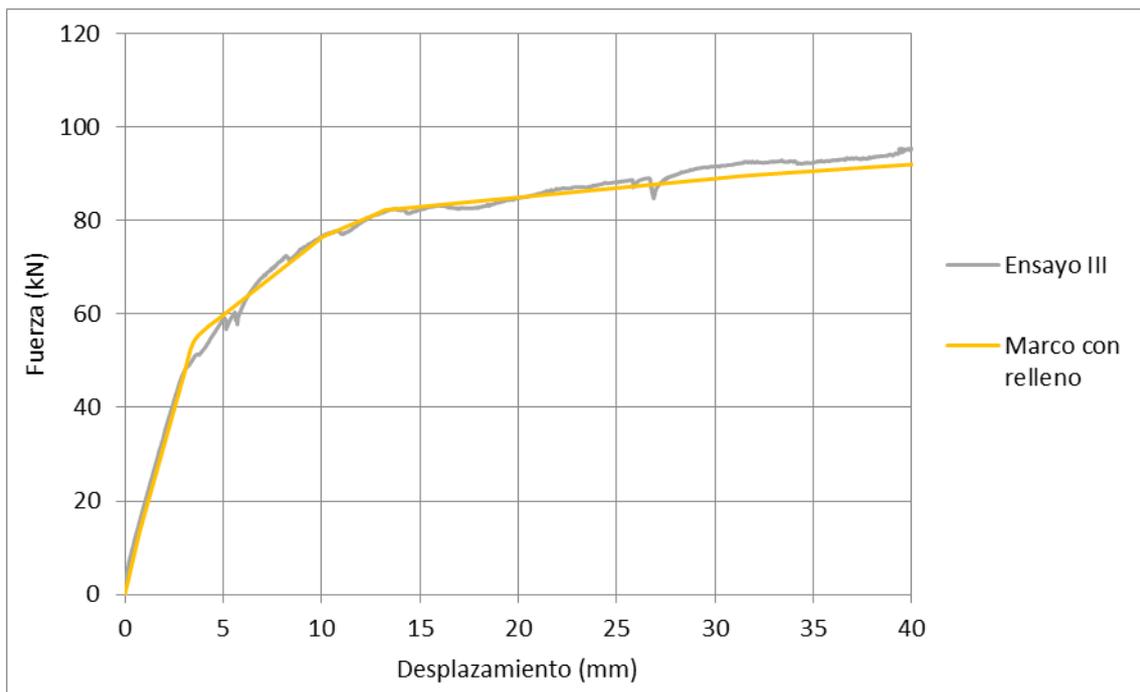


Ilustración 32: Comparación de curvas para marco con relleno escala reducida

Una vez obtenidas y representadas ambas curvas, observamos como la curva de Fuerza-Desplazamiento obtenida mediante el modelo de elementos finitos se adecua a la curva obtenida mediante el ensayo real del marco con relleno realizado en el laboratorio. Lo cual podemos decir que, obtenido previamente el marco en vacío, con la posterior modelización en este de los elementos de unión y restricción en el marco de hormigón, la modelización de la fábrica (mortero y ladrillo) así como los elementos de unión entre estos, y los elementos de unión e interacción de la mampostería con el marco de hormigón, obtenemos un modelo de elementos finitos capaz de asemejarse al modelo real realizado en el laboratorio.

Observamos en la gráfica del modelo de elementos finitos como las modificaciones realizadas en la rótula FH1 y FH3 resultan ser idóneas. Al añadir la mampostería provocamos un aumento en la rigidez del conjunto, consecuentemente este aumento de la rigidez en el conjunto se traduce como un aumento de rigidez en las rótulas. Por lo tanto una mayor resistencia frente al colapso del conjunto marco-mampostería.

Mediante la curva teórica, así como con la real, podemos ver que hay claros puntos de formación de rótulas y de colapsos dentro de la mampostería, el primer punto que podríamos definir se genera con un empuje de 53 KN frente a los 40KN de empuje que necesitaba el marco en vacío para generar la primera plastificación en las rótulas.

Tal y como citado anteriormente en el modelo de marco en vacío, en este modelo las primeras rótulas que se forman también son las ubicadas en las bases de los pilares, estas rótulas son las que mayor esfuerzo reciben mediante la técnica de empuje progresivo.

Obtenemos un segundo punto claro de formación de rótulas y colapsos de la mampostería, este punto se genera con un empuje de 82 KN frente a los 75KN de empuje que necesitaba el marco en vacío para generar esta segunda plastificación de rótulas. En este segundo punto vemos mediante el modelo de elementos finitos como se forman las rótulas ubicadas en las cabezas de los pilares así como en los extremos de la viga superior.

Obtenida correctamente la curva de rotura del marco con relleno de mampostería mediante nuestro modelo de elementos finitos frente a la curva de rotura del ensayo en el laboratorio, proponemos y procedemos a diseñar unos nuevos modelos a escala real.

Por último, utilizaremos estos modelos previamente generados para extrapolar las modelizaciones realizadas y así diseñar los siguientes modelos de marcos a escala real que pretendemos. De esta manera podremos estudiar como influiría esta adición de mampostería a un marco en tamaño real y cómo podríamos ubicar nuestro dispositivo de aislamiento sísmico.

3. Marco de hormigón a escala real

3.1. Descripción de los elementos y materiales utilizados

En base a los resultados obtenidos en el estudio y ensayo de los marcos de hormigón armado a escala reducida así como en las modelizaciones en elementos finitos de estos ensayos, se plantea el diseño de los marcos de hormigón armado a escala real.

El proceso que se ha llevado a cabo para el diseño del marco a escala real, tanto su geometría como su armado, y todos los utillajes necesarios ha sido el estudio de una estructura de edificación a base de pórticos de hormigón armado de características convencionales de la edificación de España.

Para el diseño del ensayo, la geometría del pórtico de hormigón armado HA-35 resultante tiene una altura de 3000 mm y un ancho de 5000 mm en los centros de pieza. Se ha propuesto una sección de 30 cm de canto y 30 cm de ancho. El armado se realiza a partir de armadura de acero B-500-S de diámetro 16 mm para el armado longitudinal colocando un redondo en cada esquina de la sección. Los estribos de diámetro 10 mm se distribuyen uniformemente entre vigas y columnas disminuyendo su separación en los nudos.

En la modelización de los modelos de elementos finitos a escala real debemos tener en cuenta que únicamente queremos observar la comparación entre las distintas curvas obtenidas entre el marco en vacío, el marco con relleno y el marco con dispositivo, no analizaremos el punto de rotura de los marcos.

En la ilustración 33 Se representa una vista general del ensayo. Este consiste en someter a acciones horizontales un marco de hormigón armado de tres metros de altura y cinco metros de luz para estudiar la influencia del relleno en su comportamiento estructural. El pórtico esta simplemente empotrado en sus dos apoyos inferiores. La carga se introduce mediante un actuador de doble efecto situado a la altura del dintel. El sistema permite introducir cargas cíclicas en el dintel superior del pórtico de modo que se realizan ciclos de carga introduciendo solo compresiones en dicho dintel.

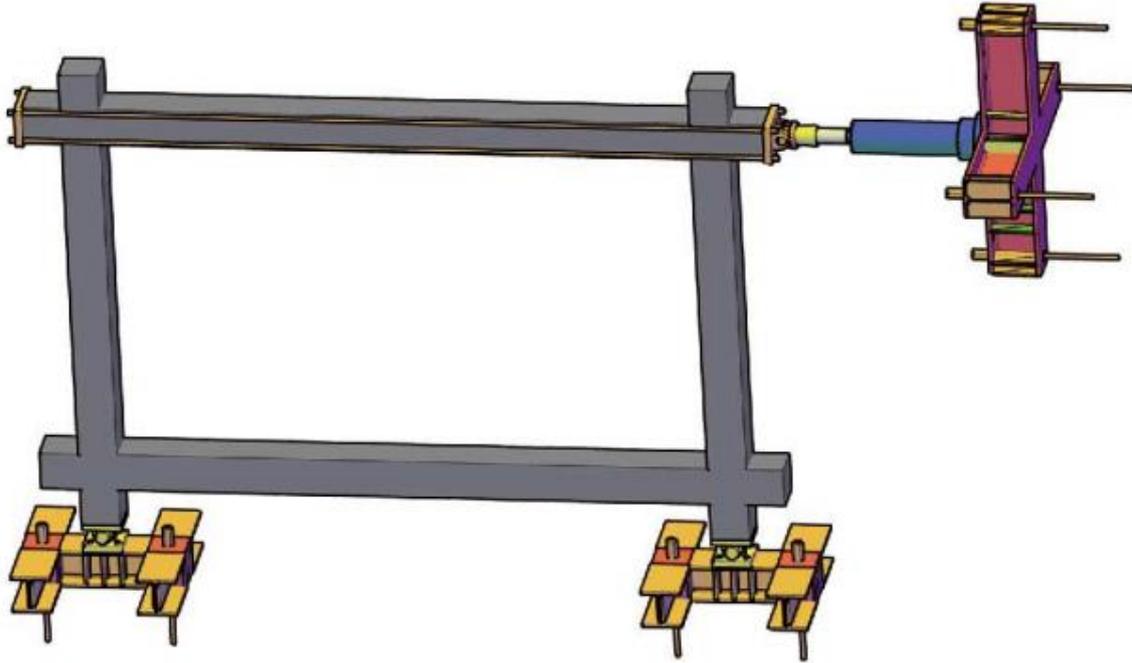


Ilustración 33: Vista del ensayo a escala real

El portico resultante para el consiguiente analisis se muestra en la ilustración 34.

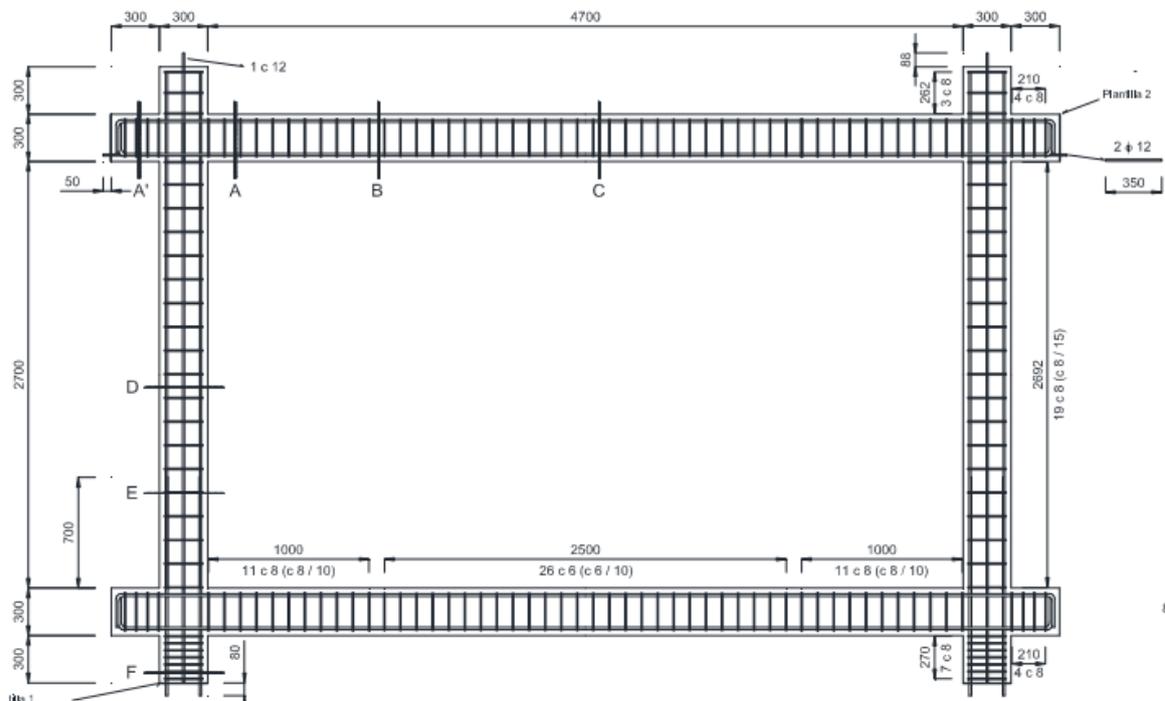


Ilustración 34: Marco hormigón a escala real

3.2. Modelo marco en escala real con marco en vacío

Para el diseño y la modelización del ensayo del marco a escala real, partiremos de la base de crear primeramente un marco en vacío como en los anteriores modelos de elementos finitos. Mediante el prontuario informático del hormigón EHE-08 obtendremos el diagrama de momento-curvatura de la sección propuesta para nuestro modelo de elementos finitos, y así modelar de manera correcta las leyes de momento-curvatura de las rótulas definidas en el marco.

Definiremos nuevamente dos tipos de rótulas plásticas, a las que las llamaremos (FH1) y (FH3). Estas rótulas nos harán capaces de modelizar tanto la parte elástica como la parte plástica de la curva de rotura del marco, consiguiendo al definir sus valores en momento y rotación obtener una curva de rotura mediante un ensayo estático no lineal. Para la definición de estas rotulas se tendrán en cuenta las hipótesis y conclusiones tomadas en los apartados anteriores.

El diagrama de momento-curvatura teórico para la sección propuesta se muestra en la ilustración 35.

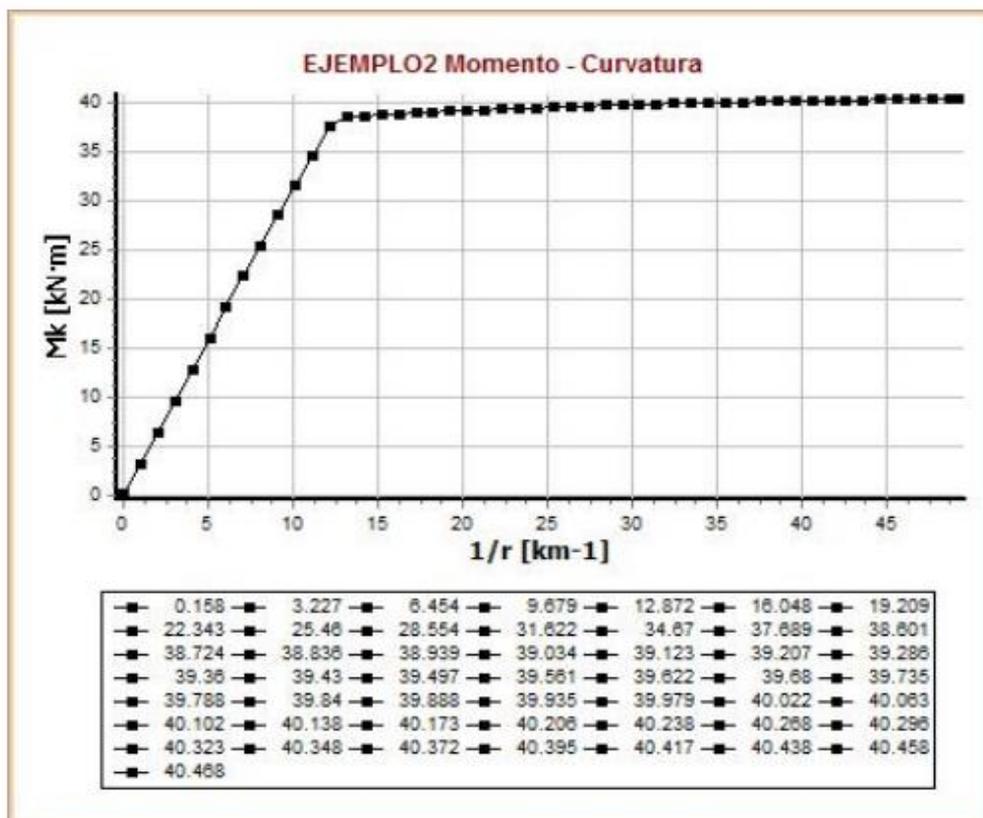


Ilustración 35: Ley momento-curvatura marco en vacío escala real

Una vez obtenido esto modelizaremos en el modelo de elementos finitos las rótulas tanto en los extremos de los pilares como en los extremos de la viga superior.

Por lo tanto, la ley de momento-curvatura de las rótulas plásticas quedarán de la siguiente manera:

- FH1:

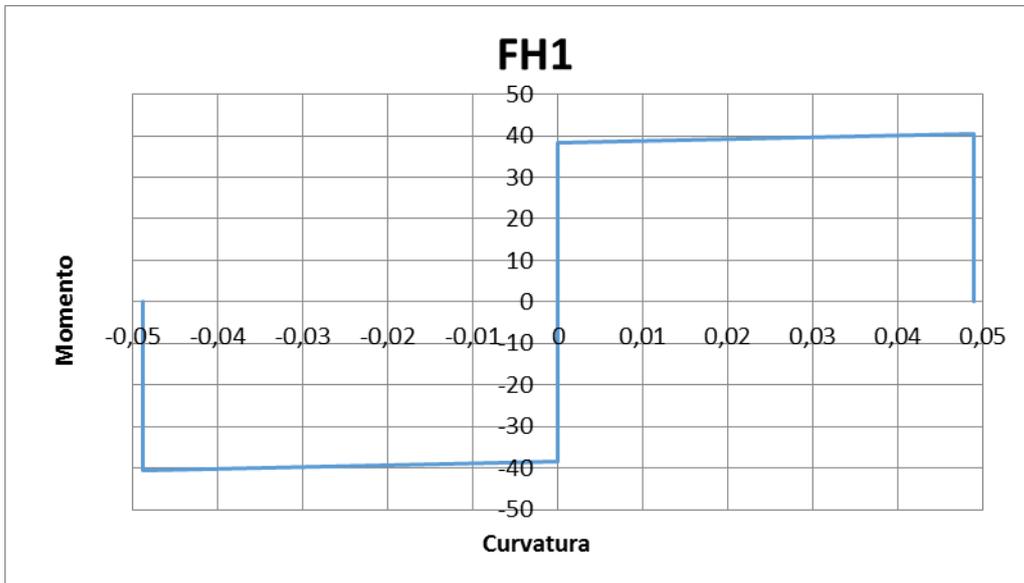


Ilustración 36: Ley momento-curvatura rótula FH1 marco en vacío escala real

	Momento (KN·m)	Curvatura (1/m)
P	40.598	0.048
U	38.3	0

P = momento plástico

U = momento ultimo

- FH3:

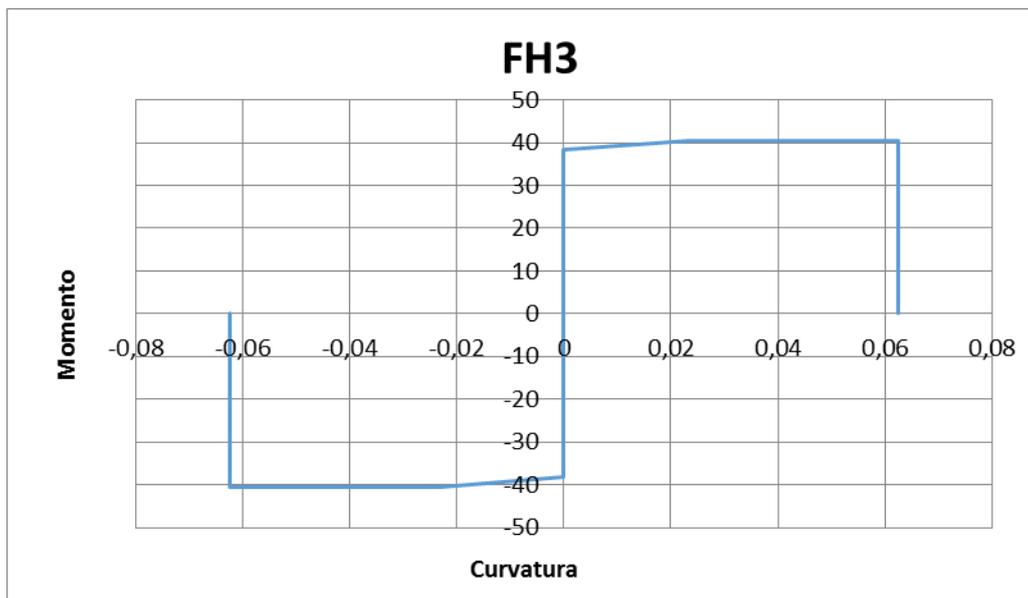


Ilustración 37: Ley momento-curvatura rótula FH3 marco en vacío escala real

	Momento (KN·m)	Curvatura (1/m)
P	40.598	0.048
U	38.3	0

P = momento plástico

U = momento ultimo

Del mismo modo que en los modelos anteriores, para la rótula FH1, al ser colocada en la parte superior de los pilares y en los extremos de la viga, hemos diseñado una ley momento-curvatura en la que tendremos volveremos a tener dos zonas destacadas, la zona elástica, y posteriormente la zona plástica. Una vez sobrepasemos el punto de plastificación, la rótula colapsará, lo que se traduce en un momento de valor 0 en ese mismo instante.

Por otra parte, tal y como hemos modelizado las rotulas para los modelos anteriores a escala reducida, colocamos la rótula FH3 en las bases de ambos pilares. Para ella diseñamos de nuevo una ley momento-curvatura diferente, debido a que las bases de los pilares sufren unos esfuerzos mucho mayores que los extremos superiores. Esta ley momento-curvatura diferente a la anterior rotula nos permitirá obtener la curva de rotura de una manera más sencilla, además, tal y como hemos visto en los anteriores modelos, es una correcta manera de modelización ya que la curva de rotura se ajusta correctamente a una curva de rotura en un ensayo real mediante dicha forma de modelización. En este modelo extrapolamos los resultados y conclusiones de los modelos realizados anteriormente. Por lo tanto, en esta rótula hemos definido una zona más en la ley de momento-curvatura. Finalmente habremos definido dos zonas plásticas en las rótulas de las bases de los pilares. En esta propuesta de modelo asignamos las leyes de momento-curvatura a las rótulas de manera teórica, tal y como nos define el prontuario informático del hormigón. Al contrario que en los anteriores modelos en los que si teníamos un modelo real, en el que tras realizar una comparación entre nuestro modelo de elementos finitos y los ensayos reales observamos como las leyes momento-curvatura eran menores en los modelos reales que en las leyes obtenidas de forma teórica debido por ejemplo a fisuraciones del hormigón y a varios otros factores que no se tienen en cuenta en la obtención de las leyes momento-curvatura de manera teórica mediante el prontuario informático del hormigón.

En la ilustración 38 se muestra la asignación y posición en el marco de las rótulas anteriormente definidas.



Ilustración 38: Asignación y posición rótulas marco a escala real

En la ilustración 39 podemos observar el orden de formación de las rotulas mediante la técnica de empuje progresivo o Push-over.

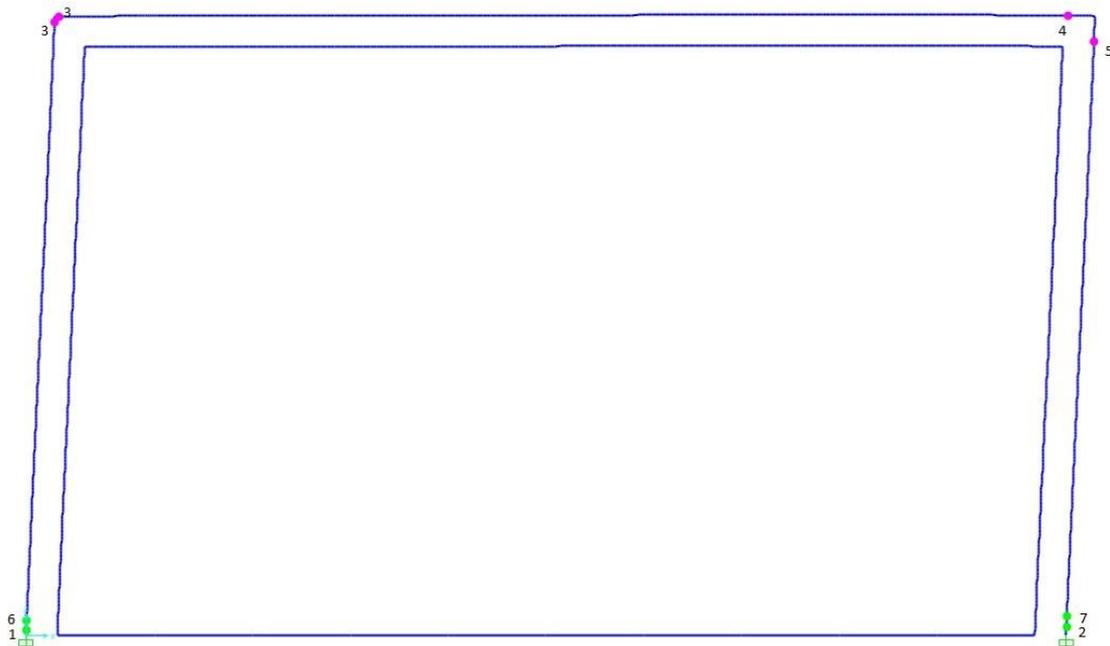


Ilustración 39: Orden de aparición rótulas plásticas marco en vacío escala real

- Primera rótula: Aparece en la base del pilar que recibe la carga no lineal.
- Segunda rótula: Aparece en la base del pilar contrario a la aplicación de la carga no lineal.
- Terceras rótulas: Aparecen simultáneamente en la cabeza del pilar que recibe carga y en el extremo de izquierdo de la viga.

- Cuarta rótula: Aparece en el extremo derecho de la viga.
- Quinta rótula: Aparece en el la cabeza del pilar contrario a la aplicación de la carga no lineal.
- Sexta rótula: Aparece una segunda rótula en la base del pilar que recibe la carga no lineal.
- Séptima rótula: Aparece una segunda rótula en la base del pilar contrario a la aplicación de la carga no lineal.

Del mismo modo que anteriormente, para la correcta interacción entre el marco de hormigón y los elementos tipo barra colocados en el interior del marco, utilizaremos los elementos de modelización (constraints) que nos permite la necesaria unión entre el marco y los elementos tipo barra colocados en el interior (barras ficticias), así conseguimos simular que ambos elementos conforman la dimensión del marco de hormigón, y obtendremos unos correctos resultados posteriormente.

Crearemos dos puntos con la misma altura entre ambos a lo largo de todo el marco de hormigón y los elementos tipo barra del interior de manera consecutiva, tanto en los pilares como en las vigas, y conectaremos del mismo modo que en el modelo a escala reducida estos elementos mediante los dos tipos de uniones (Rod y Body). Los puntos de union asignados en el marco quedan representados en la ilustración 40.

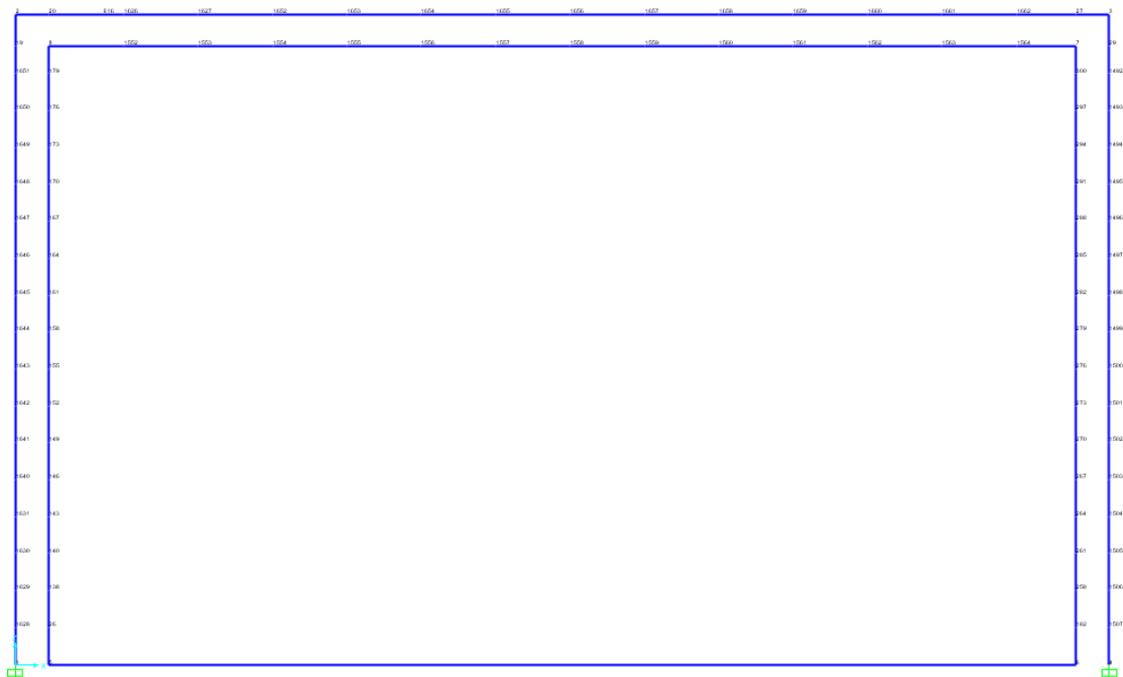


Ilustración 40: Puntos de unión de constraints modelo con relleno escala real

3.2.1. Análisis de resultados

Una vez realizado el modelo de elementos finitos realizaremos el análisis estático no lineal del pórtico en vacío representado en la ilustración 41.



Ilustración 41: Modelo elementos finitos escala real en vacío

Una vez ejecutada la técnica de Push-over en nuestro modelo de elementos finitos mediante el programa informático, podemos observar la deformada del marco-mampostería en la ilustración 42.

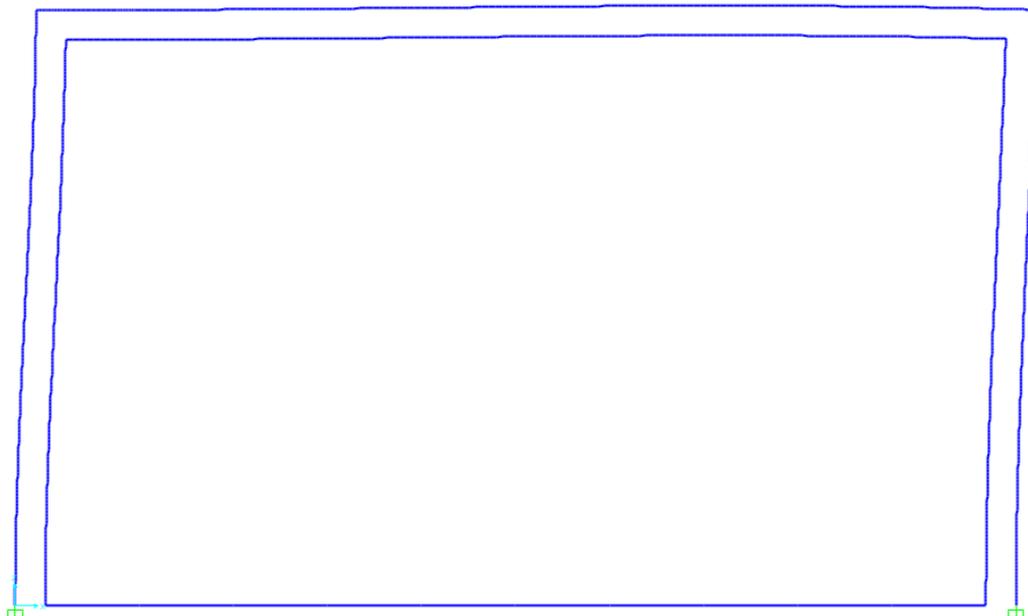


Ilustración 42: Modelo elementos finitos escala real en vacío

En la ilustración 43 se muestra la curva de rotura obtenida mediante el modelo de elementos finitos.

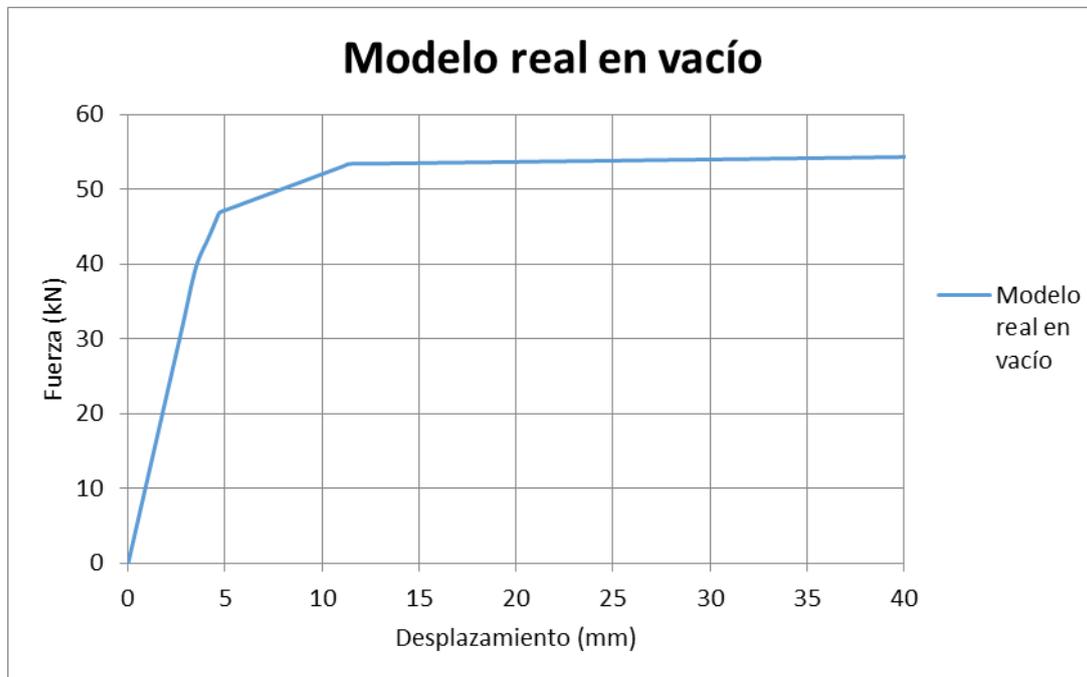


Ilustración 43: Curva rotura modelo escala real en vacío

Una vez obtenida la curva teórica de Fuerza-Desplazamiento del marco en vacío a escala real, observamos como la curva se asemeja en parte a la curva ajustada en el modelo de marco en vacío a escala reducida.

Una vez obtenida esta curva teórica, podemos ver cómo, al igual que en el modelo de marco en vacío a escala reducida, tenemos claros puntos de roturas o pérdidas de resistencia en el marco de hormigón. El primer punto de rotura se genera con un empuje de 40kN y un desplazamiento en el punto de aplicación de la fuerza en el marco de unos 3,5 mm. Como anteriormente citado, las primeras rótulas que se forman y como consecuencia la pérdida de resistencia en el marco, están ubicadas en las bases de los pilares, estas rótulas son las que mayor esfuerzo reciben mediante la técnica de empuje progresivo.

El segundo punto claro de pérdida de resistencia se genera con un empuje de 46kN y un desplazamiento en el punto de aplicación de la fuerza en el marco de unos 4,7 mm. En este punto siguen formándose rotulas tanto en las bases de los pilares como en las cabezas de los pilares y en los extremos de la viga superior.

El tercer y último punto de pérdida de resistencia se genera con un empuje de 53,5kN y un desplazamiento en el punto de aplicación de la fuerza en el marco de unos

11,5mm. En este punto siguen formándose rotulas tanto en las bases de los pilares cómo en las cabezas de los pilares y en los extremos de la viga superior.

Si comparamos estos resultados con respecto a los resultados obtenidos en el marco de hormigón a escala reducida, vemos como existe una clara disminución de la resistencia a cargas horizontales en el marco a escala real. Esto es debido a la diferencia en la sección asignada así como a la diferencia existente en las dimensiones del marco de hormigón.

Al igual que en el modelo de escala reducida, utilizaremos este marco de hormigón para el diseño del marco con relleno de mampostería y compararemos resultados posteriormente.

3.3. Marco en escala real con relleno

Una vez hemos modelizado de manera correcta el marco en vacío, lo siguiente es modelizar el interior del modelo de elementos finitos mediante la adición de la mampostería y todos los elementos que esto conlleva. Cabe recordar que partiremos de la base del ya creado modelo en vacío, por lo que las rótulas plásticas asignadas anteriormente serán las que utilicemos en adelante.

Extrapolaremos la manera en la que diseñamos el modelo de elementos finitos en el ensayo del modelo con relleno en tamaño reducido para poder obtener la curva de rotura de este modelo.

De la misma manera que en el modelo con relleno en tamaño reducido se ha usado una mampostería representativa de la tabiquería actual de uso en España. Se trata de ladrillo hueco de arcilla cocida de dimensiones nominales 330 x 160 x 70 x mm. Es común su uso para tabiquería interior o bien como capa interior en cerramientos exteriores. La fábrica se realiza a partir de las piezas descritas y mortero M 5 con juntas de 1 cm de espesor.

Tal y como desarrollado anteriormente, modelizaremos los elementos de unión entre los ladrillos de la mampostería y los elementos de unión entre la mampostería y el marco de hormigón mediante elementos de unión punto a punto.

Tras modelar estos elementos y realizar el ensayo estático no lineal, comprobamos que los elementos de unión punto a punto tendrán las mismas propiedades de resistencia pero no de no linealidad que los anteriormente citados para los modelos a escala reducida, tanto las dimensiones como las propiedades mecánicas de los ladrillos, el mortero, y el remate entre el marco de hormigón y la mampostería utilizados para la modelización a escala real son exactamente iguales que para la modelización a escala reducida, pero deberemos diseñar todos los elementos de unión de la mampostería con no linealidades tanto en la rigidez normal como en la rigidez transversal.

Por lo tanto, procedemos al diseño de los elementos de unión punto a punto para las diferentes zonas de la mampostería diferenciando entre las zonas de la cabeza y cama del ladrillo así como las rigideces normales y transversales de los elementos de unión al igual que en anteriores modelos.

- Zona interior de la fábrica.
 - Cabeza:

$$F_t = F_{mort} \cdot A_{cabeza} = 28000 \text{ N} = 28 \text{ KN}$$

$$d = \frac{F_t}{K_n} = 0.09 \text{ mm}$$

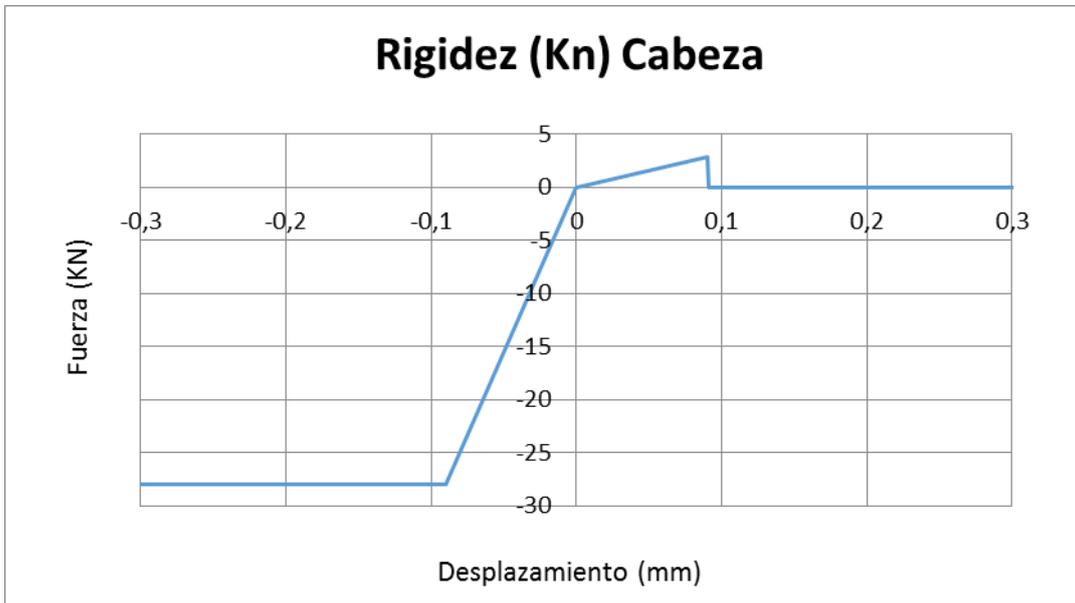


Ilustración 44: Grafica de no linealidad normal en la zona de cabeza del ladrillo

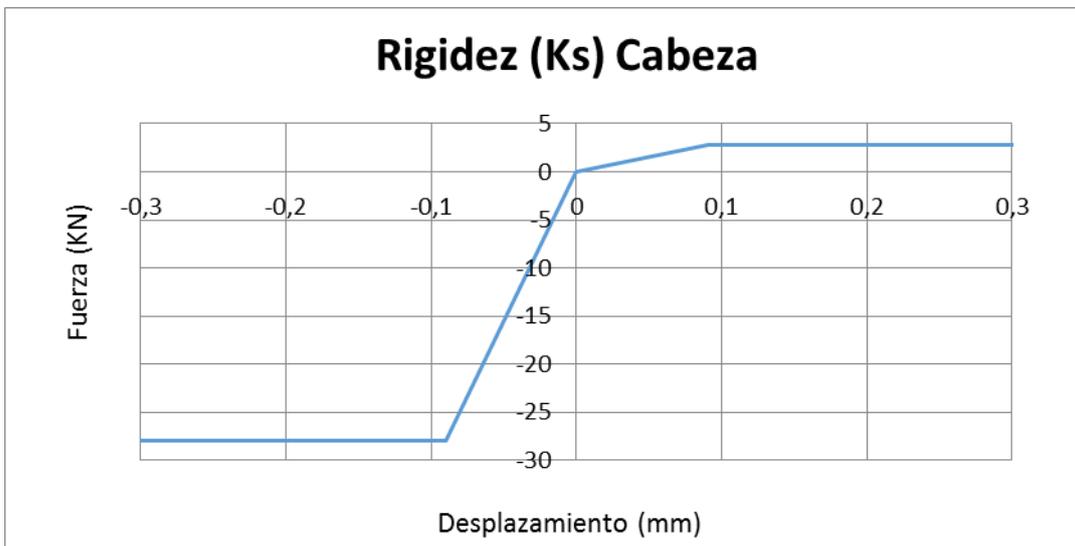


Ilustración 45: Grafica de no linealidad transversal en la zona de cabeza del ladrillo

- Cama:

$$F_t = F_{mort} \cdot A_{cama} = 57750 \text{ N} = 57.75 \text{ KN}$$

$$d = \frac{F_t}{K_n} = 0.09 \text{ mm}$$

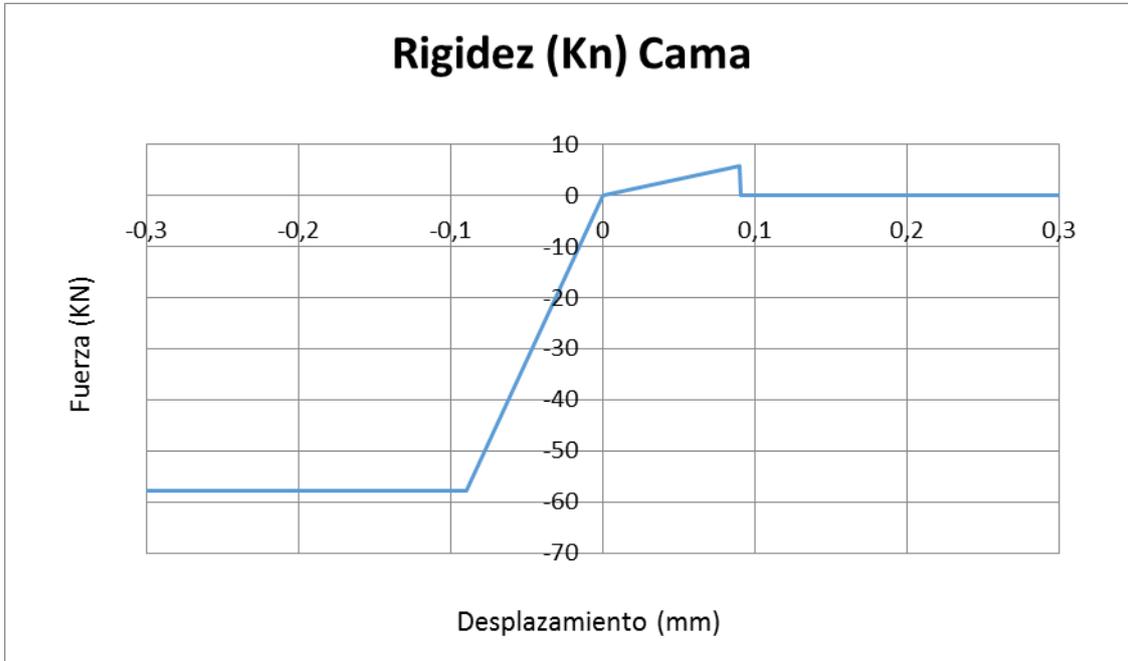


Ilustración 46: Grafica de no linealidad normal en la zona de cama del ladrillo

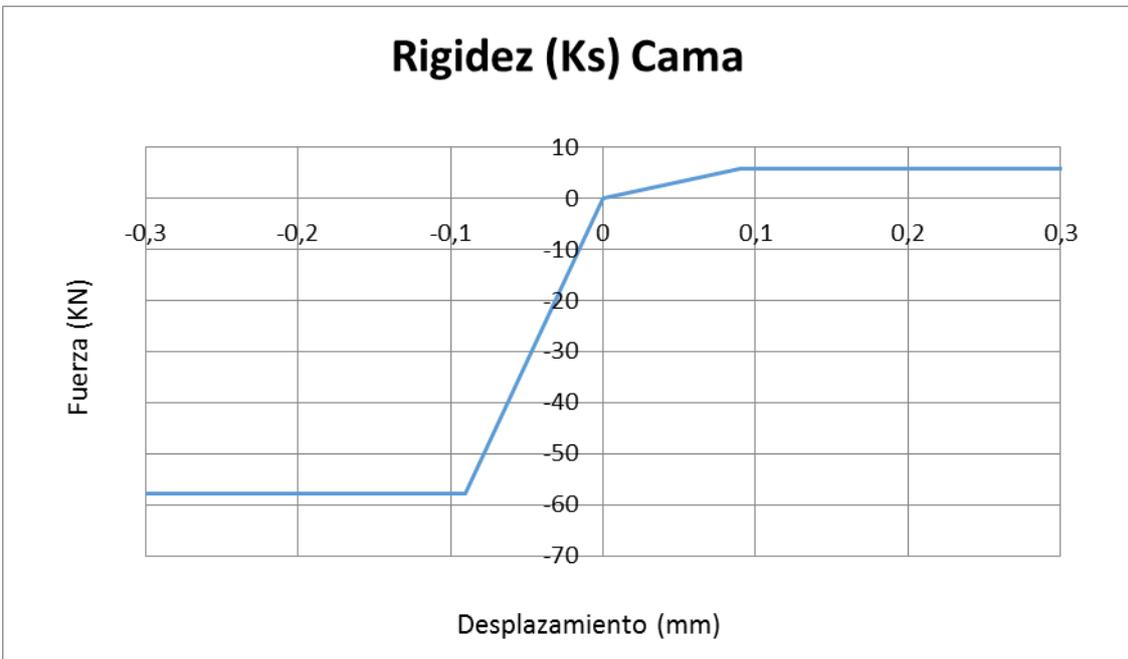


Ilustración 47: Grafica de no linealidad transversal en la zona de cama del ladrillo

- Zona de remate entre mampostería y marco de hormigón.

- Cabeza:

$$F_t = F_{mort} \cdot A_{cabeza} = 28000 \text{ N} = 28 \text{ KN}$$

$$d = \frac{F_t}{K_n} = 0.09 \text{ mm}$$

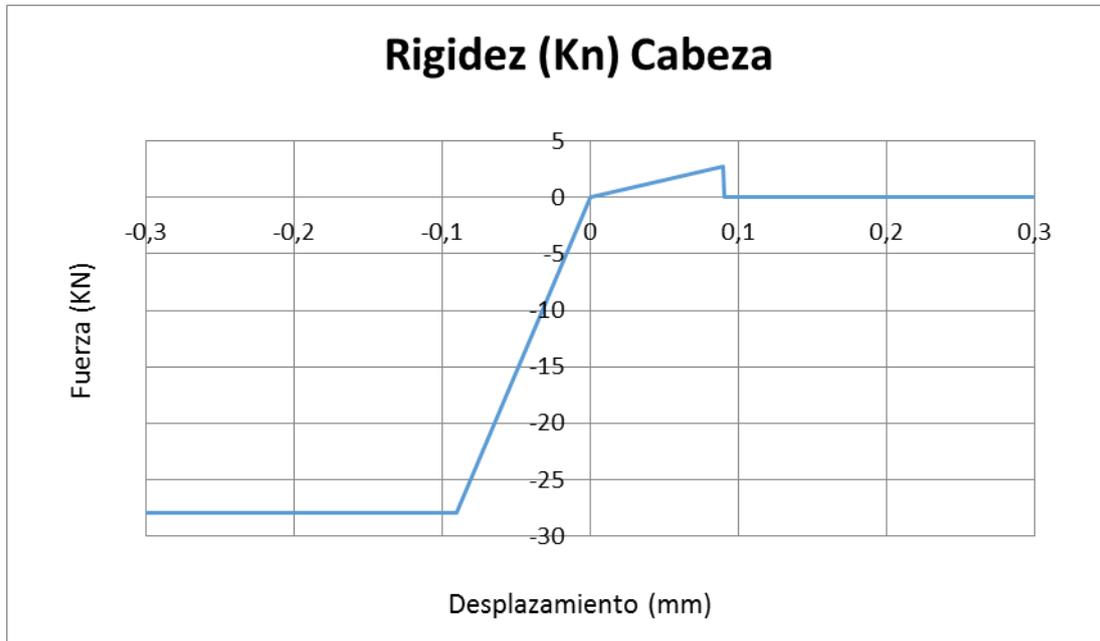


Ilustración 48: Grafica de no linealidad normal en la zona de cabeza del ladrillo

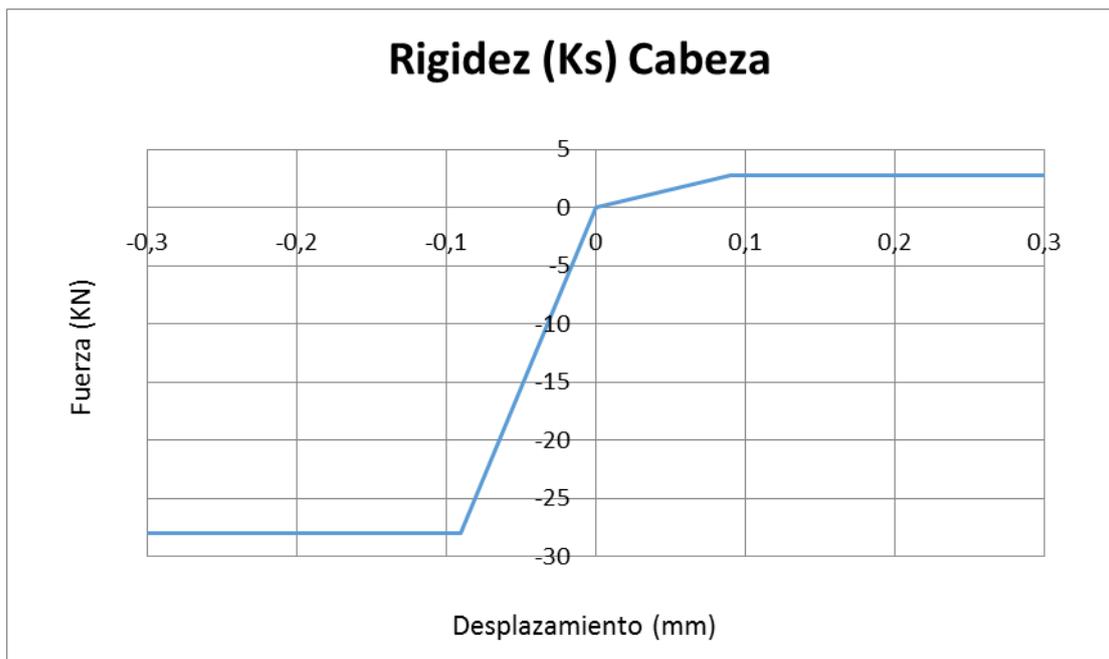


Ilustración 49: Grafica de no linealidad transversal en la zona de cabeza del ladrillo

- Cama:

$$F_t = F_{mort} \cdot A_{cama} = 57750 \text{ N} = 57.75 \text{ KN}$$

$$d = \frac{F_t}{K_n} = 0.09 \text{ mm}$$

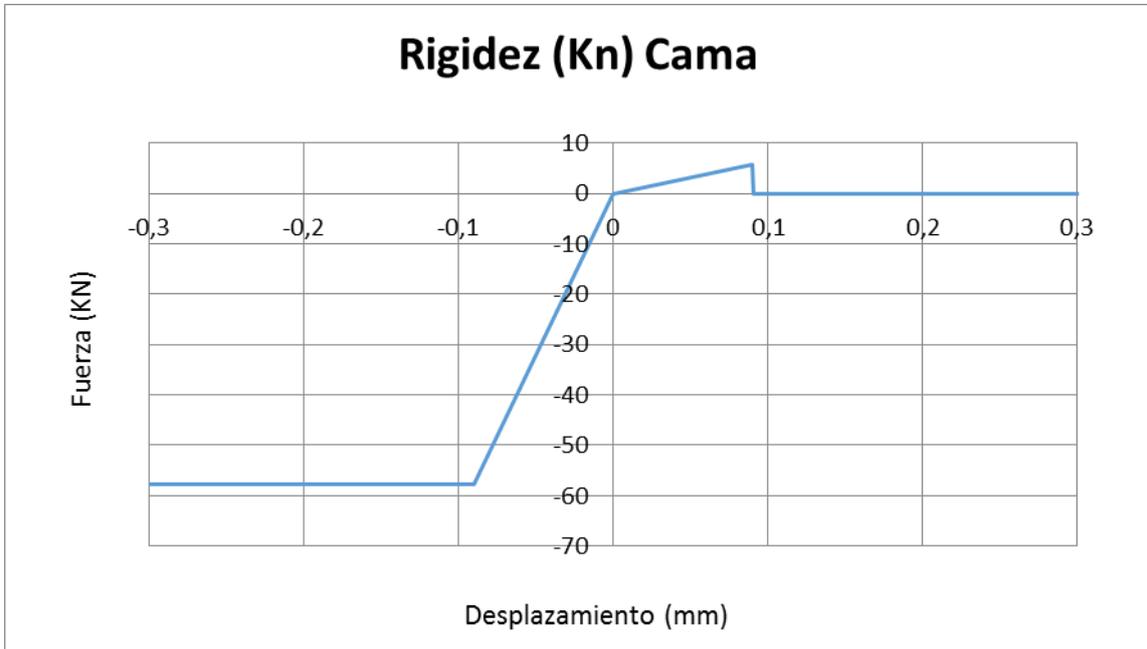


Ilustración 50: Grafica de no linealidad normal en la zona de cama del ladrillo

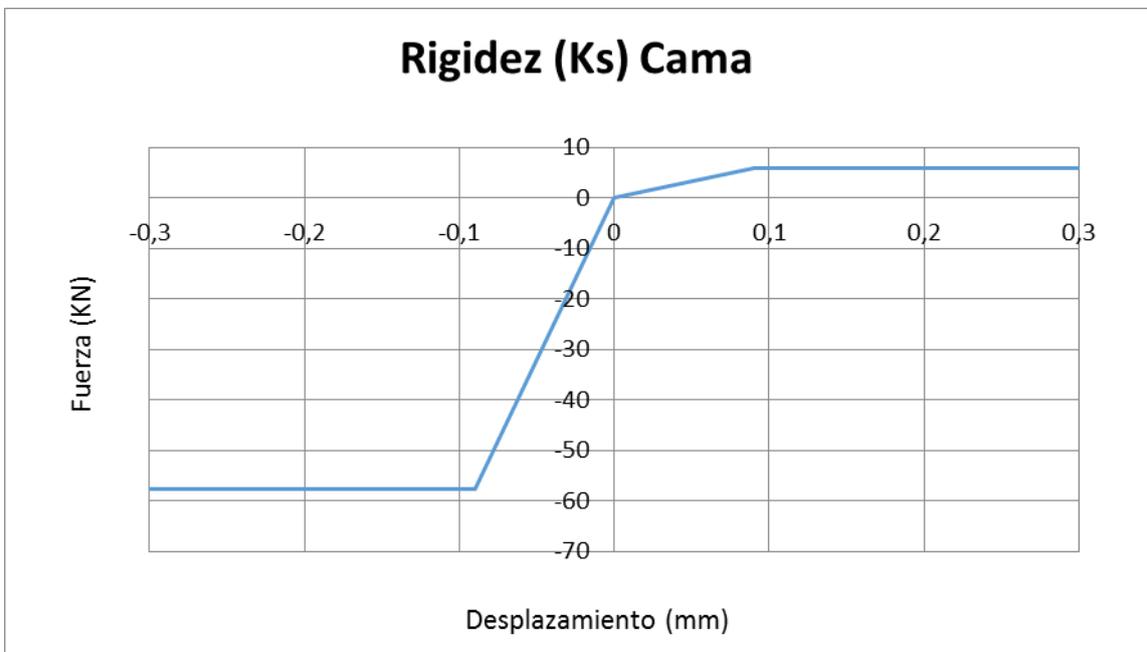


Ilustración 51: Grafica de no linealidad transversal en la zona de cama del ladrillo

- Zona de las esquinas en el remate entre mampostería y marco de hormigón.

$$F_t = F_{mort} \cdot A_{cabeza} = 28000 \text{ N} = 28 \text{ KN}$$

$$d = \frac{F_t}{K_n} = 0.09 \text{ mm}$$

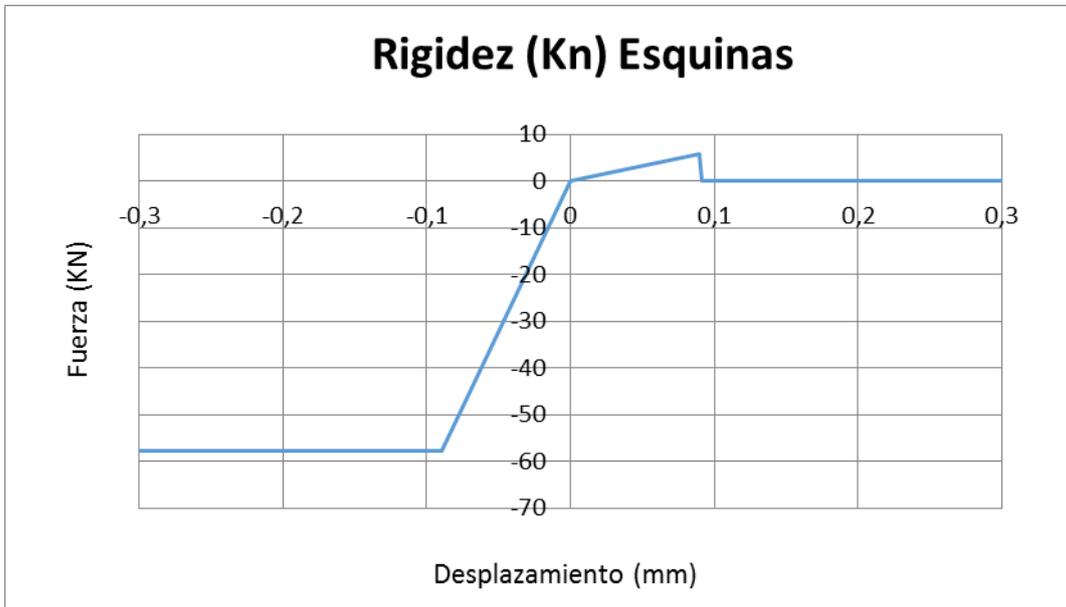


Ilustración 52: Grafica de no linealidad normal en la zona de esquinas del marco

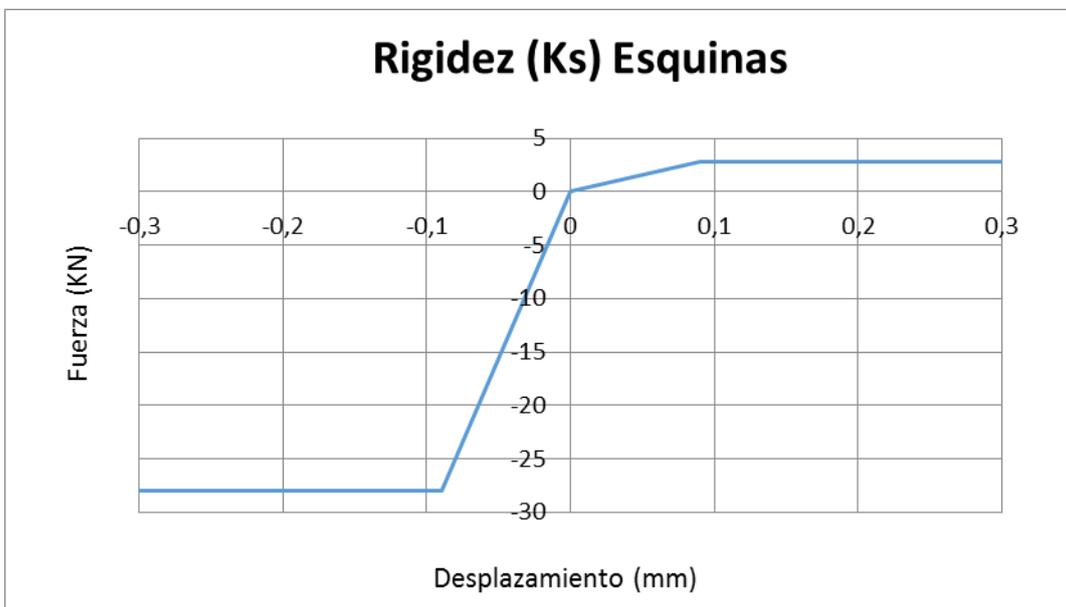


Ilustración 53: Grafica de no linealidad transversal en la zona de esquinas del marco

3.3.1. Análisis de resultados

Una vez introducida la mampostería con todos sus elementos, el modelo de elementos finitos queda representado en la ilustración 54.

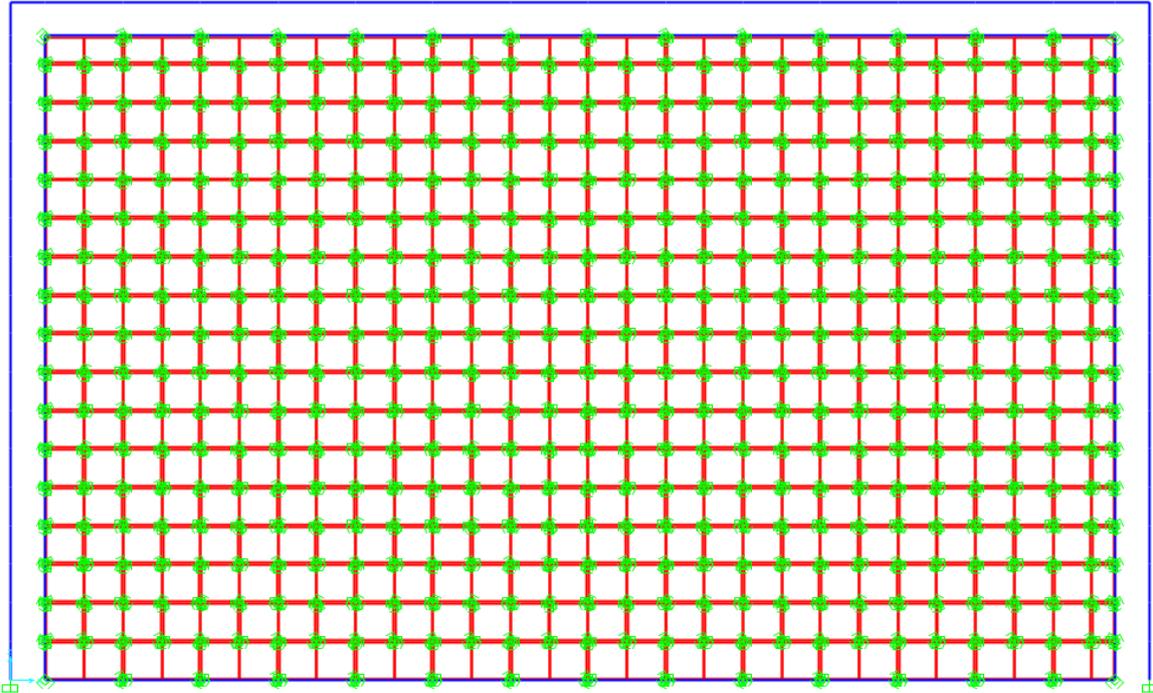


Ilustración 54: Modelo elementos finitos escala real con relleno

Una vez ejecutada la técnica de Push-over en nuestro modelo de elementos finitos mediante el programa informático, podemos observar la deformada del marco-mampostería en la ilustración 55.

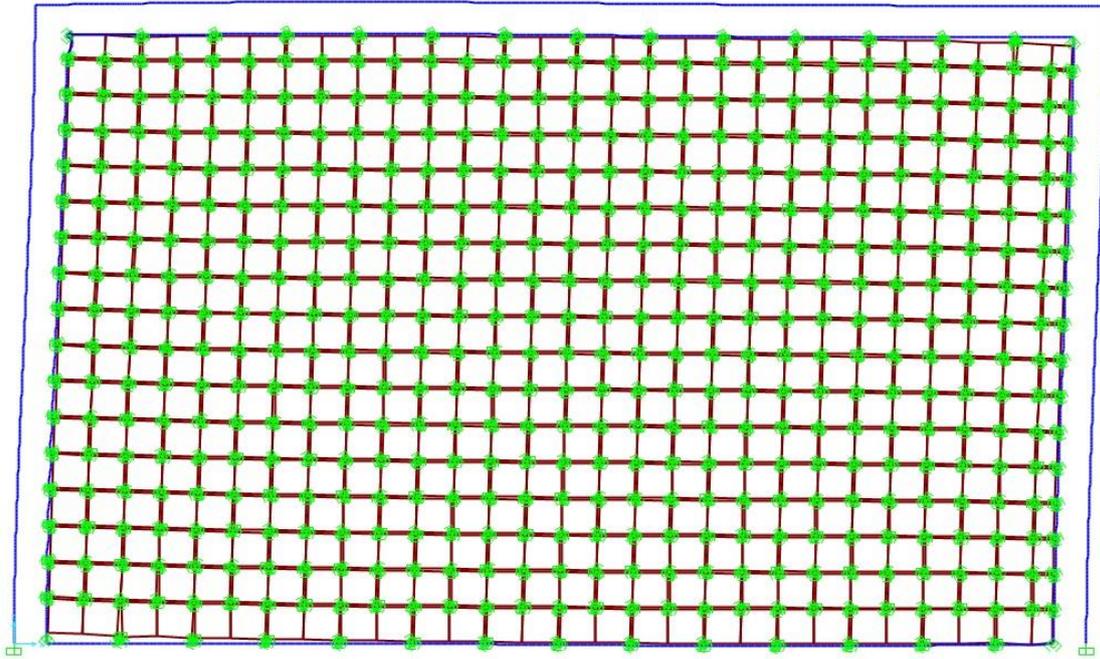


Ilustración 55: Modelo elementos finitos escala real con relleno

Podemos observar como nuevamente, al igual que en el modelo de elementos finitos a escala reducida, hay una clara zona de despegue de la mampostería respecto del marco de hormigón con la diferencia de que en este modelo vemos como son dos zonas las que se provoca dicho despegue. En este caso el despegue se provoca en dos zonas debido a las dimensiones del conjunto marco-mampostería.

Las zonas en las que ocurren son en aquellas que están sometidas a esfuerzos por tracción, en este caso esas zonas son las zona superior derecha y la zona inferior izquierda del conjunto. Esto es debido a que al aplicar la carga en la zona superior izquierda, se generan unas bielas de compresión diagonales dentro de la mampostería, las cuales veremos más adelante, que provocan que en esas zonas del marco se generen esfuerzos de tracción y por consiguiente, el despegue de la mampostería respecto del marco.

En la ilustración 56 se muestra la curva de rotura obtenida mediante el modelo de elementos finitos.

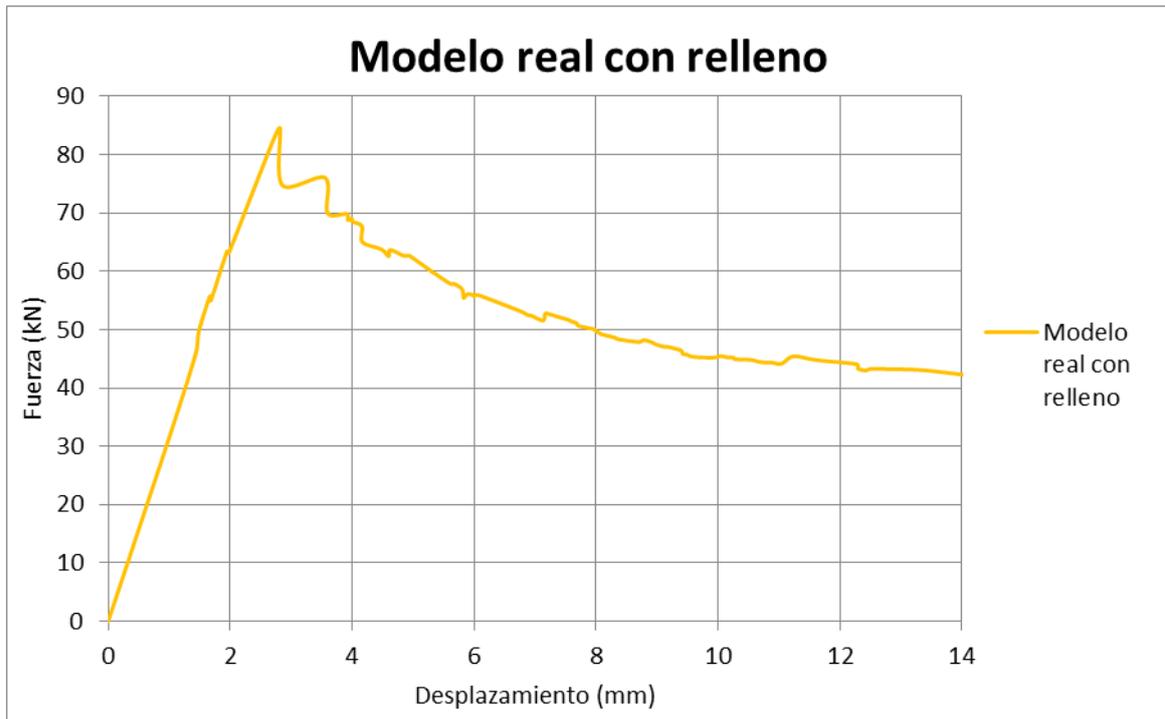


Ilustración 56: Curva rotura modelo escala real con relleno

Una vez obtenida la curva de rotura del modelo a escala real con relleno, observamos como el conjunto tiene un primer tramo elástico en el que el conjunto absorbe los esfuerzos.

Vemos como el modelo de elementos finitos representa bien la curva elástica hasta los 85kN y con un desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza en el marco de 3 mm aproximadamente.

En este instante el conjunto comienza a perder resistencia debido a las roturas que se suceden en la mampostería así como en el marco de hormigón durante el desplazamiento en el ensayo estático no lineal. Varias zonas del mortero comienzan a romper por tracción, por lo que el programa informático mediante el modelo de elementos finitos tiene dificultades para encontrar una solución. A partir de este instante el modelo comienza a perder carga.

La realidad es que los ladrillos también deberían romperse y tener un comportamiento lineal, ya que a compresión también deben romper, no considerado esto en nuestro modelo.

Por lo tanto, la gráfica obtenida es considerada como válida hasta el inicio de la pérdida de resistencia, Una vez pasado este punto en el que el conjunto comienza a perder resistencia no es representativo para nosotros. No obstante esto resulta suficiente para el objetivo de este trabajo, que es obtener una carga máxima y evaluar el comportamiento y la variación de rigidez en un régimen lineal.

3.4. Marco en escala real con dispositivo de aislamiento sísmico

Una vez hemos modelizado el marco a escala real con relleno, lo siguiente será modelizar de nuevo un mismo conjunto marco-mampostería, añadiendo en unas zonas determinadas nuestro dispositivo de aislamiento sísmico.

Partiremos de la base del modelo anteriormente creado a escala real con relleno, para añadirle nuestra propuesta de un dispositivo de aislamiento sísmico capaz de absorber los distintos desplazamientos durante un sismo. Más adelante explicaremos con detalle en que consiste dicho dispositivo.

Para ello, modelizamos el dispositivo en el programa informático mediante un elemento Shell (Placa) del mismo método que para la modelización del ladrillo común, y de esta manera conseguir una correcta unión entre los ladrillos y el dispositivo dentro de la fábrica.

En el modelo de elementos finitos diseñado anteriormente, añadiremos nuestro dispositivo a las zonas de las esquinas de la mampostería. Tal y como nombrado anteriormente, y como veremos con más profundidad en apartados siguientes, mediante esta técnica de empuje progresivo, al aplicar la carga en la zona superior izquierda del marco, se generan esfuerzos que forman unas bielas de compresión diagonales en la mampostería. Estas bielas se forman desde el punto de aplicación de la carga hasta la esquina contraria de la mampostería, siendo esta la zona inferior derecha.

De tal forma, y como hemos visto en apartados anteriores, en las esquinas opuestas a estas se generan esfuerzos por tracción.

Se ha podido observar y comprobar durante la modelización de los ensayos a escala reducida como durante el diseño de los modelos de a escala real, que las zonas más críticas frente a un ensayo estático no lineal mediante acciones horizontales son las esquinas de la mampostería. Por esto, las ubicaciones asignadas para nuestro dispositivo propuesto serán en las esquinas de la mampostería.

En la ilustración 57 se muestra el conjunto marco-mampostería. Las zonas sombreadas representan las ubicaciones de nuestro dispositivo aislante sísmico, en estas zonas se ha sustituido el ladrillo convencional por nuestro dispositivo. La zona no sombreada representa las ubicaciones del ladrillo convencional.

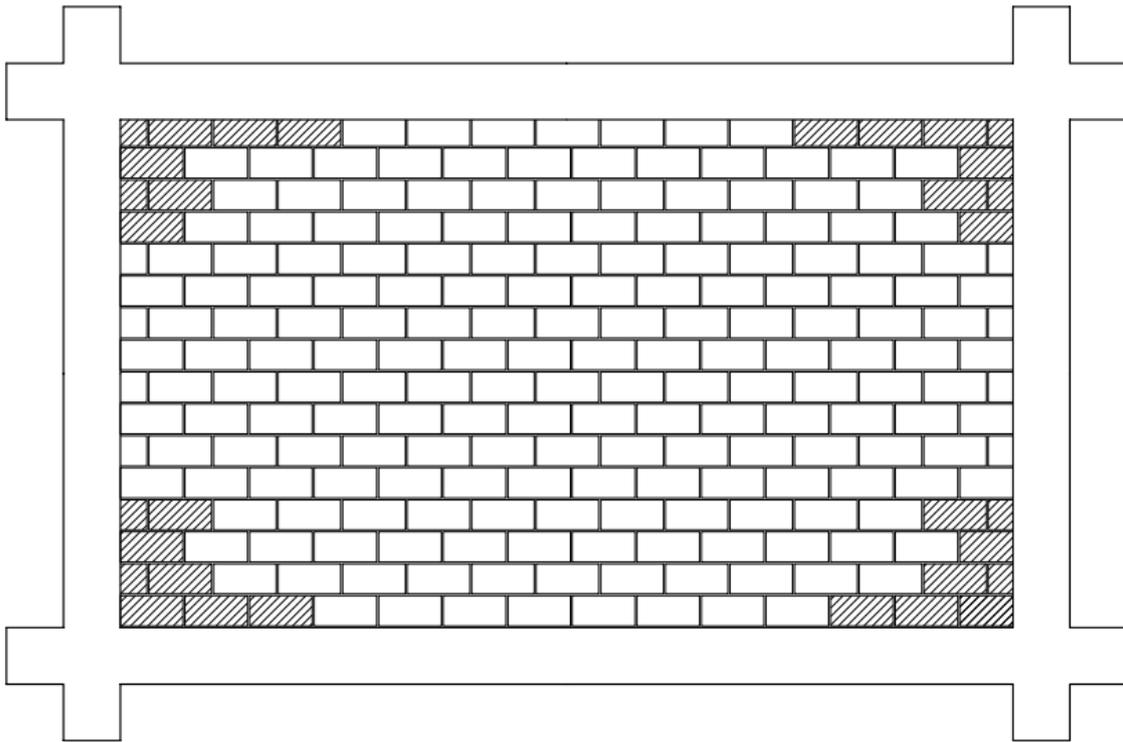


Ilustración 57: Ubicación dispositivo aislante sísmico

3.4.1. Análisis de resultados

Definido y diseñado el modelo de elementos finitos obtenemos la curva de rotura del modelo real con el dispositivo representada en la ilustración 58.

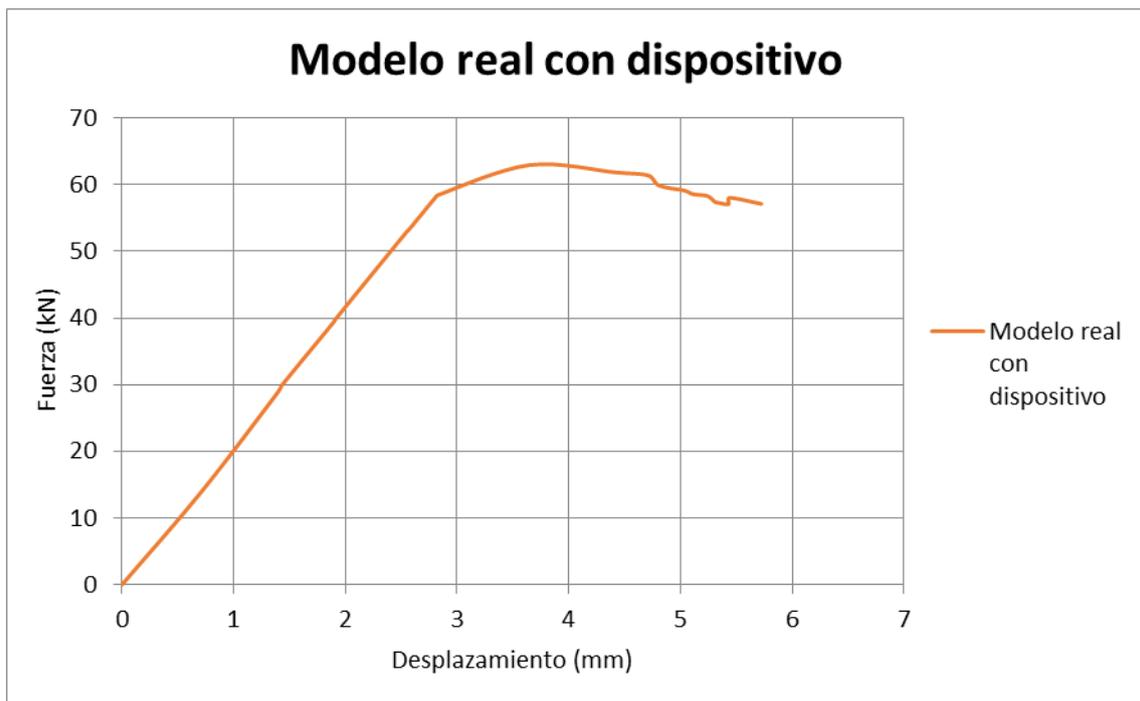


Ilustración 58: Curva rotura modelo escala real con dispositivo aislante sísmico

Del mismo modo que en la obtención de la curva de rotura para el marco real con relleno, observamos como el conjunto tienen un primer tramo elástico en que el conjunto absorbe los esfuerzos.

Vemos nuevamente, en el caso de este modelo, como el modelo de elementos finitos representa bien la curva elástica hasta los 63KN con un desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza de 4 mm aproximadamente.

De igual manera que en el ensayo anterior, en este instante el conjunto comienza a perder resistencia debido a las roturas que se suceden en la mampostería así como en el marco de hormigón durante el desplazamiento en el ensayo estático no lineal. Varias zonas del mortero comienzan a romper por tracción, por lo que el programa informático mediante el modelo de elementos finitos sigue teniendo dificultades para encontrar una solución. A partir de este instante el modelo comienza a perder carga.

Por lo tanto, la gráfica que obtenemos es válida únicamente hasta el inicio de la pérdida de resistencia ya que una vez pasado este punto, los valores obtenidos a partir de ahí no son representativos para nosotros ni para nuestro objetivo en el trabajo.

3.5. Comparación de resultados

Una vez obtenidas las curvas de roturas de los diferentes modelos planteados y realizados a escala real, procederemos a comparar entre ellos dichos resultados.

Mediante la ilustración 59 podemos observar la diferencia entre las distintas curvas de rotura. Como anteriormente citado, únicamente nos fijaremos en la zona en la que los modelos se encuentran en la zona de trabajo elástica, ya que nuestro objetivo es comprobar la influencia de nuestro dispositivo sísmico en un conjunto marco-mampostería frente a un conjunto marco-mampostería común y un marco en vacío.

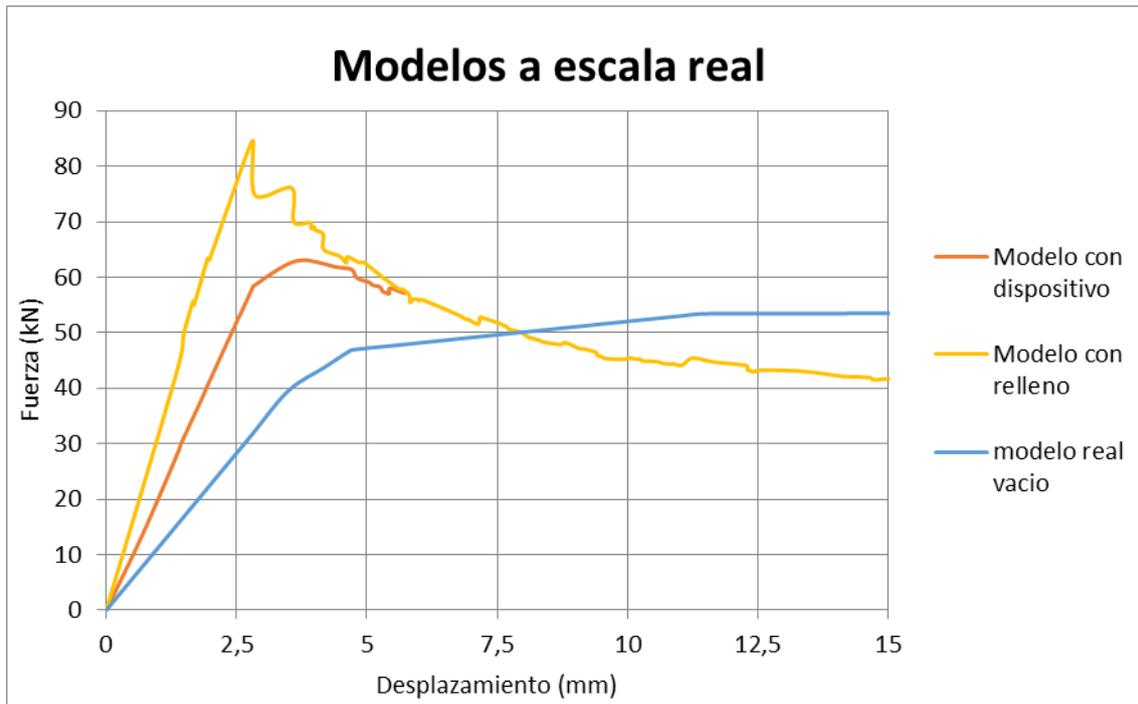


Ilustración 59. Comparación de curvas de rotura modelos a escala real

Como podemos observar, las curvas obtenidas poseen distintas pendientes debido a sus diferentes rigideces. Es importante observar esa variación en la rigidez entre los diferentes ensayos ya que esta es la razón principal por la cual un cerramiento o partición, tabiquería común utilizada durante este estudio, al no ser calculada de manera estructural, podría afectar a la propia estructura en presencia de acciones sísmicas o acciones horizontales.

Mediante la ilustración 59 analizamos y comprobamos las curvas de rotura obtenidas entre ellas:

- La curva de rotura obtenida del marco en vacío a escala real hasta lo que el momento último se refiere, observamos que esta es de valor inferior a las curvas de los modelos con relleno, esto es debido a su menor rigidez y a la falta del relleno de mampostería, con lo cual obtenemos una curva en la que el valor del momento último es menor.
- La curva de rotura obtenida a raíz de la adición de la mampostería al modelo del marco en vacío a escala real vemos como tiene un valor de momento último mayor al momento último del marco en vacío. La mampostería provoca un aumento de este valor del modelo alrededor del 60%.
- Por último, en la curva de rotura una vez incluido nuestro dispositivo aislante sísmico en la mampostería, podemos comprobar como el valor del momento último se reduce respecto al modelo con mampostería de ladrillo común. Con esto podemos decir que una vez incluido el dispositivo en la mampostería,

dependiendo de la cantidad de elementos añadidos, el modelo tiende a comportarse como un modelo con el marco en vacío, reduciendo la rigidez del conjunto marco-mampostería, siendo este nuestro objetivo buscado.

4. Conclusiones

4.1. Modelo de elementos finitos

Los modelos de elementos finitos son útiles para resolver una gran cantidad de problemas de ingeniería. En este caso el problema a resolver ha sido la resolución de simulaciones estáticas no lineales. Cada uno de estos problemas o simulaciones nos han aportado una gran cantidad de resultados a partir de los cuales se puede saber el comportamiento de la tabiquería.

En este caso, la construcción del modelo por elementos finitos ha supuesto una gran parte del trabajo a realizar. La modelización y su complejidad han hecho que esta parte fuese una de las que más tiempo ocuparan. La importancia del proceso de modelización e interacción tanto en los marcos de hormigón como en la tabiquería es básica, porque la gran mayoría de los fallos que se producen en la resolución del modelo se generan en esta etapa. Por tanto, es fundamental que se construya el modelo bien desde un principio para evitar estos fallos, que son difíciles de detectar y de resolver, empleando gran cantidad de tiempo en la simulación y estudio de un modelo.

Los elementos y el método de modelización a utilizar son fundamentales en el comportamiento de la estructura. De ello depende la fiabilidad de los resultados.

El comportamiento más o menos parecido a la realidad, dependerá del grado de exactitud que queramos dar al modelo y de los resultados que se quieran obtener, desde una pequeña orientación del comportamiento hasta una especificación de diseño. En nuestro caso, los resultados tienen una gran similitud a los que se producen en el modelo a escala reducida y por lo tanto, tras las correctas extrapolaciones, pueden ser utilizados como base fiable para diseñar los modelos a escala real.

4.2. Rigidez

La introducción del relleno en los modelos de elementos finitos en escala reducida supone un claro aumento medio de la rigidez en el marco de hormigón con un relleno de mampostería a base de ladrillos de arcilla hueca cocida y mortero M5.

Los valores teóricos calculados de rigidez son mayores a los experimentales obtenidos debido a que teóricamente no se tienen en cuenta factores que se producen mientras la aplicación de esfuerzos al hormigón, como puede ser la fisuración, o los diferentes factores que pueden afectar y ocasionar una resistencia algo menor a la teórica durante su proceso de fabricación.

La deformación en los pilares del marco de hormigón en vacío es considerablemente mayor que en los casos de los modelos de elementos finitos de marco de hormigón con relleno de mampostería.

4.3. Carga última

La carga última al igual que la rigidez ha aumentado con la introducción del relleno de mampostería en los modelos. La inclusión del relleno provoca al igual que un aumento de la rigidez, un aumento en la carga última de servicio de los conjuntos marco-mampostería.

La carga última teórica de las secciones obtenidas mediante el prontuario informático han sido en general mayores que las experimentales al modelar las rótulas para los modelos de marco en vacío y marco con relleno a escala reducida debido a los diversos factores nombrados en el apartado de la rigidez. Para los modelos en escala real se han supuesto y diseñado las rotulas con los valores obtenidos teóricamente.

4.4. Diseño del dispositivo aislante

Para el diseño del dispositivo aislante se ha introducido en el marco de mampostería unas dimensiones de igual tamaño al ladrillo convencional utilizado durante este ensayo.

Diseñando el dispositivo con una elasticidad mayor al ladrillo convencional y con una serie de materiales que faciliten ese aumento de elasticidad, sin mermar su resistencia, incluyéndolo dentro de la mampostería, vemos como el dispositivo trabaja para que la rigidez del conjunto así como la carga última sea menor.

El dispositivo cumple con nuestro objetivo de aislar el marco de hormigón de la mampostería interior, ya que al incluir el dispositivo, el conjunto se aproxima al comportamiento frente a esfuerzos horizontales de un marco en vacío. Este comportamiento del marco de hormigón con el dispositivo aislante es el buscado ya que al diseñar una estructura aperticada, el relleno interior no se tiene en cuenta.

4.5. Localización del dispositivo

En cuanto a la localización del dispositivo dentro del conjunto marco-mampostería, vemos como las zonas escogidas para incluir el dispositivo son las correctas.

Más adelante entraremos en detalle de los esfuerzos que se generan cuando se aplica una carga horizontal en un tabique de mampostería, pero como hemos comentado anteriormente a groso modo, las formaciones de bielas de compresión diagonales en determinadas zonas, así como la generación gracias a estas de esfuerzos de tracción en distintas zonas a las anteriores de la mampostería, deja ver como las zonas más críticas del conjunto marco-mampostería son las esquinas.

Por lo tanto creemos correcta la localización de nuestro dispositivo aislante en las zonas de las esquinas, al ser estas, las zonas más críticas del conjunto.

5. Dispositivo de aislamiento sísmico

En esta parte del proyecto, procederemos a describir el dispositivo propuesto por el que se ha realizado estos estudios previos y estas modelizaciones y por lo tanto el objetivo de este proyecto.

La tabiquería interior de las viviendas es habitualmente considerada como elementos no estructurales por muchas normativas sismoresistentes, por lo que por norma general no suele tenerse en cuenta en los diseños y los cálculos de las numerosas edificaciones en nuestro tiempo. Sin embargo, numerosos artículos de investigación y la observación de los daños producidos por terremotos en edificios dejan ver como la tabiquería no estructural tiene una gran influencia en el comportamiento sísmico de un edificio, pudiendo llevar a fallos estructurales no previstos al no haber sido calculados y diseñados en base a ellos.

La normativa nos indica que cualquier elemento que tenga posibilidad de influir en la respuesta sísmica de una edificación o estructura, debe considerarse en los cálculos y diseños, y de no ser así, deben aislarse sísmicamente del resto de la estructura para que no influya en su respuesta sísmica. En la ilustración 60 se muestra la respuesta de un pórtico frente a acciones horizontales.

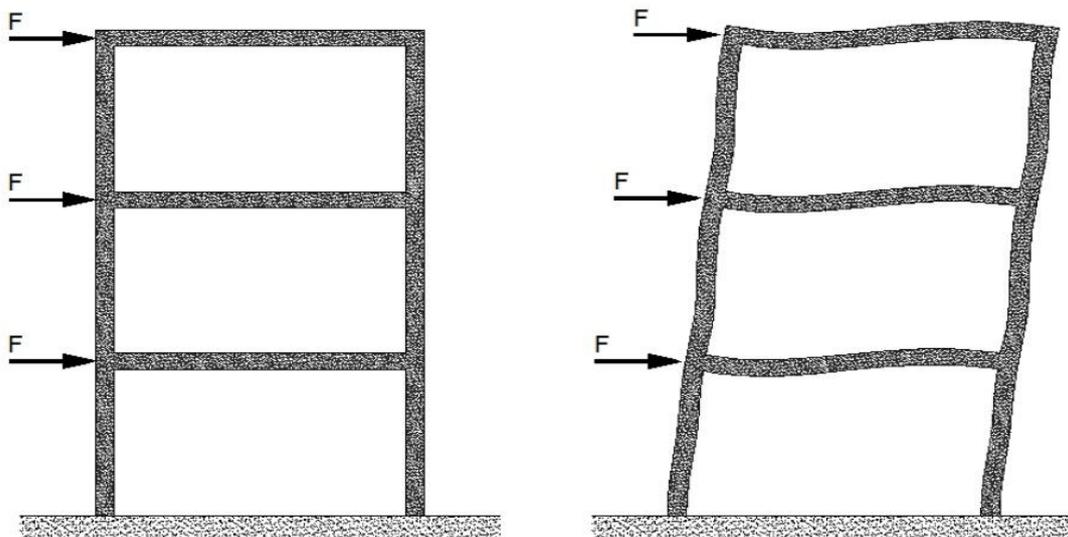


Ilustración 60: Respuesta de un pórtico frente a acciones horizontales

Sin embargo, la gran mayoría de veces, a falta de otros condicionantes, su consideración en los cálculos no suele ser adecuada, debido a que la tabiquería interior puede existir o no, quitarse o ponerse según los gustos o necesidades de los propietarios de las viviendas. Además, reproducir el comportamiento mecánico de la tabiquería es un problema realmente complejo y sin solución en la actualidad, sin la

existencia de modelos prácticos que representen de manera correcta el comportamiento de la mampostería o la tabiquería en caso de ser sometido a esfuerzos debidos a un sismo, y recojan el daño que se produce durante la duración de este.

Por ello, es razonable intentar investigar y determinar el aislamiento sísmico de la tabiquería interior respecto la estructura del edificio para evitar su interacción en posibles acciones no previstas.

Dicho esto, el factor principal a tener en cuenta en el diseño del dispositivo es la llamada respuesta estructural sísmica, debido a que cuando se produce un terremoto sobre un edificio construido a base de pórticos de hormigón armado o a base de pórticos metálicos, se produce un desplazamiento horizontal entre una planta y la siguiente, denominado comúnmente como deriva. La deformación y los esfuerzos que se producen debido de las acciones horizontales generadas sobre la estructura resistente suelen tenerse en cuenta en los cálculos sísmicos. Sin embargo, cuando los pórticos se encuentran rellenos con tabiques o mamposterías de ladrillo, en la estructura se produce un aumento en la rigidización del conjunto estructura-mampostería y la respuesta estructural sísmica es distinta a la respuesta calculada en el diseño de la estructura sin haber considerado la tabiquería interior. La deriva de cada planta produce esfuerzos horizontales en la tabiquería, lo que se traduce en la generación de unas bielas de compresión cuyos extremos terminan en la cabeza y base de los pilares que conforman cada conjunto marco-mampostería. En la ilustración 61 podemos observar dicho fenómeno.

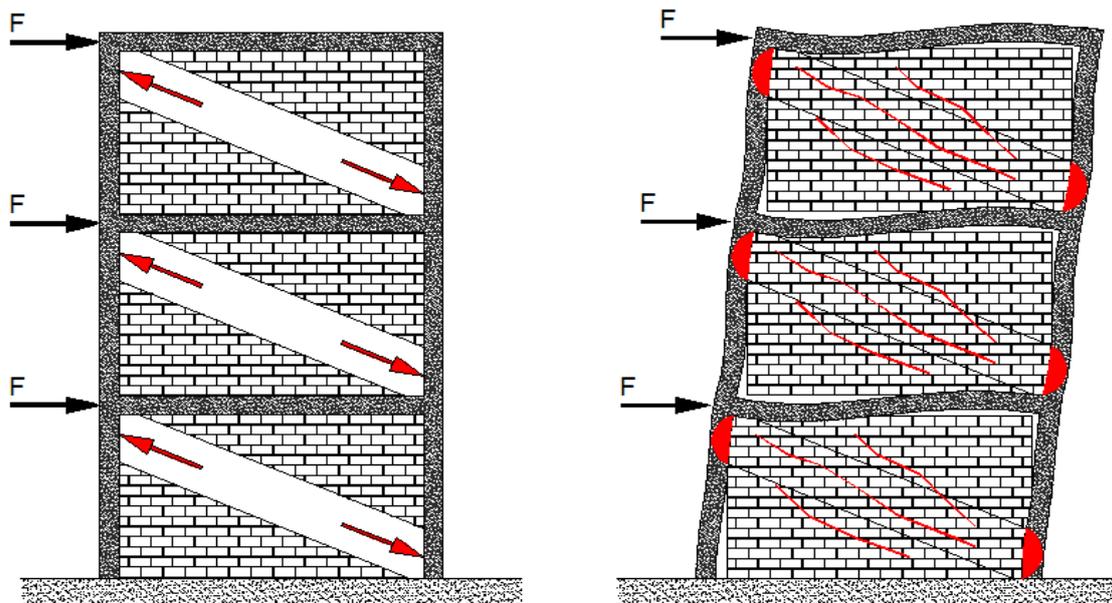


Ilustración 61: Formación de bielas de compresión

Como dicho anteriormente, en esta sección comprobamos como las esquinas son los puntos de mayores esfuerzos y por lo tanto los más críticos de la tabiquería. Al sustituir la mampostería convencional en esta zona, por nuestro elemento de aislamiento sísmico, conseguimos reducir en gran medida dichos esfuerzos críticos, así como la formación de esas bielas de compresión. También se facilita el giro de los nudos interiores y se permite la deformación del marco o del pórtico sin influencia de la tabiquería, tal y como hemos visto en los resultados mediante los modelos de elementos finitos, en los que la curva de comportamiento hasta la carga última, el pórtico con el dispositivo de aislamiento sísmico tiende a asemejarse a un pórtico en vacío, tal y como se diseñan y calculan previamente las estructuras, sin tener en cuenta la tabiquería, proporcionando una mayor seguridad al proteger este tipo de tabiquerías interiores.

El dispositivo propuesto es un aislador sísmico con forma de ladrillo o bloque convencional, como anteriormente citado. Está formado por una matriz y unos materiales los cuales por su especial formulación, le confiere propiedades para conseguir el aislamiento sísmico necesitado. El dispositivo está compuesto a base de una serie de materiales como resinas que permiten al material deformarse y absorber dichas deformaciones y esfuerzos provocados por las acciones horizontales y así mitigar los desplazamientos relativos de la estructura sobre el tabique de ladrillo, dotando al conjunto marco-mampostería de una menor rigidez, consiguiendo de esta manera que el conjunto tienda a portarse como un marco en vacío, tal y como calculado en base a la norma de construcción.

El módulo elástico propuesto para este dispositivo se ha considerado con un rango de valores de:

$$E = 80 - 200 \text{ MPa}$$

Para el diseño de las dimensiones del dispositivo se ha partido de la base de un ladrillo representativo de la tabiquería actual de uso en España, y tomado como base las dimensiones de los ladrillos en los previos ensayos a las modelizaciones de los marcos en escala reducida. Sus dimensiones nominales son 330 x 160 x 70 x mm. Estas medidas son comunes en el diseño de tabiquería interior o bien como capa interior en cerramientos exteriores, por lo que podremos adaptarlo perfectamente para este tipo de usos.

A la absorción de dichos esfuerzos y desplazamientos también contribuyen los elementos insertados en su matriz, estos elementos insertados son una cierta cantidad de barras corrugadas de pequeño diámetro y así obteniendo unas propiedades mejoradas para el comportamiento tanto fuera del plano como dentro de los planos normales de trabajo.

En la ilustración 62 podemos observar el diseño del dispositivo de aislamiento sísmico propuesto en alzado planta y perfil. El diseño y su localización pueden verse con mayor claridad en el plano 2.

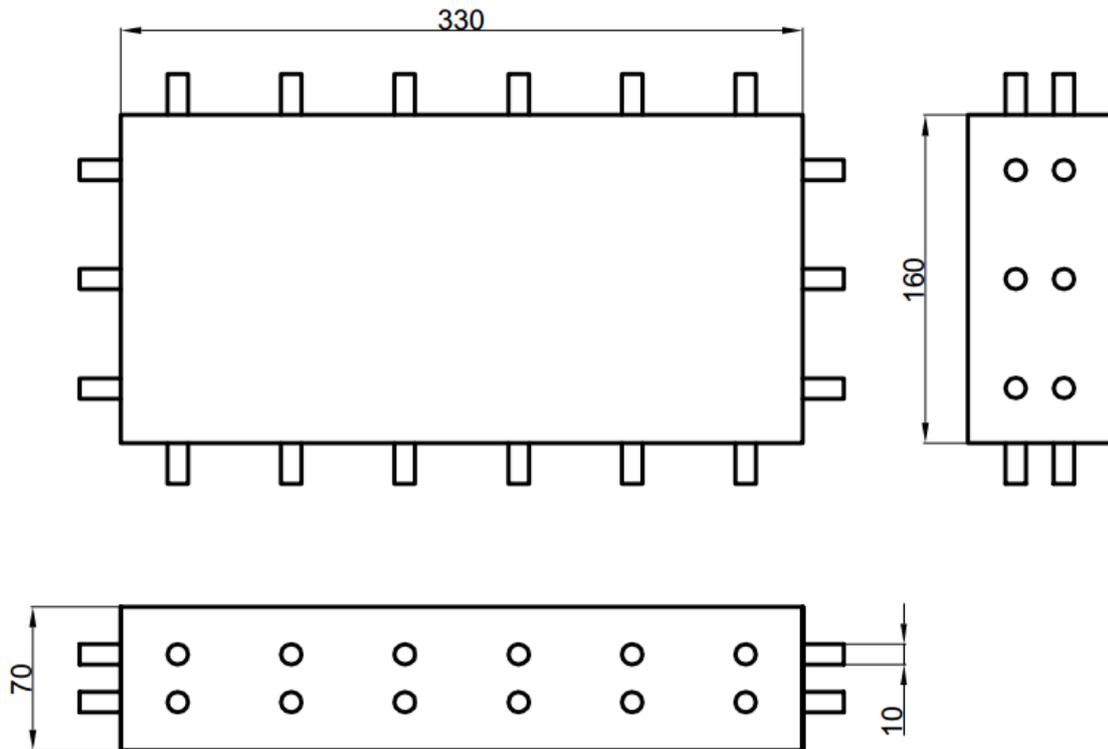


Ilustración 62: Dispositivo de aislamiento sísmico

Por otra parte, debemos hablar también del espectro elástico de respuesta. Un espectro de respuesta es un valor utilizado en los diseños de edificaciones que mide la respuesta de una estructura ante la presencia de un sismo o de una vibración del suelo. El espectro elástico de respuesta utilizado en construcción se mide la aceleración de la estructura frente a estos fenómenos.

Cuando una estructura recibe la vibración del terreno o el sismo, esta empieza a vibrar. En una estructura completamente rígida, la vibración en ella sería la misma vibración que transmitirá el terreno. Dado que, las estructuras siempre tienen una cierta elasticidad, no obtendremos las mismas vibraciones, por lo que la aceleración en el terreno y en la estructura tampoco serán las mismas.

A modo de ejemplo, podemos proponer una situación, y calcular los espectros elásticos de respuesta de manera que podamos observar cómo sería el comportamiento de nuestros ensayos de marcos de hormigón en cuanto a respuesta elástica se refiere, frente a una vibración del terreno o un sismo.

Tenemos una serie de marcos de hormigón que se encuentran en la zona de Valencia. El coeficiente del terreno sobre el que están los marcos de hormigón es de tipo roca compacta, suelo cementado o granular muy denso. Con esto obtenemos el coeficiente de clasificación del terreno (C), así como el coeficiente de contribución (K), para poder determinar los periodos característicos del espectro de respuesta (T_A, T_B).

Ambos coeficientes tienen valor igual a la unidad al tratarse de un suelo cementado, y estar ubicado en Valencia.

Por lo tanto:

$$T_A = K \cdot \frac{C}{10} = 0.1 \text{ seg.}$$

$$T_B = K \cdot \frac{C}{2,5} = 0.15 \text{ seg.}$$

Dónde:

K : Coeficiente de contribución.

C : Coeficiente de clasificación del terreno.

(T_A, T_B) : Periodos característicos del espectro de respuesta.

Con lo cual quedan definidos nuestros periodos característicos del espectro de respuesta para nuestro tipo de terreno y zona geográfica. Podemos observar el espectro elástico de respuesta en la ilustración 63.

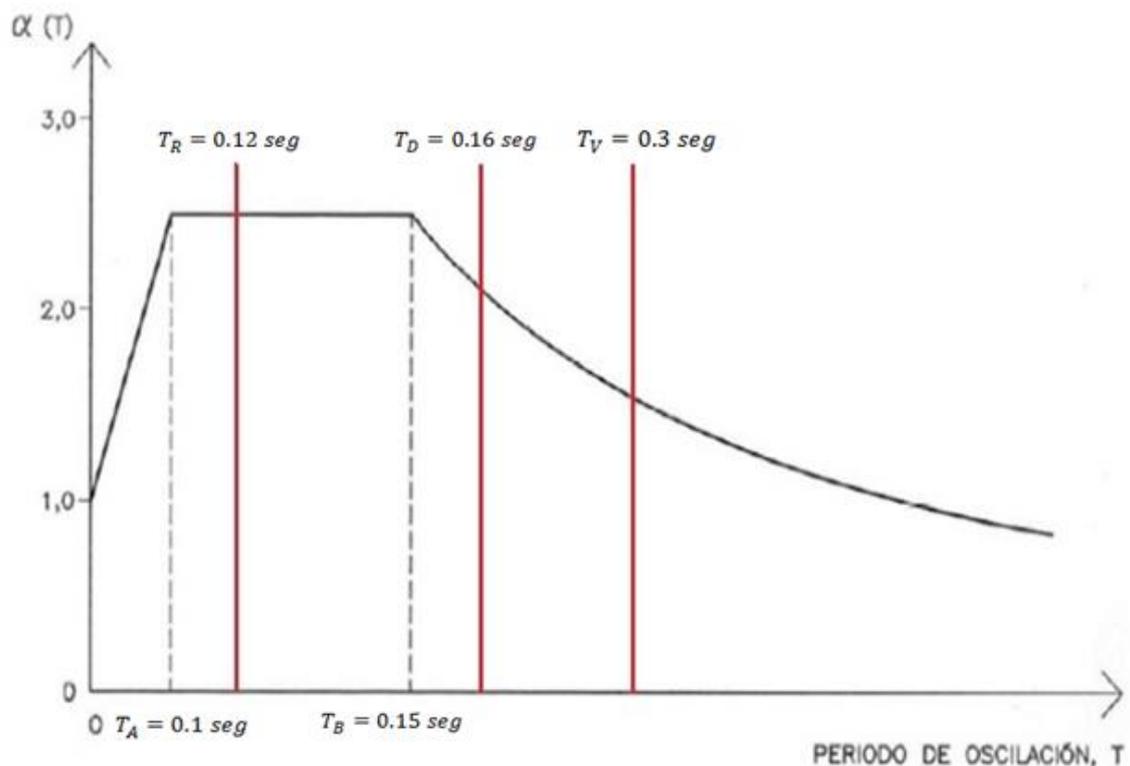


Ilustración 63: Espectro elástico de respuesta

Una vez obtenidos nuestros periodos característicos del espectro, procedemos a calcular el valor de aceleración de nuestro espectro de respuesta. Suponemos que nuestro modelo de marco de hormigón en vacío a escala real tiene un periodo propio de oscilación $(T) = 0,3 \text{ seg}$.

Por lo tanto:

$$T_A \leq T \leq T_B \rightarrow \alpha(T) = 2.5$$

El espectro de respuesta elástica para nuestro caso con unos periodos característicos de entre 0,1 y 0,4 segundos y periodo de oscilación de 0,3 segundos es $S = 2,5 \cdot a$. Esto implica que si un sismo tiene una aceleración sísmica de $1 \frac{m}{s^2}$, el espectro elástico de respuesta es de $2,5 \frac{m}{s^2}$, lo que implica que la estructura que reciba ese terremoto se diseñará para una aceleración de la vibración de $2,5 \frac{m}{s^2}$.

Ahora bien, habiendo supuesto que nuestro modelo de marco de hormigón en vacío a escala real tiene un periodo propio de oscilación $(T) = 0,3 \text{ seg}$, podemos obtener mediante iteraciones los periodos propios del resto de marcos diseñados para poder analizar la influencia en el espectro de respuesta de la adición del relleno en el marco en vacío, así como la influencia de la sustitución de parte de este relleno por nuestro dispositivo de aislamiento sísmico.

Mediante las correspondientes iteraciones, deducimos las siguientes ecuaciones para obtener los periodos de oscilación del marco de hormigón con relleno y del marco de hormigón con nuestro dispositivo:

- Periodo propio del marco con relleno:

$$T_R = \frac{T_V}{\sqrt{\%_R}}$$

$$\%_R = \frac{K_R}{K_V}$$

$$K_V = \frac{F_{muv}}{d_{muv}} = \frac{53000}{11.5} = 4652 \frac{N}{mm}$$

$$K_R = \frac{F_{mur}}{d_{mur}} = \frac{84500}{2.8} = 30178 \frac{N}{mm}$$

$$\%_R = \frac{K_R}{K_V} = \frac{30178}{4652} = 6.487$$

$$T_R = \frac{T_V}{\sqrt{\%_R}} = \frac{0.3}{\sqrt{6.487}} = 0.12 \text{ seg}$$

Dónde:

T_R : Periodo propio marco con relleno.

T_V : Periodo propio marco en vacío.

$\%_R$: Porcentaje rigideces entre marco relleno y marco en vacío.

K_R : Rigidez marco con relleno.

K_V : Rigidez marco en vacío.

F_{muv} : Fuerza en momento ultimo del marco en vacío.

d_{muv} : Desplazamiento en momento ultimo del marco en vacío.

F_{mur} : Fuerza en momento ultimo del marco con relleno.

d_{mur} : Desplazamiento en momento ultimo del marco con relleno.

- Periodo propio del marco con dispositivo:

$$T_D = \frac{T_V}{\sqrt{\%_D}}$$

$$\%_D = \frac{K_D}{K_V}$$

$$K_V = \frac{F_{muv}}{d_{muv}} = \frac{53000}{11.5} = 4652 \frac{N}{mm}$$

$$K_D = \frac{F_{mud}}{d_{mud}} = \frac{63000}{3.7} = 17027 \frac{N}{mm}$$

$$\%_D = \frac{K_D}{K_V} = \frac{17027}{4652} = 3.66$$

$$T_D = \frac{T_V}{\sqrt{\%_R}} = \frac{0.3}{\sqrt{3.66}} = 0.16 \text{ seg}$$

Dónde:

T_D : Periodo propio marco con dispositivo.

T_V : Periodo propio marco en vacío.

$\%_D$: Porcentaje rigideces entre marco con dispositivo y marco en vacío.

K_D : Rigidez marco con dispositivo.

K_V : Rigidez marco en vacío.

F_{muv} : Fuerza en momento ultimo del marco en vacío.

d_{muv} : Desplazamiento en momento ultimo del marco en vacío.

F_{mud} : Fuerza en momento ultimo del marco con dispositivo.

d_{mud} : Desplazamiento en momento ultimo del marco con dispositivo.

Una vez obtenidos los periodos propios de cada modelo, vemos como el marco de hormigón con relleno de mampostería tiene periodo propio menor que el marco de hormigón con dispositivo de aislamiento sísmico.

Esto se traduce en que un periodo de oscilación más corto, como es el caso del marco de hormigón con relleno de mampostería, respecto del marco de hormigón en vacío, indica que estamos ante un conjunto marco-mampostería más rígido.

En periodos algo más largos, como es el caso del marco de hormigón con el dispositivo, respecto al marco de hormigón con relleno de mampostería, obtenemos un conjunto marco-mampostería menos rígido, tal y como es nuestro objetivo, buscamos la disminución en la rigidización de un marco de hormigón frente a la adición de tabiques de mampostería.

Por último, vemos como el marco de hormigón en vacío tiene un periodo más largo, tal y como expuesto anteriormente, siendo un conjunto todavía menos rígido que los anteriores.

6. Futuras líneas de investigación

Una vez obtenidos los resultados mediante los modelos de elementos finitos a escala real creados en base a los modelos y ensayos en escala reducida, el próximo paso sería realizar estos ensayos de manera experimental en el laboratorio ICITECH y comprobar, una vez obtenidos los resultados de forma experimental, respecto a los obtenidos anteriormente en los modelos de elementos finitos.

Con la experiencia obtenida durante la modelización de los modelos de elementos finitos en base a los ensayos experimentales de marcos de hormigón armado a escala reducida y la extrapolación a marcos de hormigón armado a escala real, también sería conveniente ajustar unos nuevos modelos de elementos finitos a los ensayos experimentales, una vez se realicen estos ensayos en el laboratorio.

Dado que en el ámbito de diseño y construcción de edificaciones en nuestros tiempos, no existe ningún elemento destinado al aislamiento de la tabiquería frente a acciones provocadas por acciones horizontales o sismos en las estructuras, logrados los objetivos del dispositivo de aislamiento sísmico propuesto, se procedería a la solicitud de la patente de este dispositivo, con el fin de realizar posteriormente una fabricación y distribución de este dispositivo de aislamiento sísmico a gran escala.

Debido a que los esfuerzos introducidos realmente en una estructura a causa de un sismo, son esfuerzos dinámicos y cíclicos, una vez realizados los marcos a escala real de manera experimental, podría realizarse una serie de ensayos dinámicos de los distintos marcos de hormigón armado, de esta manera se podrá simular con mucha más precisión la interacción entre los marcos y la mampostería, así como los esfuerzos provocados por dicho sismo. De la misma manera, también realizar varias simulaciones variando la duración de los esfuerzos cíclicos y dinámicos, para obtener resultados en función de la duración del sismo.

En los modelos de elementos finitos realizados durante este trabajo, se han definido los elementos de unión entre ladrillos como elementos punto a punto para modelizar el mortero utilizado en los ensayos experimentales. Estos elementos de unión se han ubicados en las esquinas de los ladrillos, así como en la parte central de estos. Una vez ejecutados los modelos de elementos finitos, se ha observado como en la ubicación de estos elementos de unión, se generan esfuerzos puntuales en los ladrillos. Una vez realizado los ensayos experimentales en el laboratorio de los marcos a escala real, y los posteriores reajustes en los modelos de elementos finitos realizados en base a los resultados obtenidos experimentalmente, sería conveniente añadir un mayor número de elementos de unión entre ladrillos, para así repartir de una forma más uniforme los esfuerzos generados sobre estos.

Finalmente, en dichos reajustes a realizar en los modelos de elementos finitos, una vez realizados los ensayos experimentales en el laboratorio, debería incluirse una modelización no lineal de los ladrillos. Durante los ensayos experimentales se ha

observado como los ladrillos absorben esfuerzos hasta un punto en el que rompen, por lo tanto deberían de modelizarse del mismo modo que se ha hecho con el marco de hormigón, modelizando su comportamiento de manera no lineal, ya los ladrillos en este trabajo se han realizado como elementos placa, conservando su total integridad durante la técnica de empuje progresivo o Push-over, sin haber tenido en cuenta su comportamiento no lineal durante el ensayo.

7. Bibliografía

- Código técnico de la edificación (CTE), 2006.
- Instrucción de hormigón estructural (EHE-08), 2008.
- Numerical study of in-plane behaviour and strength of concrete masonry infills with openings, Xi Chen, Yi Liu, Engineering Structures Volume 82, 1 January 2015.
- Norma de construcción sismorresistente, parte general y edificación (NCSE-02), 2002.
- Estudio experimental de la influencia del relleno de mampostería sobre pórticos de hormigón armado frente a acciones horizontales, A. Belda, 2014.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Diseño de un dispositivo de aislamiento de
tabiques sometidos a acciones sísmicas

PRESUPUESTO

1. Consideraciones previas

El presente presupuesto hace referencia a un proyecto de análisis del comportamiento de marcos de hormigón y tabiquería frente a acciones sísmicas. Para la realización de nuestra propuesta de ensayos de modelos a escala real, de manera aproximada, necesitaremos los materiales de construcción necesarios para llevar a cabo los modelos, así como el coste de personal necesario para realizarlos.

El presupuesto se divide en costes directos e indirectos, desglosándose estos a su vez en otras partidas.

Para la realización del presupuesto, tanto en materiales como en personal, los precios son estimaciones a distintas ofertas vistas en el mercado.

El presente proyecto es un proyecto de investigación con fines académicos que ha servido para realizar la investigación y a raíz de esto, como culminación de los estudios de Graduado en Ingeniería Mecánica en la Universidad Politécnica de Valencia.

El único beneficio que se busca en este proyecto es el académico y no pretende generar ningún beneficio económico.

Con todo esto, los presupuestos del modelo se han adaptado para definir únicamente los costes generados por las horas de trabajo y la amortización del material utilizado para llevar a cabo la construcción de un modelo experimental a escala real.

2. Presupuesto para el modelo a escala real

Para la elaboración del presupuesto total para la elaboración del pórtico a escala real, obtendremos primeramente los costes de manera individual. Por un lado calcularemos los pilares, por otro las vigas, y finalmente la tabiquería.

Una vez obtenido cada uno de los presupuestos por separado, obtendremos el presupuesto final de los ensayos experimentales a escala real en el laboratorio.

2.1. Presupuesto de los pilares

Pilar de sección rectangular o cuadrada de hormigón armado, de 30x30 cm de sección media, realizado con hormigón HA-25/F/20/IIa fabricado en planta, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 120 kg/m³; Montaje y desmontaje de sistema de encofrado, con acabado tipo industrial para revestir, en planta de hasta 3 m de altura libre, formado por superficie encofrante de chapas metálicas y estructura soporte vertical de puntales metálicos.

Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
Materiales				
Ud	Separador homologado para pilares.	12,000	0,06	0,72
kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, diámetros varios.	120,000	0,81	97,20
kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,600	1,10	0,66
m ²	Chapa metálica de 50x50 cm, para encofrado de pilares de hormigón armado de sección rectangular o cuadrada, de hasta 3 m de altura.	0,320	48,00	15,36
Ud	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0,099	13,37	1,32
l	Agente desmoldeante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua para encofrados metálicos.	0,400	1,98	0,79
m ³	Hormigón HA-25/B/20/IIa, fabricado en planta.	1,050	76,88	80,72
Subtotal materiales:				196,77
Mano de obra				
h	Oficial 1ª encofrador.	5,610	18,10	101,54
h	Ayudante encofrador.	6,411	16,94	108,60
h	Oficial 1ª ferrallista.	0,808	18,10	14,62
h	Ayudante ferrallista.	0,808	16,94	13,69
h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,433	18,10	7,84
h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	1,743	16,94	29,53
Subtotal mano de obra:				275,82
Ud	Numero de pilares	2,000	472,59	945,18
Coste Total (€):				945,18

2.2. Presupuesto de las vigas

Viga descolgada, recta, de hormigón armado, de 30x30 cm, realizada con hormigón HA-25/F/20/IIa fabricado en planta, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 150 kg/m³; montaje y desmontaje del sistema de encofrado, con acabado tipo industrial para revestir, en planta de hasta 5 m de altura libre, formado por superficie encofrante de tableros de madera tratada, reforzados con varillas y perfiles, estructura soporte horizontal de sopandas metálicas y accesorios de montaje y estructura soporte vertical de puntales metálicos.

Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
Materiales				
m ²	Tablero de madera tratada, de 22 mm de espesor, reforzado con varillas y perfiles.	0,153	37,50	5,74
m ²	Estructura soporte para encofrado recuperable, compuesta de: sopandas metálicas y accesorios de montaje.	0,026	85,00	2,21
Ud	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0,089	13,37	1,19
kg	Puntas de acero de 20x100 mm.	0,133	7,00	0,93
l	Agente desmoldeante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua para encofrados metálicos.	0,100	1,98	0,20
Ud	Separador homologado para vigas.	4,000	0,08	0,32
kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, diámetros varios.	150,000	0,81	121,50
kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	1,350	1,10	1,49
m ³	Hormigón HA-25/F/20/IIa, fabricado en planta.	1,050	76,88	80,72
Subtotal materiales:				214,30
Mano de obra				
h	Oficial 1 ^ª encofrador.	2,003	18,10	36,25
h	Ayudante encofrador.	2,003	16,94	33,93
h	Oficial 1 ^ª ferrallista.	1,442	18,10	26,10
h	Ayudante ferrallista.	1,442	16,94	24,43
h	Oficial 1 ^ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,409	18,10	7,40

h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	1,647	16,94	27,90
Subtotal mano de obra:			156,01	
Ud	Numero de vigas	1,000	370,31	370,31
Coste Total (€):			370,31	

2.3. Presupuesto de la tabiquería

Hoja interior de cerramiento de fachada de 7 cm de espesor, de fábrica de ladrillo cerámico hueco doble, para revestir, 33x16x7 cm, recibida con mortero de cemento industrial, color gris, M-5, suministrado a granel; formación de dinteles mediante obra de fábrica sobre carpintería.

Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
Materiales				
Ud	Ladrillo cerámico hueco doble, para revestir, 33x16x7 cm, según UNE-EN 771-1.	238,000	0,20	47,60
m ³	Agua.	0,005	1,50	0,01
t	Mortero industrial para albañilería, de cemento, color gris, categoría M-5 (resistencia a compresión 5 N/mm ²), suministrado a granel, según UNE-EN 998-2.	0,151	29,50	4,45
Subtotal materiales:				52,06
Equipo y maquinaria				
h	Mezclador continuo con silo, para mortero industrial en seco, suministrado a granel.	0,566	1,73	0,98
Subtotal equipo y maquinaria:				0,98
Mano de obra				
h	Oficial 1ª construcción en trabajos de albañilería.	4,000	17,24	68,96
h	Peón ordinario construcción en trabajos de albañilería.	2,150	15,92	34,23
Subtotal mano de obra:				103,19
Coste Total (€):				156,23

2.4. Presupuesto total del modelo a escala real

Unidad	Descripción	Importe
Materiales		
Ud	Pilar de sección rectangular o cuadrada de hormigón armado, de 30x30 cm de sección media, realizado con hormigón HA-25/F/20/IIa fabricado en planta, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 120 kg/m ³ ; Montaje y desmontaje de sistema de encofrado, con acabado tipo industrial para revestir, en planta de hasta 3 m de altura libre, formado por superficie encofrante de chapas metálicas y estructura soporte vertical de puntales metálicos.	945,18
Ud	Viga descolgada, recta, de hormigón armado, de 30x30 cm, realizada con hormigón HA-25/F/20/IIa fabricado en planta, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 150 kg/m ³ ; montaje y desmontaje del sistema de encofrado, con acabado tipo industrial para revestir, en planta de hasta 5 m de altura libre, formado por superficie encofrante de tableros de madera tratada, reforzados con varillas y perfiles, estructura soporte horizontal de sopandas metálicas y accesorios de montaje y estructura soporte vertical de puntales metálicos.	370,31
Ud	Hoja interior de cerramiento de fachada de 7 cm de espesor, de fábrica de ladrillo cerámico hueco doble, para revestir, 33x16x7 cm, recibida con mortero de cemento industrial, color gris, M-5, suministrado a granel; formación de dinteles mediante obra de fábrica sobre carpintería.	103,19
Coste Total (€):		1418,68



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Diseño de un dispositivo de aislamiento de
tabiques sometidos a acciones sísmicas

ANEXOS

ANEXO I. Índice de ilustraciones

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1. Geometría marco en vacío.....</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 2. Vista general ensayo.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 3. Ley momento-curvatura</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 4. Ley momento-curvatura marco en vacío escala reducida.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 5. Ley momento-curvatura rótula FH1 marco en vacío escala reducida.....</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 6. Ley momento-curvatura rótula FH3 marco en vacío escala reducida.....</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 7. Modelo marco en vacío</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 8. Disposición de las rótulas en el marco en vacío escala reducida</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 9. Orden de aparición rótulas plásticas marco en vacío escala reducida.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 10. Deformada del marco en vacío a escala reducida.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 11. Comparación de curvas para marco en vacío a escala reducida.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 12. Comparación de curvas para marco en vacío a escala reducida.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 13. Ley mmento-curvatura rótula FH1 marco con relleno escala reducida</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 14. Ley mmento-curvatura rótula FH3 marco con relleno escala reducida</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 15. Puntos de unión de constraints modelo con relleno escala reducida.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 16. Ejes de coordenadas universales</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 17. características técnicas ladrillo 330x160x70</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 18. Caras de uniones entre ladrillos.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 19. Resistencia a compresión del mortero.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 20. Resistencia a flexión del mortero.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 21. Resistencia a flexión del mortero.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 22. elementos de unión punto a punto en la mampostería</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 23. Grafica de no linealidad normal en la zona de cabeza del ladrillo</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 24. Grafica de no linealidad normal en la zona de cama del ladrillo</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 25. Elementos de unión punto a punto entre mampostería y marco de hormigón</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 26. Grafica de no linealidad transversal en la zona de cabeza del ladrillo... </i>	<i>34</i>

<i>Ilustración 27. Grafica de no linealidad transversal en la zona de cama del ladrillo</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 28. Grafica de no linealidad normal en la zona de las esquinas.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 29. Grafica de no linealidad transversal en la zona de las esquinas</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 30. Modelo de elementos finitos del marco con relleno escala reducida.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 31. Modelo de elementos finitos del marco con relleno escala reducida.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 32. Comparación de curvas para marco con relleno escala reducida</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 33. Vista del ensayo a escala real</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 34. Marco hormigón a escala real</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 35. Ley momento-curvatura marco en vacío escala real.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 36. Ley momento-curvatura rótula FH1 marco en vacío escala real.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 37. Ley momento-curvatura rótula FH3 marco en vacío escala real.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 38. Asignación y posición rótulas marco a escala real</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 39. Orden de aparición rótulas plásticas marco en vacío escala real</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 40. Puntos de unión de constraints modelo con relleno escala real.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 41. Modelo elementos finitos escala real en vacío.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 42. Modelo elementos finitos escala real en vacío.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 43. Curva rotura modelo escala real en vacío</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 44. Grafica de no linealidad normal en la zona de cabeza del ladrillo</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 45. Grafica de no linealidad transversal en la zona de cabeza del ladrillo... 51</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 46. Grafica de no linealidad normal en la zona de cama del ladrillo</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 47. Grafica de no linealidad transversal en la zona de cama del ladrillo</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 48. Grafica de no linealidad normal en la zona de cabeza del ladrillo</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 49. Grafica de no linealidad transversal en la zona de cabeza del ladrillo... 53</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 50. Grafica de no linealidad normal en la zona de cama del ladrillo</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 51. Grafica de no linealidad transversal en la zona de cama del ladrillo</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 52. Grafica de no linealidad normal en la zona de esquinas del marco</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 53. Grafica de no linealidad transversal en la zona de esquinas del marco. 55</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 54. Modelo elementos finitos escala real con relleno</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 55. Modelo elementos finitos escala real con relleno</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 56. Curva rotura modelo escala real con relleno.....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 57. Ubicación dispositivo aislante sísmico.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 58. Curva rotura modelo escala real con dispositivo aislante sísmico</i>	<i>60</i>

<i>Ilustración 59. Comparación de curvas de rotura modelos a escala real.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 60. Respuesta de un pórtico frente a acciones horizontales</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 61. Formación de bielas de compresión</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 62. Dispositivo de aislamiento sísmico</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 63. Espectro elástico de respuesta</i>	<i>71</i>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Diseño de un dispositivo de aislamiento de tabiques sometidos a acciones sísmicas

PLANOS