



Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de la Alquería de Falcó



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

Escuela Técnica Superior de
Arquitectura

GRADO EN FUNDAMENTOS
DE LA ARQUITECTURA

CURSO 2020-2021

Autor: NATALIA LÓPEZ GIL

Tutores: Arianna Guardiola
Villora y Luisa Basset Salom

Índice.

Presentación.....	pág 2.
Resumen, “Resum” y “Resume”.....	pág 3.
Agradecimientos.....	pág 4.
Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas.....	pág 5.
1.Introducción.....	pág 6.
1.1. Alquerías valencianas.....	pág 7.
1.2. Alquería de Falcó.....	pág 9.
1.2.1. Historia.....	pág 9.
1.2.2. Actualidad.....	pág 11.
2. Estudio.....	pág 13.
2.1. Objetivos y Metodología.....	pág 14.
2.2. Análisis constructivo.....	pág 15.
2.2.1. Estructura.....	pág 15.
2.2.2. Forjado.....	pág 18.
2.2.3. Cubierta.....	pág 19.
2.3. Planos.....	pág 20.
2.4. Vulnerabilidad sísmica.....	pág 21.
2.4.1. Método italiano.....	pág 22.
2.4.1.1. Parámetros.....	pág 23.
2.4.2. Caso de estudio.....	pág 30.
2.4.2.1. Cuadro resumen del estudio.....	pág 35.
2.5. Resultados del estudio.....	pág 36.
3. Propuestas y re-evaluación	pág 37.
3.1. Propuestas de mejora.....	pág 38.
3.1.1. Cuadro resumen de las mejoras.....	pág 43.
3.2. Resultados de la re-evaluación.....	pág 44.
4. Conclusión.....	pág 45.
Bibliografía.....	pág 47.

Presentación.

Resumen.

Este trabajo final de grado consiste en el análisis constructivo y la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la Alquería de Falcó, situada en el barrio de Torrefiel de Valencia. Se trata de un ejemplo de casa señorial valenciana del s XVII, declarada bien de relevancia local y propiedad del Ayuntamiento de Valencia, cuyo proyecto de rehabilitación está en proceso de redacción.

A pesar de que Valencia es una zona de sismicidad baja a moderada, la vulnerabilidad sísmica de sus edificios tradicionales ha demostrado ser bastante alta. En función de los resultados obtenidos se proponen medidas para mejorar la respuesta de la estructura y reducir su vulnerabilidad ante un posible evento sísmico.

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica, índice de vulnerabilidad, Alquería de Falcó, patrimonio.

Resum.

Aquest treball final de grau consisteix en l'anàlisi constructiu i l'avaluació de la vulnerabilitat sísmica de l'Alqueria de Falcó, situada en el barri de Torrefiel de València. Es tracta d'un exemple de casa senyorial valenciana del s XVII, declarada bé de rellevància local i propietat de l'Ajuntament de València, estant en procés de redacció el projecte de rehabilitació. A pesar que València és una zona de sismicitat baixa a moderada, la vulnerabilitat sísmica dels seus edificis tradicionals ha demostrat ser prou alta. En funció dels resultats obtinguts es proposen mesures per a millorar la resposta de l'estructura i reduir la seua vulnerabilitat davant d'un possible esdeveniment sísmic.

Paraules clau: Vulnerabilitat sísmica, índex de vulnerabilitat, Alquería de Falcó, patrimoni.

Abstract.

This final degree project consists of the constructive analysis and the evaluation of the seismic vulnerability of the Alquería de Falcó, located in the Torrefiel neighborhood of Valencia. It is an example of a Valencian manor house from the 17th century, declared an asset of local relevance and owned by the Valencia City Council, being the rehabilitation project in the process of being drafted.

Despite the fact that Valencia is an area of low to moderate seismicity, the seismic vulnerability of its traditional buildings has proven to be quite high. Based on the results obtained, measures have been proposed to improve the behavior of the structure and reduce its vulnerability to a possible seismic event.

Keywords: Seismic vulnerability, vulnerability index, Falcó Farmhouse, heritage.

Agradecimientos y dedicatorias.

Este trabajo no habría sido posible sin la aportación del Servicio de Arquitectura y Servicios Centrales Técnicos del Ayuntamiento de Valencia: gracias a ellos se ha obtenido los planos y la evaluación estructural de la Alquería de Falcó.

También quiero dar las gracias a Arianna Guardiola y Luisa Basset por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo con ellas y por haber sido unas tutoras excelentes a lo largo del desarrollo del mismo.

Quiero dedicar este trabajo a todas aquellas personas que cuando yo estaba pasando por una época extraña de mi vida estuvieron ahí a mi lado para verme mejorar y, además, a mí misma, por haber conseguido todo lo que me he propuesto y lo que me queda por conseguir.

Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas.

El presente trabajo de final de grado ha conseguido plasmar algunos de los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas, también llamados ODS. Estos objetivos se crearon en 2015 con el propósito de conseguir poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para el año 2030.

El primer ODS con el que se puede relacionar este trabajo es el número 5: Igualdad de género. Como autora de este trabajo, junto con mis dos tutoras, hemos elegido un tema relacionado con la ingeniería estructural, campo en el que la presencia femenina es escasa, por tanto, esto ayudará a visibilizar a las mujeres que trabajan en este campo, haciendo que el empoderamiento femenino y la inspiración para las generaciones futuras aumente.

Otros objetivos relacionados con este trabajo son los ODS 11 y 12. Con este análisis de la vulnerabilidad sísmica de esta tipología residencial en peligro de desaparición, debido a que las normas constructivas con las que se diseñó están desfasadas, se propone que este tipo de edificación no desaparezca ya que es parte de nuestra cultura y puede perpetuarse gracias a los avances constructivos y técnicos que se han desarrollado en la actualidad, por tanto, este afán por la reparación frente a sustitución, el querer conservar esta tipología cultural para la producción y consumo responsables, favorece crear ciudades y comunidades más sostenibles.

Y, por último, en este trabajo se han obtenido unos resultados acerca de las mejores opciones, desde el punto de vista de la sostenibilidad, que pueden ser utilizados en otras intervenciones. En este caso se trata de compartir el conocimiento, por tanto, esta aportación sirve para crear una educación de calidad, la cual se corresponde con el objetivo número 4.

En conclusión, este trabajo de final de grado, a pesar de ser algo insignificante comparado con otras acciones más grandes que ocurren en el planeta de mano de otras personas, logra aportar en cierta manera que en el año 2030 los objetivos propuestos por las Naciones Unidas se cumplan, porque cada grano de arena cuenta para formar una montaña.



1. Introducción.

El presente Trabajo Final de Grado estudia la Alquería de Falcó, una edificación local catalogada como Bien de Relevancia Arquitectónica, evaluando su vulnerabilidad sísmica mediante el método del "Índice de vulnerabilidad". A partir de los resultados obtenidos, se proponen una serie de intervenciones que, sin olvidar su carácter patrimonial, mejoren su comportamiento al sismo.

El edificio seleccionado es una alquería, tipología de vivienda heredada de la arquitectura tradicional de la Huerta Valenciana, que actualmente está abandonada. Su catalogación como bien de relevancia arquitectónica está justificada por su relación directa con la historia y el patrimonio de la Comunidad Valenciana.

1.1. Alquerías valencianas.

En el siglo XV las casas valencianas de labranza y labor agrícola comenzaron a denominarse alquerías, como consecuencia de la conquista feudal que desencadenó una transformación del modelo urbano de Valencia, cambiando así el paisaje rural de la Huerta Valenciana.

Una alquería es una vivienda agrícola ubicada en el territorio en parcelas de dimensiones considerables de entre una y seis hectáreas, que comerciaba con los productos que cultivaban, pero, sobre todo, se autoabastecía con ellos. Debido a que eran autosuficientes, entraron de manera ligera en el comercio y rutas comerciales, desencadenando la no incorporación de avances tecnológicos hasta siglos después.

Al principio, el paisaje rural estaba formado por algunas alquerías dispuestas en núcleos y otras aisladas con un gran campo de cultivo. Tras la conquista de Jaime I, muchas alquerías fueron cedidas a los municipios (ver imagen 1). En el siglo XVIII, la burguesía mercantil propuso a los campesinos propietarios de las alquerías que transformaran la producción de autoabastecimiento en producción para el mercado de proximidad, por lo que pasaron a ser trabajadores en lugar de propietarios. Esto desarrolló un cambio en las alquerías y en el paisaje rural, pasando de una vivienda a una residencia temporal y de almacenaje.

Esta situación se mantuvo hasta finales del siglo XIX, cuando la economía de los campesinos se recuperó y les permitió volver a ser dueños de sus tierras y de su vivienda. Esto finalmente conformó el paisaje rural que perdura en la actualidad: alquerías contemporáneas que son viviendas de grandes dimensiones, dispersas en el paisaje, pero ligadas a los núcleos de población, propiedad de los agricultores.

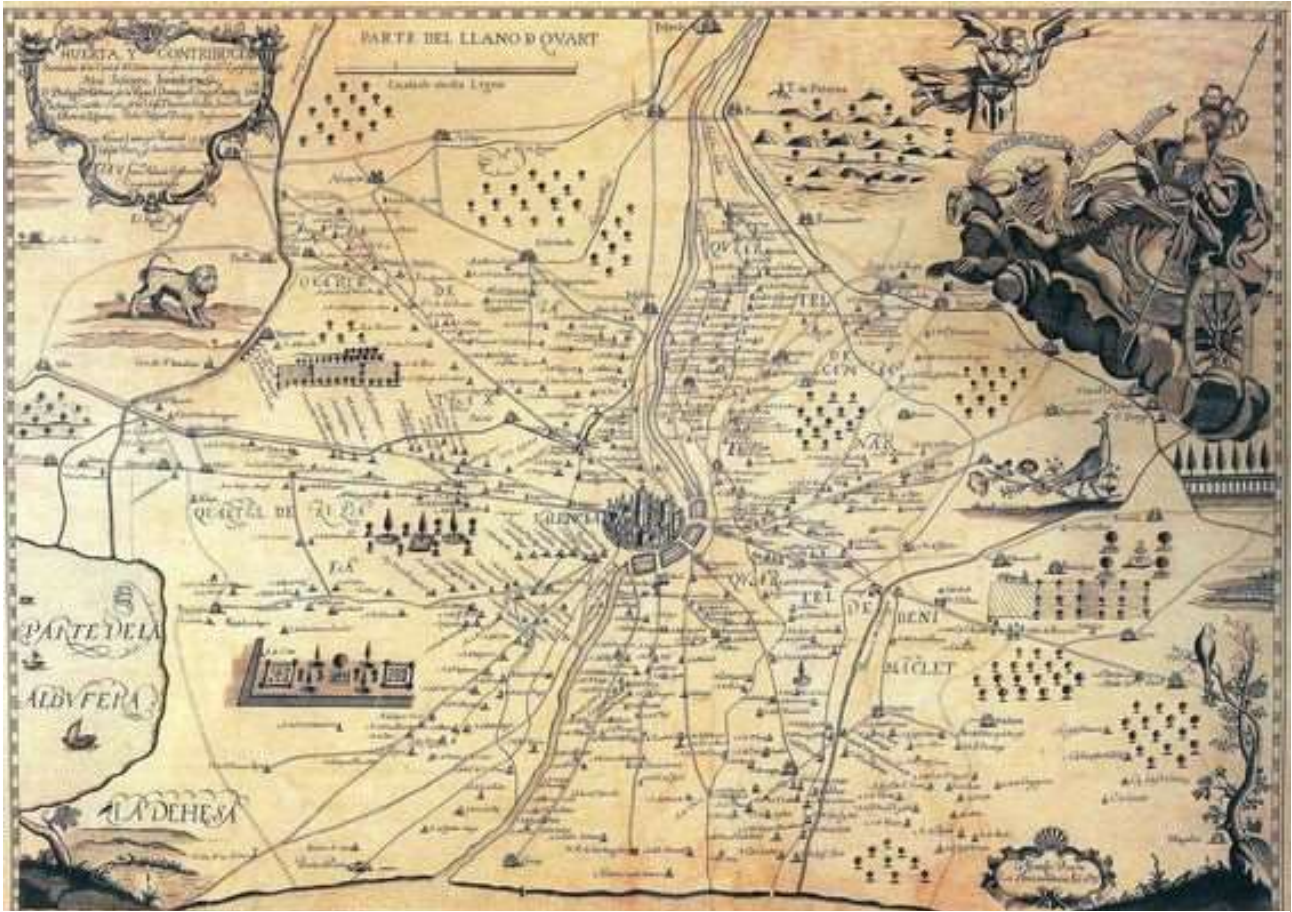


Imagen 1. Mapa de la Huerta Valenciana, 1695.

1.2. Alquería de Falcó.

1.2.1. Historia.

La Alquería de Falcó (imagen 2) está situada en el extremo norte del barrio de Torrefiel y según el Dr. Arquitect Miguel del Rey Aynat, catedrático de proyectos arquitectónicos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universitat Politècnica de València (ETSA): *“La Alquería Falcó es el ejemplo por excelencia del barroco en la arquitectura rural valenciana. Su potente volumen, sus grandes masas, las distintas formas de construir los cuerpos y disponer sus fábricas, la estabilidad formal en la construcción de la cubierta y por tanto, en la definición del sólido que define la arquitectura, la torreta, la elegantísima puerta, además de los elementos epidérmicos que enfatizan la forma: su esferas y pináculos al modo herreriano o tan valenciano como los que podemos encontrar en el paredón del Puente del Real en Valencia, además de la manera de estructurar las diversas viviendas que incluye una alquería señorial en el siglo XVII, serán los temas básicos de este ejemplo de alquería en el tiempo, que en su día ya representó la alquería valenciana en el panorama cultural español.”*¹



Imagen 2. Fotografía de la alquería de Falcó, siglo XX.

¹ Del Rey Aynat, M., *Arquitectura rural valenciana*, p. 122. Cabrera de Mar: Galerada, 2011.

La edificación ha sufrido muchos cambios a lo largo de la historia. Se observa como el conjunto está formado por distintos cuerpos de diferentes épocas, manteniendo la uniformidad en el volumen. El desarrollo de los muros portantes y el retranqueo de la fachada posterior evidencian los cambios que ha sufrido.

En el siglo XV, la Alquería de Falcó era una vivienda agraria de dos crujías paralelas a la fachada principal con un eje centrado entre la puerta principal de entrada y la puerta trasera que daba al exterior (véase Imagen 3, estado 1). Incorporaba dos plantas: la planta baja era la vivienda en sí y la planta primera era un secadero típico de aquella época. Esta parte de la vivienda, con la ampliación que sufre, pasaría a ser, más adelante, la vivienda del campesino arrendado que cuidaba de las labores de labranza.

Tres siglos más tarde (siglo XVIII), se amplía la edificación añadiendo otra vivienda de dos crujías sin eje central (Imagen 3, estado 2). Esta es lo que en aquella época se denominaba vivienda señorial, es decir, la vivienda destinada a los señores propietarios del terreno. En la planta baja se disponía el servicio y en la planta superior estaban los aposentos del señor. Esta parte de la vivienda es la que ha sufrido más cambios internos en el transcurso del tiempo, llegando a ser en una época un colegio infantil.

Finalmente, se añadieron una serie de habitaciones destinadas a almacenaje y servicios (se observa en la imagen 3, estado 3). Primero, junto a la vivienda señorial, se adhiere un almacén de mayor dimensión que el ancho de vivienda, después se construye una tercera crujía en ambas viviendas de una sola planta por temas de higiene y, por último, en el siglo XX se añade dos naves de almacenaje de dimensiones considerables y una torre que no están consideradas bienes de relevancia en el Catálogo Estructural de Bienes y Espacios Protegidos de la Comunidad Valenciana, ya que, con su presencia, se pierde la estética del conjunto. Por tanto, quedan excluidas de este trabajo.



Imagen 3. Evolución de la planta de la alquería de Falcó.

1.2.2. Actualidad.

Actualmente la Alquería de Falcó es un edificio en ruinas y abandonado. Se encuentra en muy mal estado ya que, además del trascurso del tiempo, ha sufrido incendios (véase imagen 4), actos vandálicos como grafitis y ocupación, numerosos cambios de propiedad y la despreocupación del gobierno local por su mantenimiento (Imagen 5), a pesar de las numerosas reclamaciones de los vecinos de Torrefiel, que han expresado su descontento por las constantes actividades vandálicas. Sin embargo, por lo que representa para la cultura de la Huerta valenciana, ha sido catalogada como bien de relevancia arquitectónica, estando incluida en la Lista Roja y en el Catálogo Estructural de Bienes y Espacios Protegidos de la Comunidad Valenciana.



Imagen 4. Fotografía del incendio, 2011.



Imagen 5. Fotografía del interior de la alquería, 2017.

En el año 2020, se anuncia la tan esperada rehabilitación de la Alquería de Falcó, que pasará a ser un edificio abierto al público. Según la concejala de Gestión de recursos, Luisa Notario: *“se pretende mejorar la seguridad exterior e interior del edificio y reducir su deterioro continuado con los trabajos de conservación que sean necesarios. Se llevará a cabo una primera intervención de desbroce y desescombro, desmontajes de elementos inestables, apuntalamientos y cualquier medida de seguridad que permita el acceso al inmueble para reducir los riesgos para las personas que tomen los datos necesarios para la redacción del proyecto de rehabilitación”*.²



Imagen 6. Fotografía de la alquería Falcó actualmente, 2021.

² Fuente: Periódico Levante: “Comienzan las obras para conservar la Alquería Falcó” <<https://www.levante-emv.com/valencia/2020/01/19/comienzan-obras-conservar-alqueria-falco-11706707.html>>

En conclusión, el estudio de la vulnerabilidad sísmica de este edificio queda justificado por ser un Bien de Relevancia Local para la cultura valenciana en el que, estando prevista su rehabilitación estructural, se pueden tomar medidas para mejorar su comportamiento frente a sismo.

2. Estudio.

2.1. Objetivos y metodología.

Los objetivos propuestos para el trabajo son: evaluar la vulnerabilidad sísmica de la Alquería de Falcó, proponer mejoras a partir del valor obtenido y, por último, analizar el nuevo resultado. Estos objetivos se plasman en la metodología descrita a continuación:

1º Recopilación de información sobre la Alquería de Falcó basado en los estudios de Miguel de Rey Aynat.

2º Análisis constructivo del edificio a partir de los trabajos de campo y el informe de resultados de la evaluación estructural de la Alquería de Falcó proporcionado por el Servicio de Arquitectura y Servicios Centrales Técnicos del Ayuntamiento de Valencia.

3º Dibujo de los planos de la alquería a partir de la información facilitada por el ayuntamiento de Valencia.

4º Análisis de la vulnerabilidad sísmica de la edificación mediante el método italiano. Se seguirá como referencia la monografía CIMNE IS-12 1995: "Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería" y el "Estudio piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 Pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)" de Chavarría L., D. y Gómez P., D.

5º Propuesta de intervención con el objeto de reducir su vulnerabilidad sísmica y re-evaluación de la misma.

2.2. Análisis constructivo.

2.2.1 Estructura.

La estructura de la Alquería de Falcó está formada por muros de carga, que era la tipología estructural típica de los siglos XV a XVIII. Al haber sufrido cambios a lo largo de su existencia, los muros presentan diferentes tipologías constructivas que se pueden observar, sobre todo, en los muros exteriores de la fachada a causa del deterioro del revestimiento o capa superficial del muro.

Como ya se ha comentado antes, el edificio está formado por dos viviendas independientes que dividen la alquería en dos partes. La vivienda dispuesta en la zona oeste, la vivienda señorial (véase imagen 7), presenta muros de fábrica de ladrillo, es decir, la construcción del muro se realiza mediante unidades de ladrillo ligadas con mortero, concretamente mediante aparejo a sogas y tizones, con dimensiones de ladrillo 24 x 12 x 3 cm en fachada sur y de 30 x 12 x 3 cm en fachada oeste, juntas de mortero horizontal y vertical de entre 1-3 cm y están revestidos con mortero de cal (véase imágenes 8 y 9).



Imagen 7. Situación de los muros de fábrica de ladrillo en la fachada principal de la Alquería de Falcó, 2021.

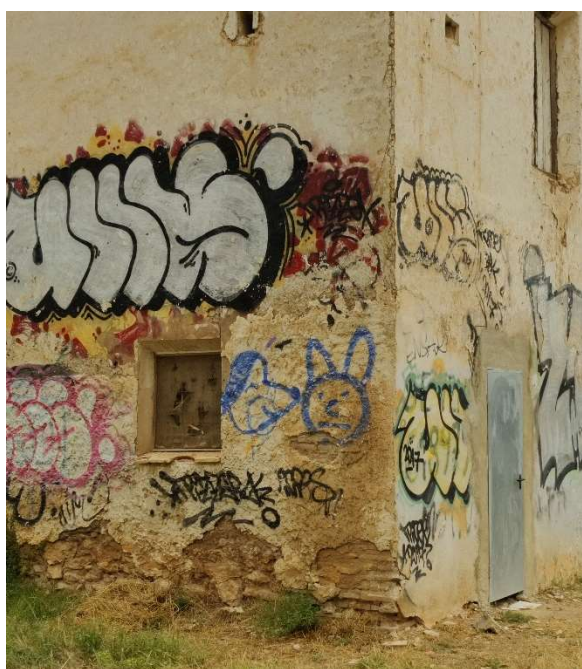


Imagen 8. Fachada oeste de la Alquería de Falcó, 2021.



Imagen 9. Fachada oeste de la Alquería de Falcó, 2021.

Por otro lado, la vivienda de la zona este o la vivienda agraria (imagen 10) presenta dos tipologías de muro: tapia valenciana y muro de ladrillo encofrado. La tapia valenciana, localizada en la fachada principal o norte (zona roja), consiste en tierra compactada en tongadas y ladrillos o medios ladrillos normalmente colocados a tizón contra la cara interior del encofrado (imágenes 11 y 12). En la edificación, los ladrillos son de dimensiones 30 x 12 x 3 cm y presentan juntas horizontales de 6-9 cm. La capa superficial del muro es un encalado que se encuentra ausente en muchas partes de la fachada debido a la degradación que ha sufrido.



Imagen 10. Situación de los muros de tapia valenciana y de ladrillo encofrado en la fachada principal de la Alquería de Falcó, 2021.



Imagen 11. Fachada norte de la Alquería Falcó, 2021.



Imagen 12. Detalle de la tapia valenciana, 2021.

El muro de ladrillo perforado también se encuentra en la fachada norte y, además, en la fachada este (zona amarilla). Este tipo de muro se compone de hiladas de ladrillo con una junta horizontal ancha ejecutada con morteros de cal y tierra compactada con áridos gruesos. En el caso de la Alquería de Falcó los ladrillos, con aparejo a sogas y tizones, son de 24 x 12 x 3 cm unidos con mortero de cal y tierra con árido grueso y juntas horizontales de 6-9 cm (véase imagen 13 y 14).



Imagen 13. Fotografía de la fachada norte en esquina con la este, 2021.

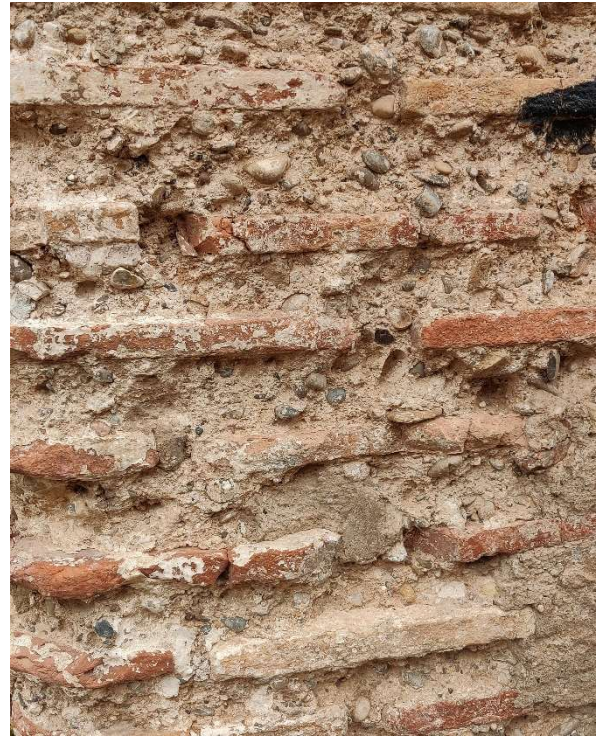


Imagen 14. Detalle del muro de ladrillo encofrado.

2.2.2 Forjados.

En la edificación hay dos tipologías de forjado. La tipología principal es un forjado unidireccional de vigueta de madera y entrevigado con revoltón de ladrillo cerámico (imagen 15) donde, dependiendo del vano, las viguetas cambian de dimensiones y geometría. Las capas base que se presentan en todo el forjado son: las vigas de madera, revoltón cerámico de unos 2 a 3 cm, luego una capa de arena y grava, que será la capa más extensa del forjado, y finalmente una capa de pavimento de unos 1,5 a 3 cm (véase imagen 16 y 17).

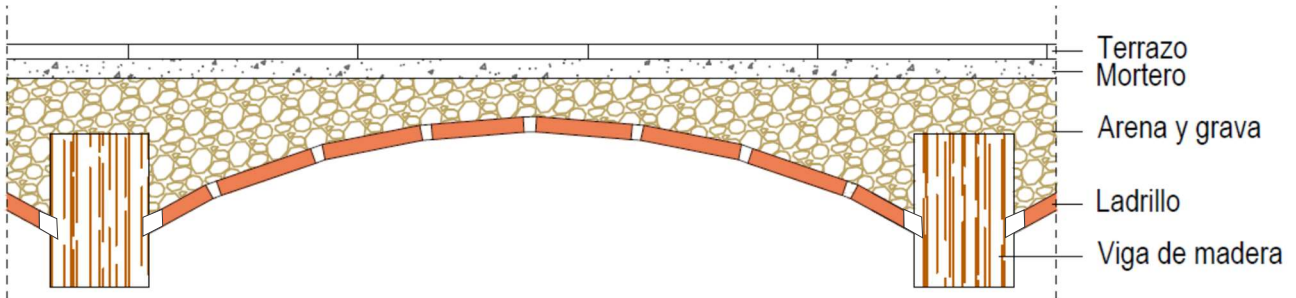


Imagen 15. Esquema del forjado unidireccional de vigueta de madera y entrevigado de revoltón cerámico.



Imagen 16. Fotografía del forjado principal, 2020.



Imagen 17. Fotografía del forjado secundario, 2020.

La segunda tipología de forjado está presente solo en un único vano de la planta baja (véase imagen 18). Se trata de un forjado de viguetas de madera con entrevigado de ladrillo plano cerámico sobre listones de madera que, además, soporta una capa de arena y grava y culmina con terrazo (imagen 17). El espesor medio del forjado en toda la edificación es de 30'9 cm.

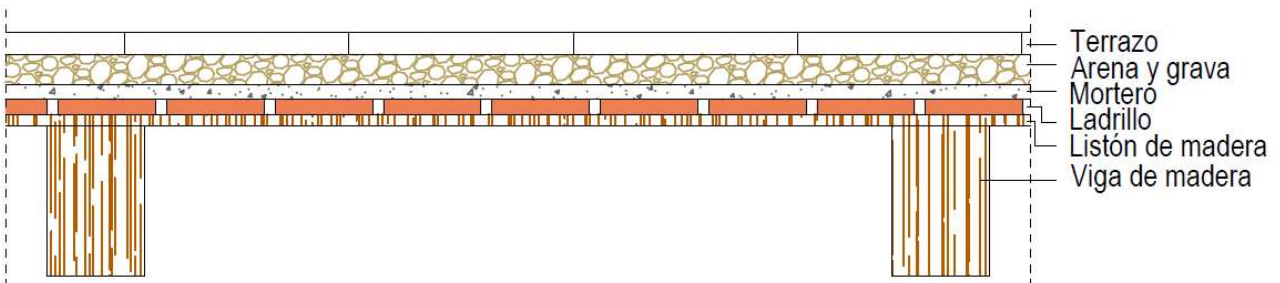


Imagen 18. Forjado de viguetas de madera con entrevigado de ladrillo cerámico sobre listones de madera.

2.2.3 Cubierta.

La tipología de cubierta que presenta la Alquería de Falcó es inclinada, de una o dos aguas, y está formada por tres niveles de tejas cerámicas unidas con mortero y apoyadas sobre rastreles de madera (véase las siguientes imágenes: 19, 20 y 21). Este conjunto se asienta sobre vigas de madera y su espesor medio es de 38'5 cm aproximadamente.

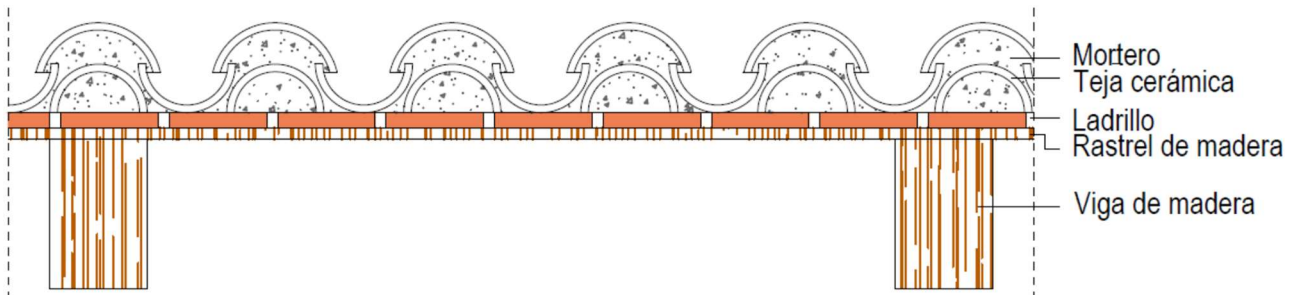


Imagen 19. Esquema de la cubierta de teja cerámica sobre rastreles de madera.



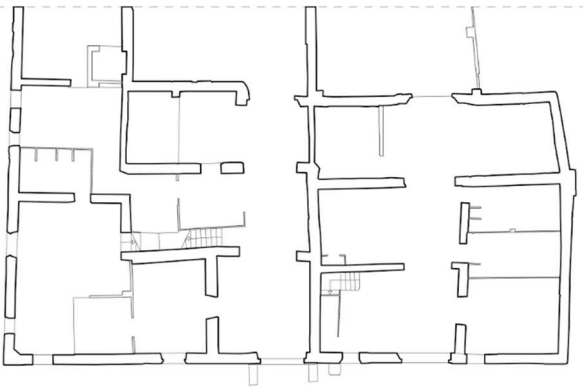
Imagen 20. Fotografía de la cubierta de la alquería de Falcó, 2020.



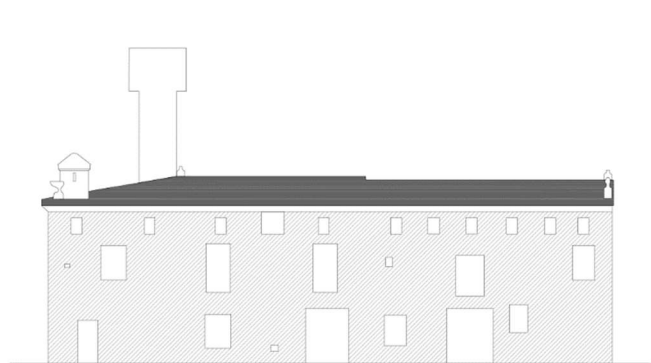
Imagen 21. Detalle de la cubierta de teja sobre rastreles de madera.

2.3 Planos.

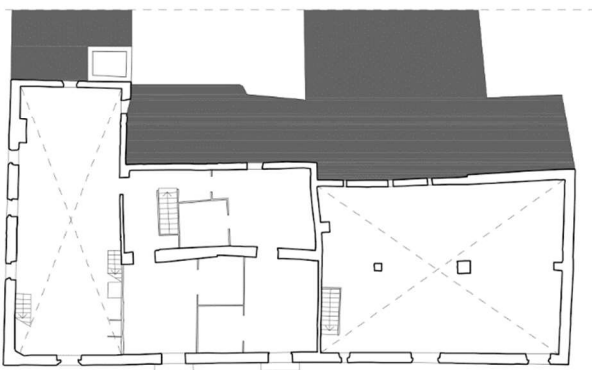
Planta Baja



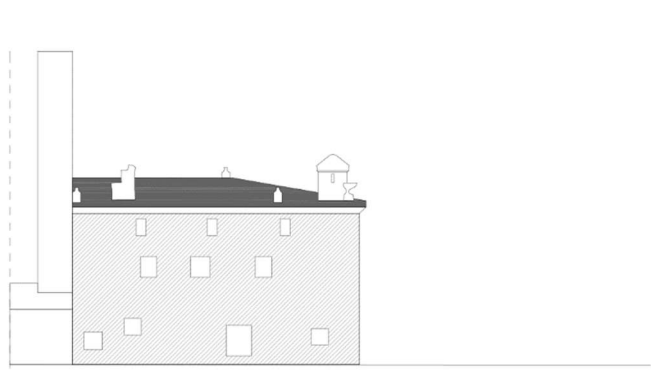
Alzado norte



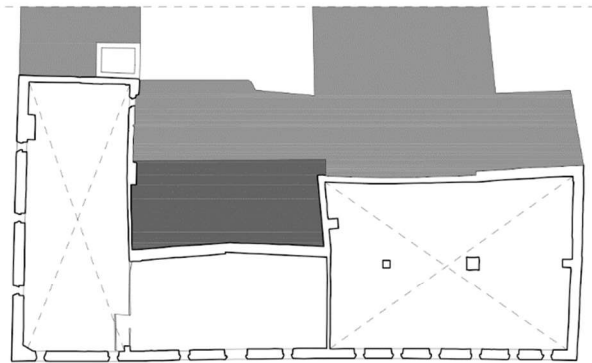
Planta Primera



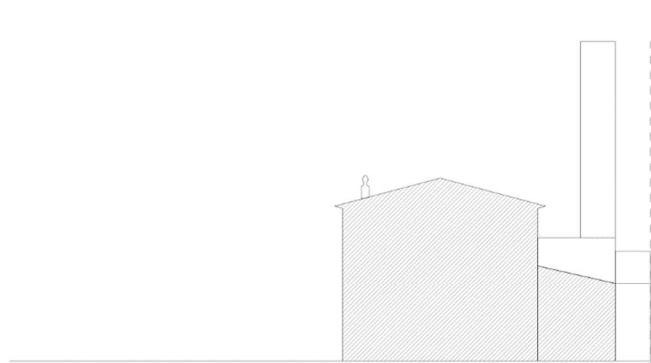
Alzado oeste



Planta Segunda



Planta este



Escala

-5 0 5 10

Unidad de medida en metros

2.4 Vulnerabilidad sísmica.

La vulnerabilidad sísmica es la susceptibilidad de sufrir daños debido a una acción sísmica de determinadas características. Depende de varios factores, entre ellos, la tipología estructural, estado de conservación, diseño y construcción del edificio, etc. Es independiente de la peligrosidad sísmica, que se define como la probabilidad de que se produzca en esa zona un sismo de cierta importancia en un plazo determinado de tiempo. Por tanto, al ser independientes ambos términos, una estructura puede ser vulnerable pero no estar en un lugar con peligrosidad sísmica.

La Comunidad Valenciana tiene una actividad sísmica moderada. Valencia, según el Anexo I del Plan Especial frente al riesgo sísmico de la Comunidad Valenciana, se encuentra en un grado de intensidad igual o superior a VII (EMS³) para un periodo de retorno de 500 años, según el mapa de "Peligrosidad Sísmica de la Comunidad Valenciana". Por tanto, ha de tomarse medidas frente a estas posibles acciones sísmicas en los edificios existentes y de nueva planta de la zona de Valencia.

La manera de reducir los daños que produce un terremoto en una edificación de nueva planta es mediante la aplicación de las normas sismorresistentes, que tienen como objetivo resistir los efectos sísmicos. La Norma de Construcción Sismorresistente que está en vigor actualmente en España es la NCSE-02 (BOE 11-10-2002 nº244), en ella se determinan las condiciones técnicas que deben cumplir las estructuras para evitar consecuencias para la seguridad de las personas, reducir las pérdidas económicas y conservar los servicios básicos para la sociedad.

Por otro lado, existen edificios ya construidos que no siguen la norma sismorresistente especificada ya que son construcciones planteadas anteriormente a dicha norma. Es por ello que pueden tener una vulnerabilidad sísmica alta que puede desencadenar daños irreparables en ellos mismos y poner en peligro la seguridad de las personas. La mayoría de los edificios históricos se encuentran en esta situación y para evitar perder patrimonio histórico es recomendable el estudio de su vulnerabilidad sísmica.

Para evaluar la vulnerabilidad sísmica existen dos grupos de métodos: los métodos analíticos y los métodos empíricos. Los métodos analíticos llevan a cabo una modelización estructural que simula el comportamiento del edificio bajo cargas dinámicas durante una acción sísmica y ensayos de materiales en el laboratorio, determinando el daño que puede presentar el edificio. Por otra parte, los métodos empíricos se basan en la opinión de expertos tras la observación directa de los daños sufridos por distintas tipologías edificatorias tras un terremoto.

Para este trabajo se ha optado por el método italiano o método del índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini, 1984), explicado más adelante, adecuado para el estudio de la vulnerabilidad de este edificio, por tratarse de un edificio de mampostería y tapial.

³ Escala Macrosísmica Europea

2.4.1 Método Italiano o del índice de vulnerabilidad.

El método apareció oficialmente en Italia en 1984 tras la investigación del comportamiento de los edificios en los terremotos que acontecieron en las diferentes regiones de Italia a partir del 1976. Como resultado de esta investigación se obtiene numerosos datos sobre daños en edificios para diferentes intensidades sísmicas identificando así los parámetros más relevantes que controlan los daños estructurales. Este método se considera que es subjetivo ya que clasifica los edificios mediante cálculos simplificados de la estructura y un coeficiente aplicado a dichos parámetros a partir de la experiencia y observación de la edificación. Finalmente, mediante la suma ponderada de esos coeficientes, se calcula el índice de vulnerabilidad que se relaciona directamente con la vulnerabilidad sísmica. Por la gran cantidad de edificios de mampostería que existen en Italia, este método está dedicado sobre todo a estos, pero su aplicación engloba también a las estructuras de hormigón armado.

La validez de este método es innegable, dada la amplia difusión de este y su utilización para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios de muchos centros históricos tanto en Europa como en otros continentes. La descripción original del método está en italiano, idioma natal de los autores. Para poder desarrollar este trabajo se ha tomado como referencia la Monografía CIMNE IS-12 1995: "Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería" en la que se explica este método en español y las tablas que clasifican cada parámetro se han obtenido del "Estudio piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 Pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)" de Chavarría L., D. y Gómez P., D.

2.4.1.1. Parámetros.

Como se ha mencionado antes, existen varios parámetros a tener en cuenta a la hora de calcular la vulnerabilidad de un edificio ya que influyen en el daño estructural.

A estos parámetros se le ha de aplicar un coeficiente ligado a cada una de las clases de vulnerabilidad sísmica. Cada clase determina la calidad sísmica de cada componente estructural y no estructural que afectan a la vulnerabilidad. Para saber que clase hay que otorgarle a cada parámetro se recurre a un formulario que va incorporado en el método donde se establecen unas pautas para proporcionar al investigador un criterio, por tanto, se determinará la clase mediante las características que presenta el edificio.

A partir de la escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini (Tabla 1) se ha especificado un coeficiente K_i para 11 parámetros, considerados los más importantes para determinar la vulnerabilidad de un edificio, clasificados mediante una escala que va de la A a la D, siendo A la óptima y D la pésima. Además, hay que tener en cuenta que no todos los parámetros afectan de la misma manera y con la misma intensidad, por lo que es necesario aplicar un coeficiente de peso W_i a cada parámetro.

Parámetros	Clase K_i				Peso W_i
	A	B	C	D	
1. Organización del sistema resistente.	0	5	20	45	1.00
2. Calidad del sistema resistente.	0	5	25	45	0.25
3. Resistencia convencional.	0	5	25	45	1.50
4. Posición del edificio y cimentación.	0	5	25	45	0.75
5. Diafragma horizontales.	0	5	15	45	1.00
6. Configuración en planta.	0	5	25	45	0.50
7. Configuración en elevación.	0	5	25	45	1.00
8. Distancia máxima entre los muros.	0	5	25	45	0.25
9. Tipo de cubierta.	0	15	25	45	1.00
10. Elementos no estructurales.	0	0	25	45	0.25
11. Estado de conservación.	0	5	25	45	1.00

Tabla 1. Escala de vulnerabilidad, 1984, Benedetti y Petrini.

Finalmente, tras estudiar cada parámetro y aplicar los respectivos coeficientes, el índice de vulnerabilidad se expresa mediante la siguiente expresión:

$$I_v = \sum_{i=1}^{11} K_i \times W_i$$

El valor máximo que puede dar como resultado la fórmula es 382'5, para ello todos los parámetros asignados tendrán que ser D. Por otro lado, el valor mínimo será de 0, ya que todos los parámetros asignados serán A. Para el resto de casos, el índice de vulnerabilidad variará entre ambos valores, y el resultado se expresará en porcentajes de 0% a 100%.

A continuación, se presentará los 11 parámetros a tener en cuenta y las instrucciones para elegir la clase que le corresponde a cada uno de ellos:

1. Tipo y organización del sistema resistente (vertical).

Con este parámetro se evalúa la organización de los elementos verticales de la estructura sin tener en cuenta el tipo de material. Se estimará la presencia y eficiencia de las conexiones ortogonales que aseguren una estructura ortogonal cerrada, tipo cajón.

A	Edificio construido de acuerdo con las recomendaciones de la norma española para la construcción sismo-resistente, específicamente del apartado 4.1 de dicha norma.
B	Edificio que presenta, en todas las plantas, conexiones realizadas mediante vigas de amarre o de adaraja en los muros, capaces de transmitir acciones cortantes verticales.
C	Edificio que, por no presentar vigas de amarre en todas las plantas, está constituido únicamente por paredes ortogonales bien ligadas.
D	Edificio con paredes ortogonales no ligadas.

Tabla 2. Clases para evaluar el tipo y organización del sistema resistente de una estructura, 1984, Benedetti y Petrini.

2. Calidad del sistema resistente. Tipología estructural.

Mediante este parámetro se analiza el tipo de mampostería utilizada en base a su resistencia. Hay que tener en cuenta dos factores: el material y forma de las piezas y la homogeneidad del material. Con esto se estudia la uniformidad de los esfuerzos para saber si hay puntos donde los esfuerzos se condensan generando un punto débil en la estructura.

A	Mampostería en ladrillo o bloques prefabricados de buena calidad. Mampostería en piedra bien cortada, con piezas homogéneas y de dimensiones constantes por toda la extensión del muro. Presencia de ligamento entre las piezas.
B	Mampostería en ladrillo, bloques o piedra bien cortada, con piezas bien ligadas más no muy homogéneas en toda la extensión del muro.
C	Mampostería en piedra mal cortada y con piezas no homogéneas, pero bien trabadas, en toda la extensión del muro. Ladrillos de baja calidad y privados de ligamento.
D	Mampostería en piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad, con la inclusión de guijarros y con piezas no homogéneas o privadas de ligamento.

Tabla 3. Clases para evaluar la calidad del sistema resistente de una estructura, 1984, Benedetti y Petrini.

3. Resistencia convencional.

Para este parámetro se evaluará la resistencia que puede presentar el edificio frente a cargas horizontales teniendo en cuenta que es una estructura cerrada o tipo cajón. Para ello utilizaremos el parámetro sísmico C, dada la fórmula:

$$C = \frac{a_0 \tau_k}{q N} \times \sqrt{\frac{q N}{1.5 a_0 \tau_k (1 + \gamma)}} + 1$$

Donde:

- N = número de pisos.
- τ_k = resistencia a cortante característica del tipo de mampostería (T/m^2). Si no es posible obtener este valor puede tomarse los valores de la tabla siguiente:

Tipo de material	Esfuerzo cortante (T/m ²)
Ladrillo macizo, calidad regular	5-12
Piedra mal tallada	2
Piedra bien tallada	7-9
Ladrillo macizo, buena calidad	18
Bloque macizo, mortero de cemento	18
Mampostería nueva, ladrillo macizo	20
Mampostería nueva, bloque macizo	20
Mampostería nueva, Ladrillo/bloque hueco	18

Tabla 4. Valores recomendados de esfuerzo cortante máximo para paneles de mampostería.

- $a_0 = A / A_t$, Donde A será el área mínima de los muros resistentes en el sentido "x" e "y" (m²), y A_t será el área total de cubierta en planta (m²).
- $\gamma = B / A$, Donde B será el área máxima de los muros resistentes en el sentido "x" e "y" (m²), y A será el área mínima de los muros resistentes en el sentido "x" e "y" (m²).
- q = Peso promedio de un piso por unidad de superficie cubierta. Se asigna al resultado de la siguiente fórmula:

$$q = \frac{(A + B)h}{A_t} \times (P_m + P_s)$$

Donde h será la altura media de los pisos (m), P_m el peso específico de la mampostería (T/m³) y P_s el peso por unidad de área del diafragma (T/m²).

Finalmente, al parámetro C se le establece un valor arbitrario del coeficiente sísmico para calcular el valor normalizado, entonces:

$$\alpha = \frac{C}{0.4}$$

Dependiendo del valor que resulte α se establecerá la clase pertinente al edificio:

A	Estructura con un valor de $\alpha \geq 1$.
B	Estructura para valores comprendidos entre $0.6 \leq \alpha \leq 1$.
C	Estructura para valores comprendidos entre $0.4 \leq \alpha \leq 0.6$.
D	Estructura con un valor de $\alpha < 0.4$.

Tabla 5. Clases para evaluar la resistencia convencional de una estructura, Benedetti y Petrini, 1984.

4. Posición del edificio y de la cimentación.

Este parámetro evalúa, mediante observación, la influencia del terreno y de la cimentación en el comportamiento sísmico del edificio. Incluye aspectos como la solidez y pendiente del terreno, la diferencia de cota de la cimentación y la presencia o no de empuje no equilibrado de un terraplén.

A	Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior o igual al 10%. La fundación está ubicada a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
B	Edificio cimentado sobre roca con pendiente comprendida entre un 10% y un 30% o sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 10% y un 20%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
C	Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 20% y un 30% o sobre terreno rocoso con pendiente comprendida entre un 30% y un 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
D	Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente mayor al 30% o sobre terreno rocoso con pendiente mayor al 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

Tabla 6. Clases para evaluar la posición del edificio y de la cimentación, 1984, Benedetti y Petri.

5. Forjados horizontales.

Este parámetro evalúa la calidad del sistema resistente horizontal para el buen funcionamiento del sistema resistente vertical.

A	Edificio con diafragmas, de cualquier naturaleza, que satisfacen las condiciones: 1. Ausencia de planos a desnivel. 2. La deformabilidad del diafragma es despreciable. 3. La conexión entre el diafragma y los muros es eficaz.
B	Edificio con diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con la condición 1.
C	Edificio con diafragmas como los de la clase A, pero que no cumplen con las condiciones 1 y 2.
D	Edificio cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres condiciones

Tabla 7. Clases para evaluar los forjados horizontales de un edificio, 1984, Benedetti y Petri.

6. Configuración en planta.

Este parámetro clasifica la configuración de la planta mediante la imagen 22 evaluando su simetría. Contra más simétrica sea la planta mejor soportará las acciones sísmicas ya que el esfuerzo que estas implican sobre la planta se repartirá más uniformemente a medida que la simetría sea más alta.

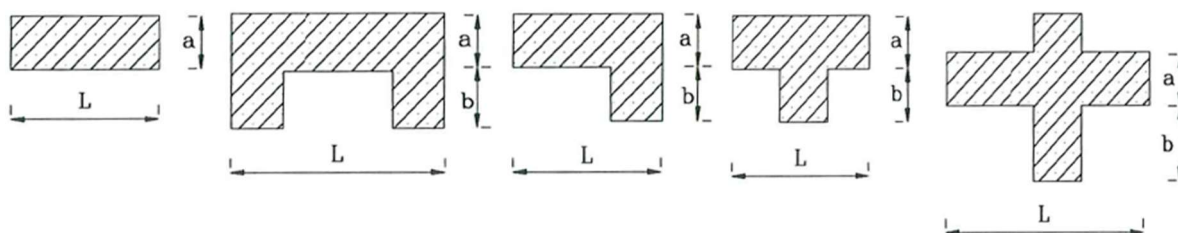


Imagen 22. Parámetro evaluador de la configuración en planta de un edificio, 1984, Benedetti y Petri.

Para determinar la clase se definirán los valores $\beta_1 = a/L$ y $\beta_2 = b/L$, donde a será la dimensión menor del edificio, L la dimensión mayor y b la dimensión de los elementos que sobresalgan de las dimensiones anteriores.

A	Estructura con $\beta_1 \geq 0'8$ ó $\beta_2 \leq 0'1$.
B	Estructura con $0'6 \leq \beta_1 < 0'1$ ó $0'1 < \beta_2 \leq 0'2$.
C	Estructura con $0'4 \leq \beta_1 < 0'6$ ó $0'2 < \beta_2 \leq 0'3$.
D	Estructura con $\beta_1 < 0'4$ ó $\beta_2 > 0'3$.

Tabla 8. Clases para evaluar la configuración en planta de un edificio, 1984, Benedetti y Petrini.

7. Configuración en elevación.

Este parámetro tiene en cuenta las irregularidades en el alzado del edificio que suelen presentarse en forma de torretas o porches, para ello, se recurre a la imagen 23:

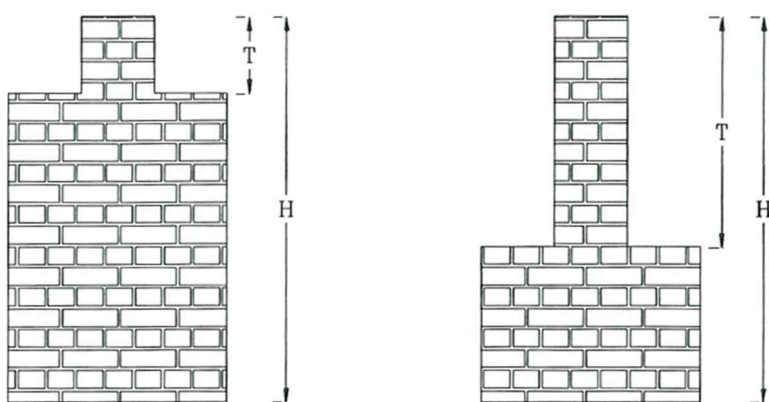


Imagen 23. Parámetro evaluador de la configuración en elevación de un edificio, 1984, Benedetti y Petrini.

Los valores H y T hacen referencia a las alturas de dichas irregularidades. Adicionalmente, para asignar la clase correspondiente, hay que considerar los valores δM , que es la variación de masa entre plantas sucesivas, y M que es la masa de la planta inferior. Lo mismo pasa con δA , variación de área entre plantas sucesivas, y A , área de la planta inferior.

A	Estructura con $-\delta M/M < 10\%$.
B	Estructura con una superficie de porche menor al 10% ó con $10\% \leq -\delta M/M < 20\%$.
C	Estructura con una superficie de porche entre el 10 y el 20% ó con $-\delta M/M > 20\%$ ó $T/H < 2/3$
D	Estructura con una superficie de porche mayor al 20%, con $\delta M/M > 0\%$ ó con $T/H > 2/3$

Tabla 9. Clases para evaluar la configuración en elevación de un edificio, 1984, Benedetti y Petrini.

8. Espaciamiento máximo entre muros.

El parámetro expuesto a continuación considera las posibles grandes luces entre los muros transversales y los muros maestros. Esto hace referencia a todas aquellas remodelaciones donde se eliminan muros secundarios internos aumentando las luces y alterando la vulnerabilidad de la edificación. La clasificación se llevará a cabo mediante el factor L/S , donde L es la luz máxima entre muros y S el espesor del muro maestro.

A	Estructura con $L/S < 15$.
B	Estructura con valores $15 \leq L/S < 18$.
C	Estructura con valores $18 \leq L/S < 25$.
D	Estructura con valores de $L/S \geq 25$.

Tabla 10. Clases para evaluar el espaciamiento entre muros de un edificio, 1984, Benedetti y Petrini.

9. Tipo de cubierta.

Este parámetro evalúa el tipo de cubierta que tiene un edificio respecto a su comportamiento sísmico. Los factores a tener en cuenta cuando se estudia una cubierta es su peso, que ya se ha tenido en cuenta en el parámetro 3, y su tipología la cual se analizará mediante la imagen 24:

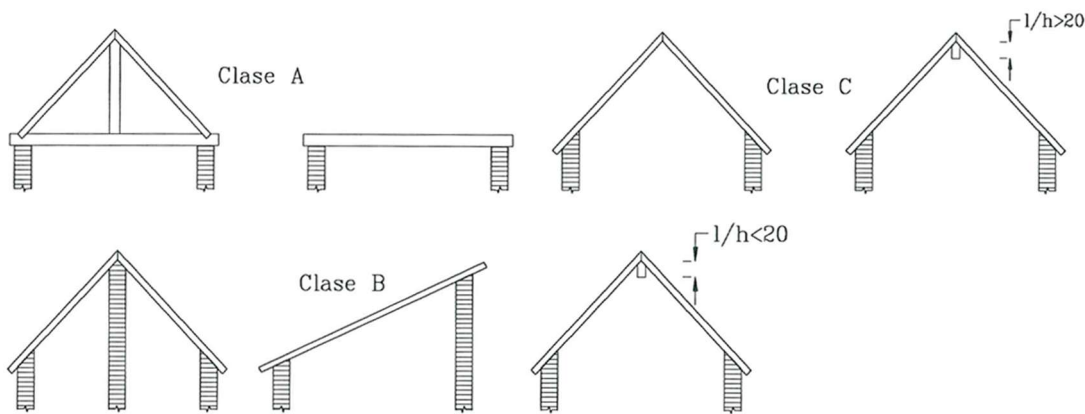


Imagen 24. Parámetro evaluador del tipo de cubierta, 1984, Benedetti y Petrini.

Por tanto,

A	Edificio con cubierta estable y provisto de viga cumbre. Edificio con cubierta plana.
B	Edificio con cubierta estable y bien conectada a los muros, pero sin viga cumbre. Edificio con cubierta parcialmente estable y provisto de viga cumbre.
C	Edificio con cubierta inestable, provisto de viga cumbre.
D	Edificio con cubierta inestable, sin viga cumbre.

Tabla 11. Clases para evaluar el tipo de cubierta de un edificio, 1984, Benedetti y Petrini.

10. Elementos no estructurales.

Para este método hay que evaluar también los elementos no estructurales como cornisas, balcones o cualquier saliente del propio edificio que pueda suponer un riesgo de caída frente a acciones sísmicas. Este parámetro no supone un aumento en la vulnerabilidad ya que no forma parte de la estructura resistente, pero como se ha comentado antes, puede suponer un riesgo de caída y provocar víctimas.

A/B	Edificio sin cornisas y sin parapetos. Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.
C	Edificio con elementos de pequeña dimensión, mal vinculados a la pared.
D	Edificio que presenta chimeneas o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal vinculado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal construidos, que pueden caer en caso de terremoto. Edificio con balcones construidos posteriormente a la estructura principal y conectados a ésta de modo deficiente.

Tabla 12. Clases para evaluar los elementos no estructurales de un edificio, 1984, Benedetti y Petrini.

11. Estado de conservación.

El estado de conservación de un edificio influye también en su vulnerabilidad. La asignación de clase en función de este se refleja la tabla 13.

A	Muros en buena condición, sin lesiones visibles.
B	Muros que presentan lesiones capilares no extendidas, con excepción de los casos en los cuales dichas lesiones han sido producidas por terremotos.
C	Muros con lesiones de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho o con lesiones capilares producidas por sismos. Edificio que no presenta lesiones pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería.
D	Muros que presentan, un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o, lesiones muy graves de más de 3 milímetros de ancho.

Tabla 13. Clases para evaluar el estado de conservación de un edificio, 1984, Benedetti y Petrini.

2.4.2. Caso de estudio.

A continuación, se aplicará el método italiano a la edificación seleccionada asignando la clase de cada parámetro y, finalmente, calculando su vulnerabilidad sísmica.

1. Tipo y organización del sistema resistente (vertical).

La Alquería de Falcó presenta una organización resistente a base de paredes ortogonales bien ligadas, aunque se observa alguna fisura entre ellas (véase imagen 25). Como no dispone de vigas de amarre se le otorgará la **CLASE C (Ki= 20, Wi=1)**.

2. Calidad del sistema resistente. Tipología estructural.

La edificación al ser tan antigua está formada por ladrillos de baja calidad y heterogéneos que, debido al desgaste que ha sufrido, se ha empeorado todavía más la calidad de las piezas y, además, en algunas zonas no presentan ligamento entre ellas (véase imagen 26), por tanto, se le otorgará la **CLASE D (Ki= 45, Wi=0'25)**.

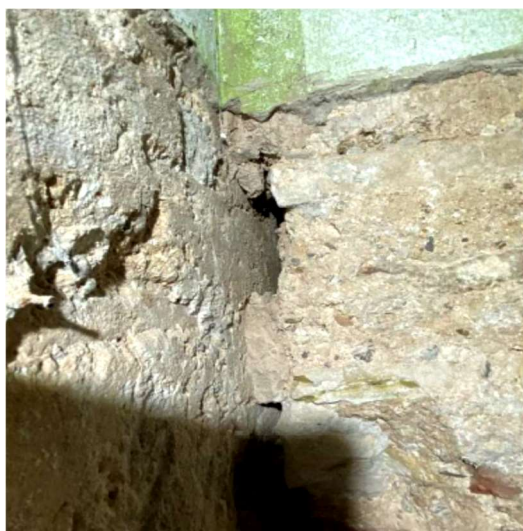


Imagen 25. Fotografía de la unión muro con muro, 2020.



Imagen 26. Fotografía de las piezas desgastadas en la fachada, 2021.

3. Resistencia convencional.

Se ha utilizado la fórmula del coeficiente sísmico C teniendo en cuenta los pesos de cada planta, las cuales van disminuyendo a medida que se elevan respecto al terreno, y no el número de estas, dando como resultado:

$$N=1$$

$$A_t= 420'84 \text{ m}^2$$

$$A_x \text{ y } B= 39'388 \text{ m}^2$$

$$A_y \text{ y } A= 29'898 \text{ m}^2$$

$$\tau_k= 5 \text{ T/m}^2$$

$$h \text{ media}= 3'36 \text{ m}$$

$$P_m= 1'6 \text{ T/m}^3$$

$$P_s= 0'12 \text{ T/m}^2$$

$$a_0= 0'071$$

$$\gamma= 1'317$$

$$q= 2'167 \text{ T/m}^2$$

$$C= 0'272$$

Finalmente, $\alpha = C/0,4 = 0'68$, valor en el rango de $0,6 \leq \alpha < 1$, se le otorga **CLASE B (Ki= 5, Wi= 1'5)**.

4. Posición del edificio y de la cimentación.

Para evaluar este parámetro se tomará como referencia los datos que proporciona la página Geoweb sobre el terreno donde está ubicada la edificación.

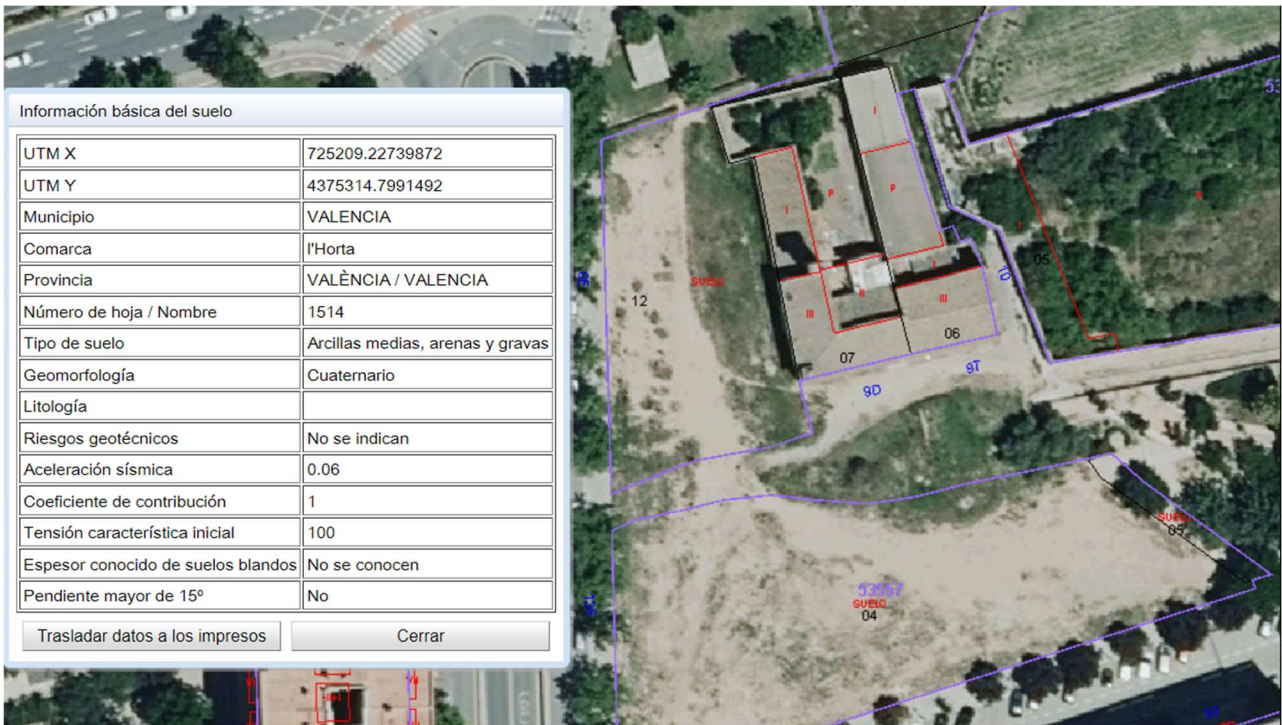


Imagen 27. Datos geotécnicos del emplazamiento de la Alquería de Falcó.

Por tanto, como no hay riesgos geotécnicos, no hay una pendiente mayor del 15% y no hay desniveles en el terreno, se asignará la **CLASE A (Ki= 0, Wi= 0'75)**.

5. Forjados horizontales.

Los forjados que se presentan en la Alquería de Falcó tienen una deformabilidad considerable al tratarse de forjados con vigas de madera, pero la conexión de los muros con los forjados es adecuada, aunque en algunas zonas se observan fisuras (imagen 29), por ende, se le otorgará a este parámetro la **CLASE C (Ki= 15, Wi= 1)**.



Imagen 28. Fotografía de la unión del forjado de cubierta con muro, 2020.

6. Configuración en planta.

La forma de la Alquería de Falcó (imagen 31) es aproximadamente rectangular, por ende, se tomará la imagen 30 para determinar el valor β_1 :

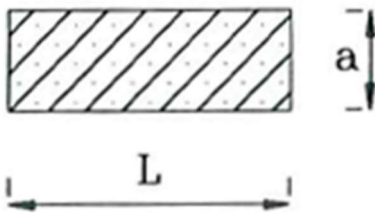


Imagen 29. Parámetro evaluador de la configuración en planta, 1984, Benedetti y Petrini.

$$a = 14'9 \text{ m}$$

$$L = 29'7 \text{ m}$$

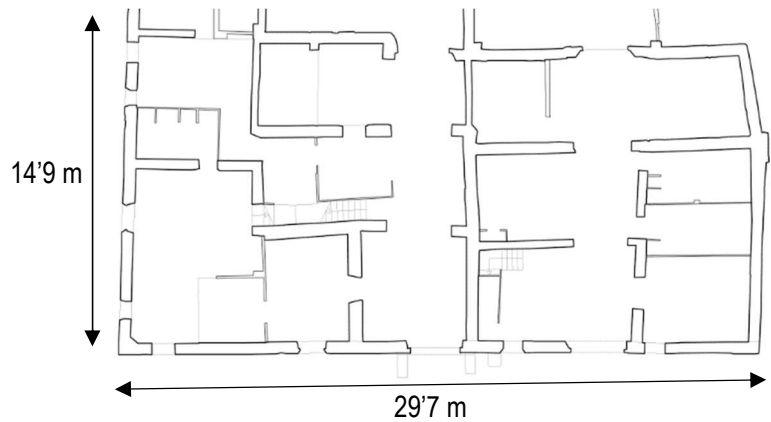


Imagen 30. Planta baja de la alquería de Falcó.

Tras el cálculo $\beta_1 = 0'502$, por tanto, la **CLASE** será **C** ($K_i = 25$, $W_i = 0'5$), ya que $0'4 \leq \beta_1 < 0'6$.

7. Configuración en elevación.

Para evaluar este parámetro se optará por la variación de área entre plantas consecutivas en porcentaje, por ende, se tomará para el cálculo el área de la planta baja y la planta primera ya que es donde hay más variación, entonces:

$$A (\text{Planta baja}) = 421'35 \text{ m}^2$$

$$\delta A (\text{Planta primera}) = 326'24 \text{ m}^2$$

$-\delta A / A = -0'77 = -77\%$, por tanto, $100\% - 77\% = 23\%$. Finalmente, como este valor es mayor que el 20%, será **CLASE C** ($K_i = 25$, $W_i = 1$).

8. Espaciamiento máximo entre muros.

La luz más grande en la Alquería de Falcó se encuentra en la galería dispuesta en planta primera, la cual tiene doble altura (imagen 32), por tanto:



$$L = 12,5 \text{ m}$$

$$S_{\text{medio}} = (0'17 + 0'53) / 2 = 0'35 \text{ m}$$

$$L/S = 35'7$$

Imagen 31. Planta segunda de la alquería de Falcó.

En conclusión, al ser el parámetro L/S tan alto, se le otorgará la **CLASE D (Ki= 45, Wi= 0'25)**.

9. Tipo de cubierta.

La cubierta que presenta la Alquería de Falcó tiene viga cumbreira, se puede observar en la imagen 32, y, además, es parcialmente estable, por tanto, la **CLASE** que se le otorgará es la **B (Ki= 15, Wi= 1)**.



Imagen 32. Fotografía de la cubierta de la alquería de Falcó, 2020.

10. Elementos no estructurales.

La edificación no tiene balcones, pero sí cornisas en algunas ventanas que tienen áreas despreciables. Asimismo, en la cubierta de la alquería hay unos bolardos decorativos que tienen unas dimensiones pequeñas y poco peso considerando el peso de la cubierta. Además, la alquería cuenta con un torreón prácticamente estable que no presenta peligro de derrumbamiento (todo esto se puede observar en el alzado norte de la alquería, imagen 34), por tanto, se le otorgará a este parámetro la **CLASE B (Ki= 0, Wi= 0'25)**.



Imagen 33.. Fotografía de la fachada norte de la alquería de Falcó, 2021.

11. Estado de conservación.

Como ya se ha comentado antes, este edificio, por el paso de los años, ha sufrido un gran deterioro y su estado de conservación es pésimo, tanto el interior como el exterior, por ende, se le otorgará la clase más baja, es decir, la **CLASE D (Ki= 45, Wi= 1)**.

Tras haber otorgado a cada parámetro su respectiva clase, se calculará la vulnerabilidad sísmica mediante la fórmula anteriormente explicada:

$$Iv = (20 \times 1) + (45 \times 0'25) + (5 \times 1'5) + (0 \times 0'75) + (15 \times 1) + (25 \times 0'5) + (25 \times 1) \\ + (45 \times 0'25) + (15 \times 1) + (0 \times 0'25) + (45 \times 1) = 162'5$$

El resultado obtenido se ha de expresar de manera normalizada, por tanto, siendo el 100% el valor 382'5, el índice de vulnerabilidad obtenido será **42'48**. Este valor obtenido para vulnerabilidad se analizará en el apartado siguiente.

2.4.2.1. Cuadro resumen del estudio.

Parámetro	Explicación	Clase	K_i	W_i	I_v
1. Organización del sistema resistente.	Edificio que, por no presentar vigas de amarre en todas las plantas, está constituido únicamente por paredes ortogonales bien ligadas.	C	20	1	20
2. Calidad del sistema resistente.	Mampostería en piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad, con la inclusión de guijarros y con piezas no homogéneas o privadas de ligamento.	D	45	0'25	11,25
3. Resistencia convencional.	$0'6 \leq \alpha < 1$	B	5	1'5	7'5
4. Posición del edificio y de la cimentación.	Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior o igual al 10%. La fundación está ubicada a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.	A	0	0'75	0
5. Forjados horizontales.	Edificio con diafragmas, de cualquier naturaleza, que satisface la condición: la conexión entre el diafragma y los muros es eficaz.	C	15	1	15
6. Configuración en planta.	$0'4 \leq \beta_1 < 0'6$	C	25	0'5	12'5
7. Configuración en elevación.	$A/\delta A > 20\%$	C	25	1	25
8. Distancia máxima entre los muros.	$L/S \geq 25$	D	45	0'25	11'25
9. Tipo de cubierta.	Edificio con cubierta estable y bien conectada a los muros, pero sin viga cumbreira. Edificio con cubierta parcialmente estable y provista de viga cumbreira.	B	15	1	15
10. Elementos no estructurales.	Edificio sin cornisas y sin parapetos. Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.	A/B	0	0'25	0
11. Estado de conservación.	Muros que presentan, un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o, lesiones muy graves de más de 3 milímetros de ancho.	D	45	1	45
Índice de vulnerabilidad normalizado					162'5 = 42'48

2.5. Resultados del estudio.

Tras analizar cada parámetro que propone el método italiano y hallar el valor de la vulnerabilidad sísmica mediante la fórmula que propone, se obtiene que el caso de estudio de este trabajo tiene un 42,48% de vulnerabilidad sísmica. Este valor está en el rango $13,7 < I_v \leq 52$ y, por ende, se puede considerar vulnerabilidad sísmica media, pero como se acerca más al valor establecido como alto, se catalogará como vulnerabilidad sísmica media-alta, y por tanto debe de ser tratada.

Como se observa en el cuadro resumen, los parámetros más vulnerables son: organización del sistema resistente, calidad del sistema resistente, forjados horizontales, configuración en planta, configuración en elevación, distancia máxima entre los muros y estado de conservación. Los parámetros para los que no se proponen mejoras, debido a que son características propias de la edificación son la configuración en planta ya que tiene que ver con cómo fue planteado planimétricamente y, por tanto, no se puede cambiar, lo mismo sucede con la configuración en elevación.

Para el resto de parámetros se van a proponer unas posibles intervenciones que permitan disminuir la vulnerabilidad sísmica.

3. Propuestas y re-evaluación.

3.1. Propuestas de mejora.

1. Organización del sistema resistente.

El sistema resistente de la edificación presenta paredes ortogonales bien ligadas, pero no hay presencia de vigas de amarre. El requisito para mejorar la clase de vulnerabilidad sísmica de este parámetro es disponer de estas vigas de amarre para así asegurar que la estructura ortogonal este bien cerrada formando una tipología tipo cajón.

Según el Ingeniero civil y medioambiental, Tim L. G. Michiels⁴, para edificios históricos de mampostería la aplicación de vigas de amarre de madera funciona adecuadamente ya que este material es compatible con la tierra, es más flexible que otros materiales como por ejemplo el hormigón, es fácil de disponer y tiene una buena relación calidad-precio. Para edificios que tengan muros de espesor moderado a grueso, el uso de una placa relativamente delgada en la parte superior de los muros, corroborando que las vigas conecten todas las paredes incluso en las esquinas, será suficiente para aumentar su resistencia frente a los movimientos sísmicos, haciendo que esta intervención sea sutil, sin dañar a la estructura original del monumento histórico.

Por tanto, se propone aplicar vigas de amarre de madera en toda la parte superior de los muros de la alquería, que permitirá otorgarle una mayor clase a este parámetro (clase c a **CLASE B**) disminuyendo así la vulnerabilidad.

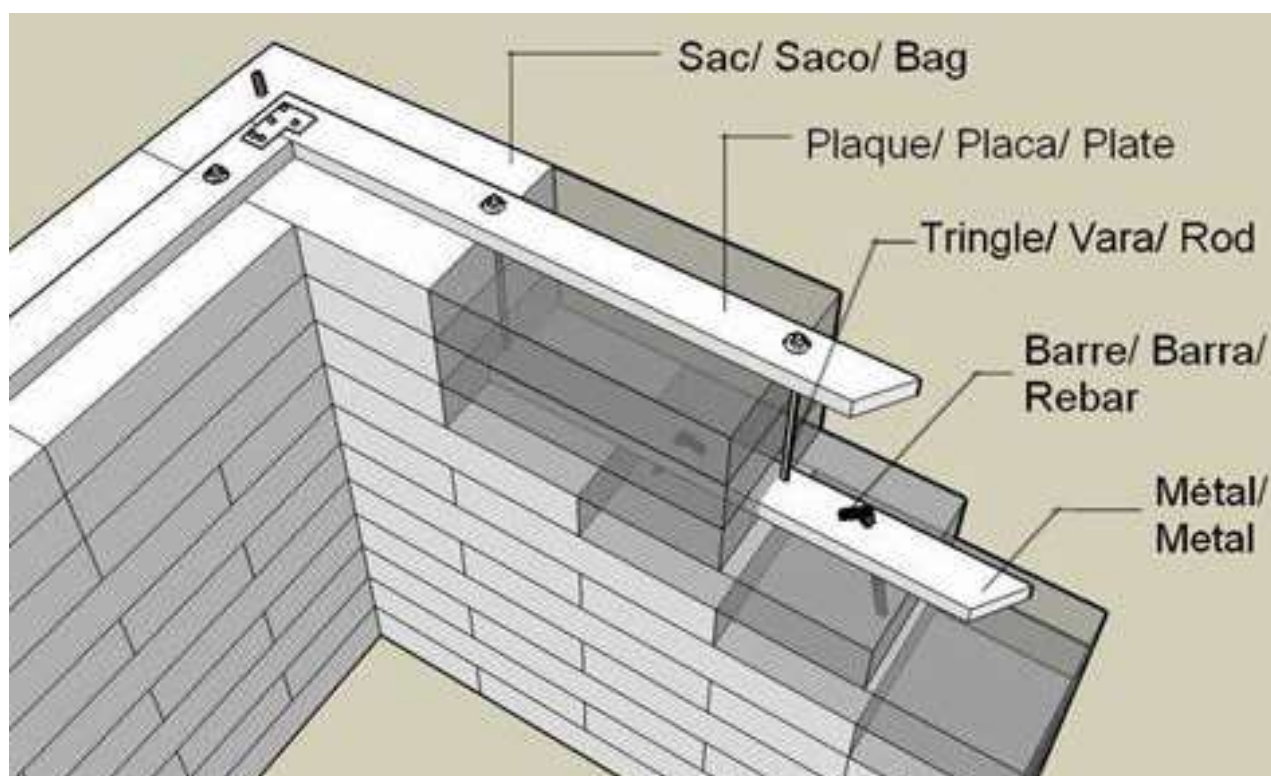


Imagen 34. Esquema de disposición de la viga de amarre de madera sobre el muro de mampostería.

⁴ Fuente: Michiels, T. (2015): *Seismic Retrofitting Techniques for Historic Adobe Buildings*. International Journal of Architectural Heritage. [pág. 1061] <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15583058.2014.924604>>.

2. Calidad del sistema resistente. Tipología estructural.

En el caso de la calidad del sistema resistente, como se ha comentado anteriormente, las piezas que presenta los muros de la edificación son heterogéneas y de baja calidad. Este parámetro no es mejorable ya que, si se cambiara las piezas de la edificación, se perdería el monumento cultural.

Por otra parte, la alquería presenta zonas localizadas donde se ha perdido el enlucido y las piezas han estado expuestas al exterior, y por ende a acciones temporales, sufriendo desgaste y pérdida de ligamento. Para estas zonas se propondrá una mejora basándonos en los métodos propuestos por la casa comercial MAPEI para muros de carga de mampostería:

- Para el refuerzo de los muros de carga, se propone el método del “remiendo” o de la “sustitución” que evitará que la estructura tenga fallos debidos a las piezas en mal estado. Consiste en:

1º Eliminar las piezas irregulares y/o poco cohesionadas (imagen 35).

2º Limpiar los planos de apoyo del mortero antiguo con hidrolavado a baja presión y dejar un contorno irregular que permita la unión de las nuevas piezas a los ya existentes.

3º Colocar el nuevo mortero y seguidamente las piezas nuevas (véase imagen 36). Procurar que tanto el mortero como las piezas sean compatibles con la estructura ya existente para evitar incompatibilidades fisicoquímicas.



Imagen 35. Fotografía del proceso de eliminación.



Imagen 36. Fotografía de la colocación del nuevo mortero y nuevas piezas.

- Por último, para el nuevo revestimiento del muro se sugiere la técnica de refuerzo frente a acciones fuera del plano y en el plano de fachada con revoques de bajo espesor, que asegurará que el enlucido no se desprenderá generando otra vez deterioro:

1º Regularizar el muro con una primera capa de mortero (imagen 37, punto 2).

2º Sobre la anterior capa, colocar una malla de fibra de vidrio (imagen 37, punto 3).

3º Volver a aplicar una nueva capa de mortero sobre la malla mientras aún está fresca (punto 4 de la imagen 37).

4º Aplicar la capa de acabado, en este caso el enlucido (punto 5 de la imagen 37).

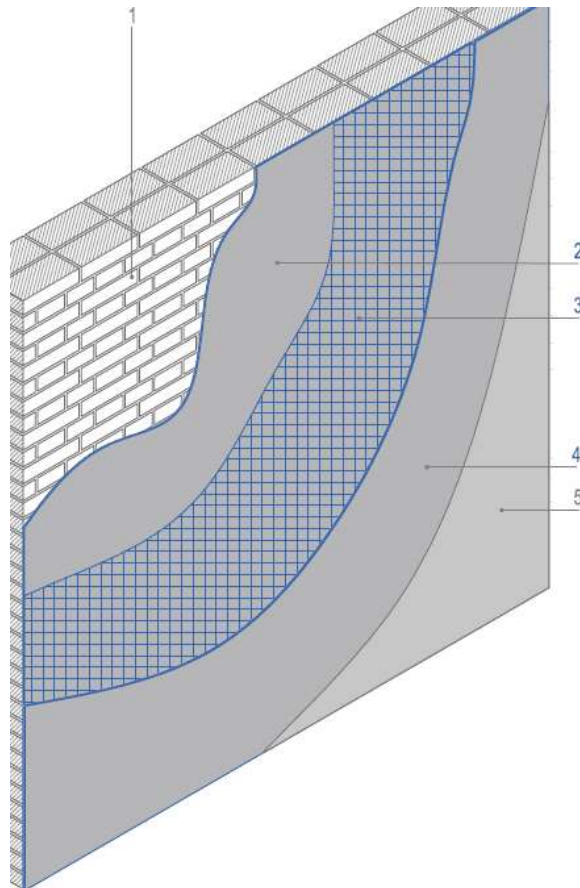


Imagen 37. Esquema de la técnica refuerzo frente a acciones fuera del plano y en el plano de fachada con revoques de bajo espesor.

Después de la aplicación de todas estas medidas, la clase de este parámetro aumentará de clase D a **CLASE B** donde la mampostería seguirá siendo homogénea, pero estará bien ligada.

5. Forjados horizontales.

El mayor problema del forjado de la Alquería de Falcó es que tiene una deformabilidad alta debido a que es un forjado de vigas de madera. Debido a esto, se propone mejorar la flecha del forjado mediante una rigidización a partir de la aplicación de una losa de hormigón ligero. Para ello, nos basaremos en la técnica utilizada por la casa comercial LATERLITE (imagen 38) para refuerzos de forjados de viga de madera y revoltón cerámico:

- 1º Se eliminará las capas de arena/grava y de pavimento del forjado.
- 2º Se anclará a las vigas unos conectores estructurales. Estos conectores son los encargados de enlazar la losa con las vigas y formar así la rigidización deseada.
- 3º Se aplicará una primera capa de hormigón antes de colocar la armadura y luego se suministrará el resto del material.
- 4º Se rematará con un pavimento unido a la losa mediante un mortero.

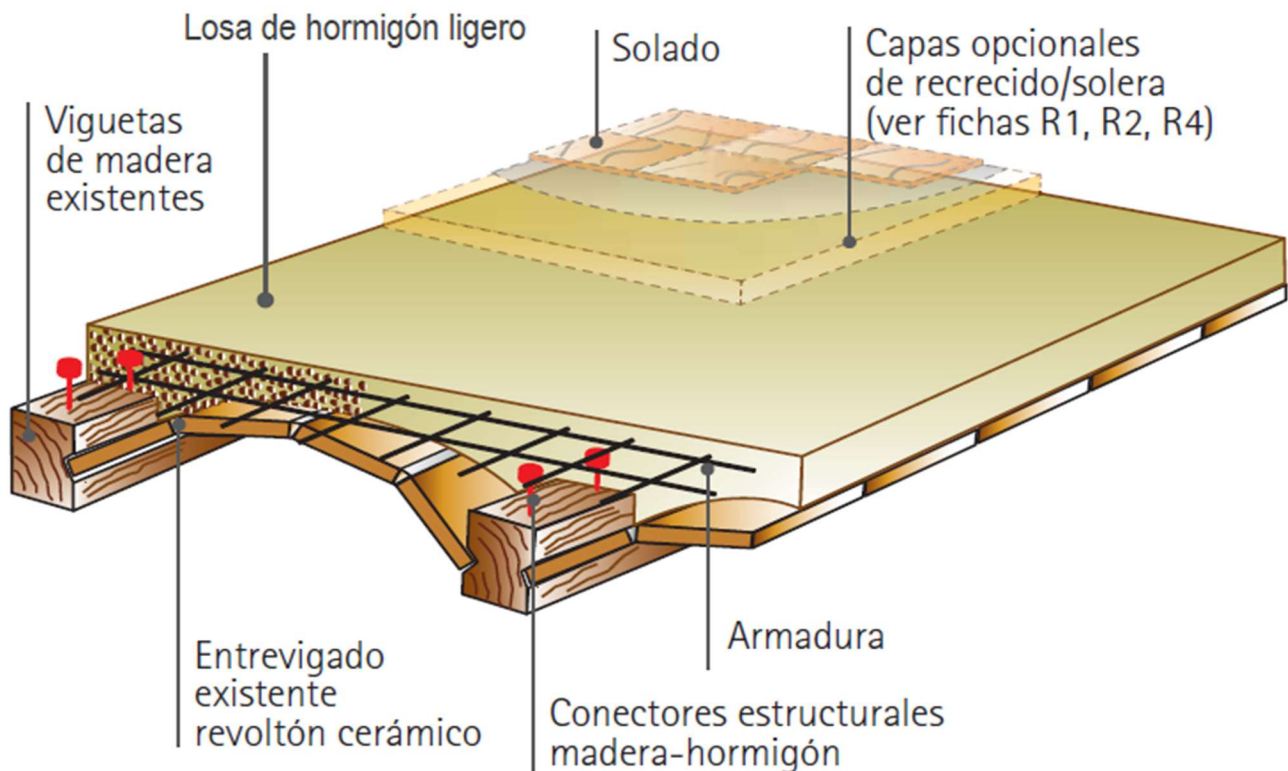


Imagen 38. Esquema del nuevo forjado de madera con entrevigado cerámico.

Una vez ejecutada la intervención y al no presentar la edificación planos desnivel, la nueva clase que se le otorgará al monumento será la **CLASE A**.

8. Distancia máxima entre los muros.

Este parámetro en sí, forma parte del proyecto de la edificación y, por ende, no puede cambiarse, pero sí que se va a recomendar que en las galerías del segundo piso (imagen 39), donde reside el problema, se compartimenten o generen machones en la pared para crear nuevos puntos de apoyo entre los muros o que se refuerce los muros de apoyo que ya existen aumentando el espesor de estos. Estas dos medidas no son totalmente óptimas ya que la primera puede desvirtuar la edificación y, por otra parte, el espesor de los muros existentes ya es bastante considerable para aumentarlo más.

Como este parámetro se considera como característica de la planimetría de la edificación y se necesitan medidas exactas para el cálculo, no se tendrá en cuenta, pero estará a esperas de la restauración que se va a llevar a cabo. Por tanto, su **CLASE** seguirá siendo **D**.



Imagen 39. Plano de la planta primera de la alquería de Falcó.

11. Estado de conservación.

El estado de conservación del edificio es pésimo y, por ende, la mejor manera de aumentar este parámetro es llevar a cabo una restauración. El Ayuntamiento de Valencia ya ha puesto en marcha el proyecto de restauración de la alquería con el objetivo de transformarla en un edificio público. Por tanto, al llevarse a cabo estas medidas, se presupone que la conservación pasará a ser totalmente óptima, y por consecuencia, la clase aumentará de clase D a **CLASE A**.

3.1.1. Cuadro resumen de las mejoras.

Parámetro	Explicación	Clase	K_i	W_i	l_v
1. Organización del sistema resistente.	Edificio que presenta, en todas las plantas, conexiones realizadas mediante vigas de amarre o de adaraja en los muros, capaces de transmitir acciones cortantes verticales.	B	5	1	5
2. Calidad del sistema resistente.	Mampostería en ladrillo, bloques o piedra bien cortada, con piezas bien ligadas más no muy homogéneas en toda la extensión del muro.	B	5	0'25	1'25
3. Resistencia convencional.	$0'6 \leq \alpha < 1$	B	5	1'5	7'5
4. Posición del edificio y de la cimentación.	Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior o igual al 10%. La fundación está ubicada a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.	A	0	0'75	0
5. Forjados horizontales.	Edificio con diafragmas, de cualquier naturaleza, que satisfacen las condiciones: ausencia de planos a desnivel, la deformabilidad del diafragma es despreciable y la conexión entre el diafragma y los muros es eficaz.	A	0	1	0
6. Configuración en planta.	$0'4 \leq \beta_1 < 0'6$	C	25	0'5	12'5
7. Configuración en elevación.	$A/\delta A > 20\%$	C	25	1	25
8. Distancia máxima entre los muros.	$L/S \geq 25$	D	45	0'25	11'25
9. Tipo de cubierta.	Edificio con cubierta estable y bien conectada a los muros, pero sin viga cumbreira. Edificio con cubierta parcialmente estable y provista de viga cumbreira.	B	15	1	15
10. Elementos no estructurales.	Edificio sin cornisas y sin parapetos. Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.	A/B	0	0'25	0
11. Estado de conservación.	Muros en buena condición, sin lesiones visibles.	A	0	1	0
Índice de vulnerabilidad normalizado					77'5 = 20'26

3.2. Resultados de la re-evaluación.

Tras calcular de nuevo la vulnerabilidad sísmica teniendo en cuenta las mejoras propuestas, se ha conseguido disminuir el índice de vulnerabilidad de 42'48 a un 20'26. El anterior valor obtenido representaba una vulnerabilidad sísmica media-alta, $13'7 < I_v \leq 52$, y tras recalcularla se ha obtenido una vulnerabilidad sísmica media-baja. Con esta intervención se ha conseguido una disminución apreciable del índice de vulnerabilidad, por tanto, el resultado puede considerarse satisfactorio.

Como se ha comentado anteriormente, se está a la espera de la restauración de la Alquería de Falcó, propuesta por el Ayuntamiento de Valencia, que mejorará las características de la edificación y posiblemente disminuya mucho más la vulnerabilidad sísmica.

4. Conclusión.

Este trabajo final de grado ha conseguido completar la metodología especificada y, sobre todo, los objetivos propuestos. Primero, se ha recopilado información sobre la Alquería de Falcó justificando el estudio de su vulnerabilidad sísmica por ser un Bien de Relevancia Local. Se ha analizado la construcción de la edificación y dibujado los planos satisfactoriamente, gracias a la documentación aportada por el Servicio de Arquitectura y Servicios Centrales Técnicos del Ayuntamiento de Valencia Posteriormente se han establecido las clases de vulnerabilidad sísmica asociadas a cada uno parámetros propuestos por el Método Italiano y, finalmente, se ha obtenido el índice de vulnerabilidad que presenta la Alquería de Falcó en la actualidad.

La vulnerabilidad sísmica ha resultado ser media-alta ya que a los parámetros “organización del sistema resistente”, “calidad del sistema resistente”, “forjados horizontales”, “configuración en planta”, “configuración en elevación”, “distancia máxima entre los muros” y “estado de conservación” les corresponde una clase baja por lo que, para algunos de ellos, se ha propuesto una serie de mejoras para disminuir el valor original del índice de vulnerabilidad sísmica. Tras las propuestas de mejora, se ha logrado disminuir la vulnerabilidad sísmica de media-alta a media-baja, por tanto, se concluye que las mejoras son adecuadas para solucionar los problemas que presenta la Alquería de Falcó.

En conclusión, la Alquería de Falcó es parte de la cultura de la Huerta Valenciana y tras este estudio se espera poder contribuir a conservar esta cultura y favorecer a la creación de ciudades y comunidades más sostenibles. Este trabajo puede servir para otras intervenciones futuras o con el fin de compartir el conocimiento, o simplemente, para demostrar o inspirar a las futuras generaciones de mujeres que pueden trabajar en este campo.

Bibliografía.

Libros y Monografías.

Del Rey Aynat, J., Rosselló, V. & Consell Valencià de Cultura (2002): *Alqueries: paisatge i arquitectura en l'horta*. Valencia, España: Consell Valencià de Cultura.

Fuente: F. Yépez, A. H. Barbat & J. A. Canas (1995): *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería*. Barcelona: Monografías de Ingeniería Sísmica.

Tesis, trabajo final, tesina.

Mena Hernández, U. (2002): *Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.

Romero Iglesias, F. (2016): *la Alquería Falcó (Valencia): estudio y propuesta de conservación*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

Referencias electrónicas y páginas web.

Ayuntamiento de Valencia. Área de Urbanismo (2001): *Catálogo de Bienes Protegidos*.

<[http://www.valencia.es/ayuntamiento/urbanismo2.nsf/0/3E94E7789950B520C125799900480B8D/\\$FILE/TOMO%200.%20MEMORIA_firmado.pdf?OpenElement](http://www.valencia.es/ayuntamiento/urbanismo2.nsf/0/3E94E7789950B520C125799900480B8D/$FILE/TOMO%200.%20MEMORIA_firmado.pdf?OpenElement)>

Código Técnico de la Edificación (2010): *Catálogo de elementos constructivos*.

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/aplicaciones/nCatalog_infoEConstr/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf>

Generalitat Valenciana. Conselleria de Governació i Justícia (2015): *Plan Especial frente al riesgo sísmico*.

<http://www.112cv.gva.es/documents/163565706/163566509/PE_Incendios.pdf/a158aa37-7228-42cf-889f-c3ab8ee3071c>

Lista Roja del patrimonio: *Alquería Falcó*. <<https://listarojapatrimonio.org/ficha/alqueria-falco/>>

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales: *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. <<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali>>

Artículos.

Aimeur, C. (2017): *“Aquí vivía yo”: La tragedia de la Alquería Falcó, o cómo acabó en manos de ‘buitres’*. Valencia, España: Valenciaplaza. <<https://valenciaplaza.com/la-tragedia-de-la-alqueria-falco-o-como-acabo-en-manos-de-buitres>>

Periódico Levante (2020): *Comienzan las obras para conservar la Alquería Falcó*. Valencia, España: Periodico Levante. <<https://www.levante-emv.com/valencia/2020/01/19/comienzan-obras-conservar-alqueria-falco-11706707.html>>.

Michiels, T. (2015): *Seismic Retrofitting Techniques for Historic Adobe Buildings*. International Journal of Architectural Heritage. <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15583058.2014.924604>>.

Hart, K. (2015): *Alternative Bond Beams and Lintels for Straight, Vertical Walls*. EarthbagBuilding. <<http://www.earthbagbuilding.com/articles/bondbeam.htm>>.

Otros.

SEG Ingeniería (2021): *Evaluación estructural de la Alquería Falcó*. Valencia, España: SEG Ingeniería. <<https://www.seg-sa.es>>.

MAPEI (2019): *Manual de refuerzo estructural*. España: MAPEI. <https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider47/line-technical-documentation-documents/manual-refuerzo-estructural.pdf?sfvrsn=df98f675_16>.

LATERLITE (2016): *Manual de soluciones ligeras y aislantes para edificación para rehabilitación y obra nueva con base de arcilla expandida Laterlite*. España: SOFCAR. <<https://sofcar.es/2020/02/22/refuerzo-ligero-y-estructural-de-forjados>>

Imágenes.

Imagen 1. Huerta y Contribución particular de la Ciudad de Valencia, 1693, Cassaus, F.A.

Fuente: Archivo de José Huguet.

Imagen 2. Fotografía de la alquería de Falcó, siglo XX, Autor desconocido.

Fuente: Del Rey Aynat, J., Rosselló, V. & Consell Valencià de Cultura (2002): *Alqueries: paisatge i arquitectura en l'horta*. Valencia, España: Consell Valencià de Cultura. [Pág. 42].

Imagen 3. Planos de la evolución de la planta de la alquería de Falcó. Plantas redibujadas a partir de documentación bibliográfica del Miguel del Rey.

Fuente: Del Rey Aynat, J., Rosselló, V. & Consell Valencià de Cultura (2002): *Alqueries: paisatge i arquitectura en l'horta*. Valencia, España: Consell Valencià de Cultura. [Pág. 126].

Imagen 4. Fotografía del incendio, 16 de marzo de 2011, Montenegro, F.

Fuente: Asociación de vecinos de Torrefiel.

Imagen 5. Fotografía del interior de la alquería de Falcó, acceso a la torre de fundición de perdigones, 2017, Taberner, K.

Fuente: Aimeur, C. (2017): *"Aquí vivía yo": La tragedia de la Alquería Falcó, o cómo acabó en manos de 'buitres'*. Valencia, España: Valenciaplaza. <<https://valenciaplaza.com/la-tragedia-de-la-alqueria-falco-o-como-acabo-en-manos-de-buitres>>.

Imagen 6. Fotografía de la Alquería de Falcó en la actualidad, 2021.

Fuente: elaboración propia.

Imagen 7. Situación de los muros de fábrica de ladrillo, fotografía de la fachada principal de la Alquería de Falcó, 2021.

Fuente: elaboración propia.

Imagen 8. Fachada oeste de la Alquería de Falcó, 2021.

Fuente: elaboración propia.

Imagen 9. Detalle del muro de fábrica de ladrillo.

Fuente: elaboración propia.

Imagen 10. Situación de los muros de tapia valenciana y de ladrillo encofrado, fotografía de la fachada principal de la Alquería de Falcó, 2021.

Fuente: elaboración propia.

Imagen 11. Zona donde se encuentra la tapia valenciana, fachada norte de la Alquería Falcó, 2021.

Fuente: elaboración propia.

Imagen 12. Detalle del muro de tapia valenciana.

Fuente: elaboración propia.

Imagen 13. Fotografía de la fachada norte en esquina con la este de la Alquería Falcó, 2021.

Fuente: elaboración propia.

Imagen 14. Detalle del muro de ladrillo encofrado.

Fuente: elaboración propia.

Imagen 15. Esquema del forjado unidireccional de vigueta de madera con entrevigado con revoltón de ladrillo cerámico. Esquema redibujado a partir de la documentación proporcionada por SEG Ingeniería.

Fuente: SEG Ingeniería (2021): *Evaluación estructural de la Alquería Falcó. Valencia, España: SEG Ingeniería.* <<https://www.seg-sa.es>>.

Imagen 16. Fotografía del forjado unidireccional de vigueta de madera con entrevigado con revoltón de ladrillo cerámico, 2021, SEG Ingeniería.

Fuente: SEG Ingeniería (2021): *Evaluación estructural de la Alquería Falcó. Valencia, España: SEG Ingeniería.* <<https://www.seg-sa.es>>.

Imagen 17. Fotografía del forjado de viguetas de madera con entrevigado de ladrillo plano cerámico sobre listones de madera, 2021, SEG Ingeniería.

Fuente: SEG Ingeniería (2021): *Evaluación estructural de la Alquería Falcó. Valencia, España: SEG Ingeniería.* <<https://www.seg-sa.es>>.

Imagen 18. Esquema del forjado de viguetas de madera con entrevigado de ladrillo plano cerámico sobre listones de madera. Esquema redibujado a partir de la documentación proporcionada por SEG Ingeniería.

Fuente: SEG Ingeniería (2021): *Evaluación estructural de la Alquería Falcó. Valencia, España: SEG Ingeniería.* <<https://www.seg-sa.es>>.

Imagen 19. Esquema de la cubierta de teja cerámica sobre rastreles de madera. Esquema redibujado a partir de la documentación proporcionada por SEG Ingeniería.

Fuente: SEG Ingeniería (2021): *Evaluación estructural de la Alquería Falcó. Valencia, España: SEG Ingeniería.* <<https://www.seg-sa.es>>.

Imagen 20. Fotografía de la cubierta de la alquería de Falcó, 2020.

Fuente: SEG Ingeniería (2021): *Evaluación estructural de la Alquería Falcó. Valencia, España: SEG Ingeniería.* <<https://www.seg-sa.es>>.

Imagen 21. Detalle de la cubierta de teja cerámica sobre rastreles de madera.

Fuente: SEG Ingeniería (2021): *Evaluación estructural de la Alquería Falcó*. Valencia, España: SEG Ingeniería. <<https://www.seg-sa.es>>.

Imagen 22 y 29. Parámetro evaluador de la configuración en planta de un edificio, 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: F. Yépez, A. H. Barbat & J. A. Canas (1995): *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería*. Barcelona: Monografías de Ingeniería Sísmica. [Pág. 58].

Imagen 23. Parámetro evaluador de la configuración en elevación de un edificio, 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: F. Yépez, A. H. Barbat & J. A. Canas (1995): *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería*. Barcelona: Monografías de Ingeniería Sísmica. [Pág. 59].

Imagen 24. Parámetro evaluador del tipo de cubierta de un edificio, 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: F. Yépez, A. H. Barbat & J. A. Canas (1995): *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería*. Barcelona: Monografías de Ingeniería Sísmica. [Pág. 60].

Imagen 25. Fotografía de la unión muro con muro, 2020.

Fuente: SEG Ingeniería (2021): *Evaluación estructural de la Alquería Falcó*. Valencia, España: SEG Ingeniería. <<https://www.seg-sa.es>>.

Imagen 26. Fotografía de las piezas desgastadas en la fachada, 2021.

Fuente: elaboración propia.

Imagen 27. Datos geotécnicos del emplazamiento de la Alquería de Falcó, 2021.

Fuente: Geoweb <<http://www.five.es:8080/geoweb>>.

Imagen 28. Fotografía de la unión del forjado de cubierta con muro, 2020.

Fuente: SEG Ingeniería (2021): *Evaluación estructural de la Alquería Falcó*. Valencia, España: SEG Ingeniería. <<https://www.seg-sa.es>>.

Imagen 30. Plano de la planta baja de la alquería de Falcó. Esquema redibujado a partir de la documentación proporcionada por SEG Ingeniería.

Fuente: SEG Ingeniería (2021): *Evaluación estructural de la Alquería Falcó*. Valencia, España: SEG Ingeniería. <<https://www.seg-sa.es>>.

Imagen 31 y 39. Plano de la planta primera de la alquería de Falcó. Esquema redibujado a partir de la documentación proporcionada por SEG Ingeniería.

Fuente: SEG Ingeniería (2021): *Evaluación estructural de la Alquería Falcó*. Valencia, España: SEG Ingeniería. <<https://www.seg-sa.es>>.

Imagen 32. Fotografía de la cubierta de la alquería de Falcó, 2020.

Fuente: SEG Ingeniería (2021): *Evaluación estructural de la Alquería Falcó*. Valencia, España: SEG Ingeniería. <<https://www.seg-sa.es>>.

Imagen 33. Fotografía de la fachada norte de la alquería de Falcó, 2021.

Fuente: elaboración propia.

Imagen 34. Esquema de disposición de la viga de amarre de madera sobre el muro de mampostería.

Fuente: Hart, K. (2015): *Alternative Bond Beams and Lintels for Straight, Vertical Walls*. EE.UU: EarthbagBuilding. <<http://www.earthbagbuilding.com/articles/bondbeam.htm>>.

Imagen 35. Fotografía del proceso de eliminación de las piezas dañadas.

Fuente: MAPEI (2019): *Manual de refuerzo estructural*. España: MAPEI. [Pág. 133]. <https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider47/line-technical-documentation-documents/manual-refuerzo-estructural.pdf?sfvrsn=df98f675_16>.

Imagen 36. Fotografía de la colocación del nuevo mortero y nuevas piezas.

Fuente: MAPEI (2019): *Manual de refuerzo estructural*. España: MAPEI. [Pág. 133]. <https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider47/line-technical-documentation-documents/manual-refuerzo-estructural.pdf?sfvrsn=df98f675_16>.

Imagen 37. Esquema de la técnica refuerzo frente a acciones fuera del plano y en el plano de fachada con revoques de bajo espesor.

Fuente: MAPEI (2019): *Manual de refuerzo estructural*. España: MAPEI. [Pág. 139]. <https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider47/line-technical-documentation-documents/manual-refuerzo-estructural.pdf?sfvrsn=df98f675_16>.

Imagen 38. Esquema del nuevo forjado de madera con entrevigado cerámico.

Fuente: LATERLITE (2016): *Manual de soluciones ligeras y aislantes para edificación para rehabilitación y obra nueva con base de arcilla expandida Laterlite*. España: SOFCAR. [Pág. 15]. <<https://sofcar.es/2020/02/22/refuerzo-ligero-y-estructural-de-forjados>>

Tablas.

Tabla 1. Escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales: *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. <<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali>>

Tabla 2. Clases para evaluar el tipo y organización del sistema resistente de una estructura. 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales: *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. <<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali>>

Tabla 3. Clases para evaluar la calidad del sistema resistente de una estructura, 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales: *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. <<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali>>

Tabla 4. Valores recomendados de esfuerzo cortante máximo para paneles de mampostería, 1986, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales: *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. <<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali>>

Tabla 5. Clases para evaluar la resistencia convencional de una estructura, 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales: *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. <<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali>>

Tabla 6. Clases para evaluar la posición del edificio y de la cimentación, 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales: *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. <<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali>>

Tabla 7. Clases para evaluar los forjados horizontales de un edificio, 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales: *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. <<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali>>

Tabla 8. Clases para evaluar la configuración en planta de un edificio, 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales: *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. <<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali>>

Tabla 9. Clases para evaluar la configuración en elevación de un edificio, 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales: *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. <<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali>>

Tabla 10. Clases para evaluar el espaciamiento entre muros de un edificio, 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales: *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. <<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali>>

Tabla 11. Clases para evaluar el tipo de cubierta de un edificio, 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales: *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. <<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali>>

Tabla 12. Clases para evaluar los elementos no estructurales de un edificio, 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales: *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. <<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali>>

Tabla 12. Clases para evaluar el estado de conservación de un edificio, 1984, Benedetti D. y Petrini V.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales: *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. <<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali>>

