

CÓDIGO 1.6.21

EL ARCO DE DESCARGA COMO MECANISMO DE ROTURA DE PAREDES. ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD

Paricio Casademunt, Antoni

Universidad Politécnica de Cataluña
Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Valles
antoni.paricio@upc.edu

PALABRAS CLAVE: arco, pared, rotura,

RESUMEN:

El trabajo que se presenta, forma parte de un amplio estudio de investigación del parque edificado y de su soporte tecnológico. Las estructuras básicas que lo han materializado la comprenden los sistemas de paredes de carga, es decir, organizaciones estructurales previas al sistema porticado desarrollado tanto con tecnologías metálicas como de hormigón armado.

El objeto de esta aportación, se basa en demostrar que la rotura de las paredes que modifican su equilibrio cuando la base que las sustenta cede o se deforma, rompen a través del mecanismo de arco de descarga, que geoméricamente, varía en función de diversas variables, entre ellas, el material de constitución, la sollicitación de la pared o la relación entre esta y el resto de la estructura.

La metodología empleada, se basa en el análisis de diferentes casos reales de rotura en edificios existentes, así como, en el análisis de diverso material de archivo de roturas que formalizan arcos de descarga. En su conjunto, se demuestra una cierta coincidencia en las proporciones de rotura con alguna excepción, en el cual, la constitución geométrica de la pared con respecto al resto del edificio, formaliza arcos de descarga de curvatura muy plana.

Los resultados y conclusiones se presentan como realidades que podrían complementarse como elementos de discusión y debate.

1. INTRODUCCIÓN

Los mecanismos de rotura de las paredes, formalizando parábolas de descarga, han sido estudiados en diversidad de ocasiones, dando lugar a resultados que, inicialmente, podrían considerarse dispersos, pero que posteriormente, se acotaron en resultados semejantes. Se pretende en esta aportación, reunir en su conjunto ciertos estudios que han dado lugar a resultados que inicialmente, podrían considerarse concluyentes, pero que la realidad ha demostrado que diversos factores pueden alterar sus geometrías.

2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Si bien la bibliografía es variada, este autor pretende citar dos casos diferentes en el sentido de comparar conclusiones de distintas épocas. Cristóbal Russo [1] en 1934 relata un experimento a escala real, que le lleva a declarar unas conclusiones. Este, se basaba en colocar sobre dos machones de obra de fábrica de

ladrillo tomado con mortero de cemento, una tabla de pequeño espesor, de poca inercia y por tanto deformable. (Fig.1) Para ello, previamente dispuso de un puntal provisional en el centro. Encima de dicha tabla y a lo largo de los machones, se materializó un muro de fábrica de ladrillo sin mortero de asiento, esto es, en contacto uno con otro a fin de facilitar su deslizamiento.

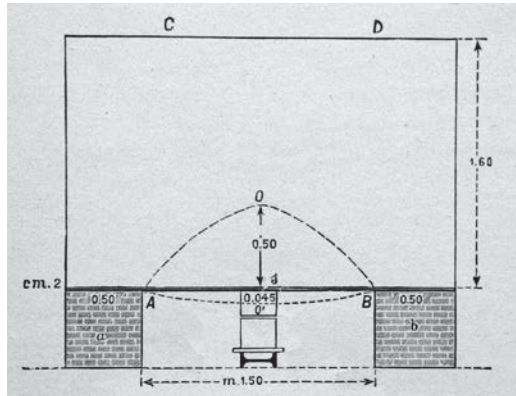


Figura 1 Esquema del experimento



Figura 2 Resultado del experimento

El experimento, consistía en retirar bruscamente el puntal central de la madera que actuaba como dintel, todo ello para provocar la flecha del mismo y así observar y medir el arco de descarga obtenido. El resultado puede observarse en la figura 2, donde después de formarse el arco, el resto de la fábrica quedó acomodado y en equilibrio.

Las conclusiones, pueden resumirse en que la flecha del arco de descarga era de 0,33 veces la luz entre apoyos. En definitiva, que un muro seco al deformarse su base de apoyo, se autoequilibraba formando un arco de descarga de forma parábola de proporciones 1/3. Dicho de otra forma, que la flecha de la parábola era 0,33 veces la luz.

Contemporáneo a Cristóbal Russo, y en un ámbito mas local, destacamos a otro autor, Juan José Nieto [2] que en sus aportaciones bibliográficas, repite de diferentes formas un ejercicio de cálculo de un dintel para hacer una ampliación de un balcón. En este caso, se dibuja un triangulo de descarga pero se valora indistintamente todo el espacio situado por encima de la intervención (Fig.3), incluso, los dos forjados “tradicionales” que forman la cubierta “a la catalana” ventilada por la fachada. Se trata en este caso, de una hipótesis de cálculo muy generalizada en la época. Al ser los forjados paralelos a la pared objeto de intervención, estos no se tienen en cuenta a efectos de cargas. También se puede observar, que se valora por aproximación el triangulo de carga.

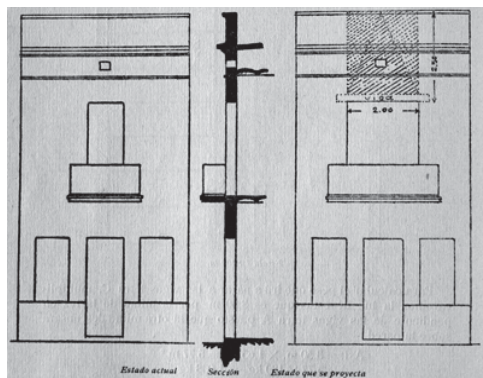


Figura 3 Hipótesis de cálculo de dintel

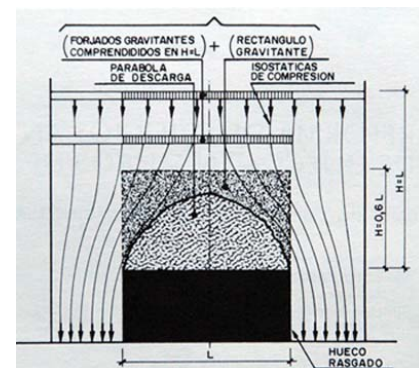


Figura 4 Hipótesis de parábola de descarga

Unos años más tarde, Soto Pardo [3] en un artículo en la revista “Informes de la Construcción”, analiza el proceso de ejecución de un apeo, dibujando el posible desprendimiento del área de descarga. Esta área, la valora según la norma MV Muros resistentes de fábrica de ladrillo de 1972. En su matiz más estricto, distingue la parábola de descarga, cuya flecha es de 0,46 veces la luz y el rectángulo gravitante, que lo valora según la MV, esto es, 0,6 veces la luz.

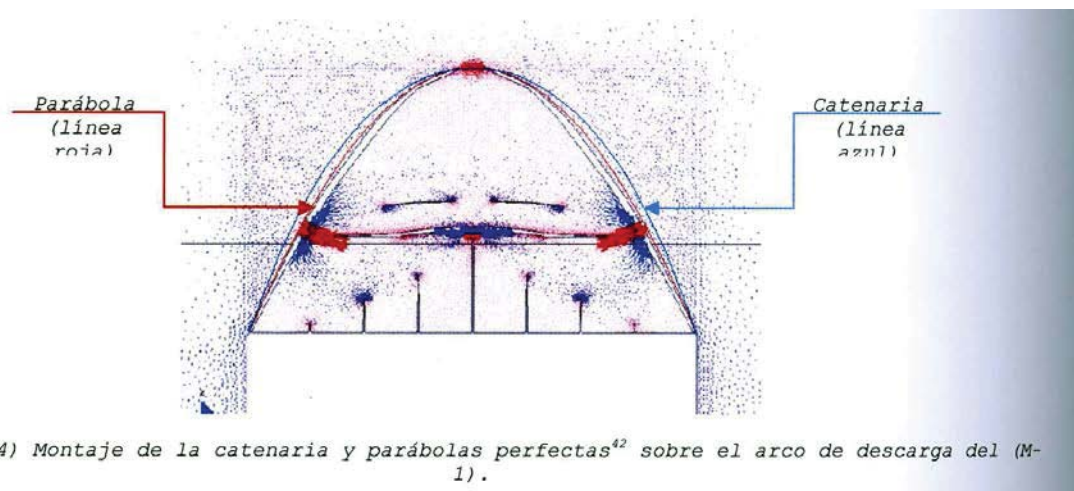
Como conclusiones iniciales, podemos afirmar que se disponen de antecedentes con mucha dispersión de hipótesis de formación de arco de descarga.

3 INVESTIGACIÓN CONTEMPORÁNEA

En un ámbito más contemporáneo, podemos citar y destacar la Tesis Doctoral de Lucrecia Calderón [4] En el mencionado trabajo de investigación, se destaca como finalidad “ayudar a entender mejor el comportamiento de dichas intervenciones (apeos) en aspectos relevantes tales como formas, dimensiones y posición de los huecos; influencia de las condiciones del contorno de las paredes, influencia del zuncho de borde embebido en el forjado y diferentes patrones de fisuras en algunas topologías de paredes”. Se trata, de paredes interiores de edificio que forman parte de un conjunto estructural. Se destaca en este apartado, un fragmento muy significativo del amplio trabajo de investigación, por tanto, cualquier profundización del tema implica sumergirse en su elaborado texto.

Efectivamente, en sus conclusiones para “un modelo simétrico con zuncho de dimensiones insignificantes” indica que el trazado del arco cumple con el Código Técnico por alcanzar una altura equivalente al 60% de la longitud del hueco. Cabe recordar, que esta proporción es la que también indicaba la antigua norma española MV 201 Muros resistentes de fábrica de ladrillo.

En otro apartado de sus conclusiones, indica que el arco no es exactamente una catenaria sino más bien una parábola. Justifica el hecho porque una catenaria es la deformación obtenida por la acción del peso propio, mientras que la parábola es la deformada originada por una carga lineal. Como resumen de esta conclusión parcial muestra el gráfico de la figura 5, donde compara las tres curvas, esto es, la forma del arco de descarga, la catenaria y la parábola. También inscribe en el mismo dibujo las fisuras obtenidas.



(GRAF.8: 4) Montaje de la catenaria y parábolas perfectas⁴² sobre el arco de descarga del (M-1).

Figura 5 Superposición de líneas de rotura (Lucrecia Calderón)

4 CASUÍSTICAS REALES DE ROTURA Y FORMACIÓN DE ARCO DE DESCARGA

Es a partir de estos diversos antecedentes, que este autor ha intentado investigar cierta diversidad de situaciones, los cuales contribuyan a matizar estos mecanismos de rotura. Para ello se exponen diversos casos en que se producen disequilibrios en paredes, siempre sin zunchos, los cuales y posteriormente, nos inducirán a concluir con resultados dispersos.

4.1 Rotura de pared y equilibrio de la misma a partir de una bomba de la Guerra Civil. (Fig. 6)

A partir de una imagen de archivo, podemos constatar que después de una explosión en un edificio de viviendas del Ensanche de Barcelona, se formó un arco de descarga. En una segunda lectura, se puede observar que dos tramos de forjado que se apoyaban en dicha fachada también se hundieron y el resto de la misma se mantuvo en equilibrio. Las características técnicas de la fachada, era de fábrica de ladrillo tocho macizo de 30 centímetros de espesor tomado con mortero de cal. Es difícil de precisar a partir del documento, la proporción entre la altura de la parábola y la anchura del hueco.

4.2 Desplazamiento en vertical de arco rebajado y formación de arco de descarga hasta antepecho de ventana. (Fig. 7)

Se trata en este caso, de un desplazamiento lateral de la fachada, este, ha comportado un descenso del arco rebajado como puede observarse sobre todo en la dovela inicial izquierda. La situación de la ventana y sobretodo, la solución constructiva de una sola piedra en el antepecho, modifica substancialmente la lógica de la rotura a través de una parábola. También, la situación del hueco con respecto al arco rebajado. El colapso no se produce debido a la geometría del arco que impide el descenso. En este caso, se trata de una pared formada por fábrica de mampostería ordinaria tomada con mortero de cal. En definitiva, el arco no sería representativo en un aspecto generalista.



Figura 6 Formación de arco de descarga a partir de una explosión



Figura 7 Formación de arco de descarga por por sientto parcial

4.3 Flecha excesiva de jácena y rotura de la fachada formando arco de descarga. (Fig. 8)

Se trata en este caso de una lesión muy sencilla de patología. El techo de madera situado en el exterior de un porche, se ve sometido periódicamente a un cambio de humedad por lluvia y consecuencia de ello, es la modificación del módulo de deformación de la madera. Efectivamente, en este caso, la jácena inferior

que soporta la pared, se deforma y esta deformación se hace incompatible con la rigidez de la fábrica de ladrillo. Igual que en caso anterior, la deformación se inicia a partir de las esquinas de la ventana, por tanto, el hueco tiene una incidencia decisiva en la formación geométrica de la rotura.

4.4 Rotura parcial de fachada y reequilibrio del sistema. (Fig. 9)

Se trata en este caso, del pasado terremoto de Aquila y sus consecuencias en las desorganizaciones de diversos tipos de fábricas. Podemos observar en la parte superior de esta iglesia, la rotura parcial de la fábrica de mampostería soportada por un arco rebajado de fábrica de ladrillo. El reequilibrio del sistema, ha permitido evitar el colapso total. Desde el punto de vista de las proporciones se puede observar que la altura de la parábola es igual o superior al ancho de la ventana, por tanto, la flecha con respecto a la luz es de una proporción 1:1. Se puede observar perfectamente la diferencia de rotura cuando existe hueco o no.



Figura 8 Deformación de jácena de madera e incompatibilidad de la rigidez de la fábrica



Figura 9 Auto equilibrio de fábrica, a partir de una sacudida sísmica y formación de arco de descarga

4.5 Rotura de pared de tapial y formación de arco de descarga (Fig. 10) (Fotografía cedida por Bombers de la Generalitat de Catalunya)

En este caso, nos encontramos con fábrica de tapial, esto es, con un material relativamente homogéneo, al contrario de los casos anteriores. En el estudio de la rotura, no se determinaron las causas, pero lo cierto es que se formalizó un colapso de la pared y el resto de la fachada quedo auto equilibrada formando un arco de descarga. Las proporciones de dicho arco son aproximadamente de 1:3, esto es, que la altura de la parábola es 0,35 veces el ancho del hueco inferior.

En la imagen se puede observar que la dirección del forjado es paralela a la pared colapsada, por tanto, a diferencia del caso 4.1, este no queda afectado y por tanto mantiene su estado de equilibrio. El tabique interior que se observa en la fotografía, se ejecuto en su momento para regularizar el plano irregular de la pared de tapial, por tanto, se ejecutó encima del forjado que ha quedado en equilibrio. Por ultimo, hay que hacer énfasis en el equilibrio de la ventana, el cual por diferentes mecanismos de adherencia, continúa en su posición inicial a pesar de la falta de apoyo lateral e inferior.



Figura 10 Colapso de fachada de tapial y formación de arco de descarga "reequilibrante"



Figura 11 Formación de arco de descarga por asiento y rotura de dintel

4.6 Rotura de torre medieval y formación de arco de descarga en hueco de ventana. (Fig. 11)

Los movimientos de asiento debidos al subsuelo, desorganizaron el sistema de paredes que formaban la geometría cuadrada de la torre. Al abrirse una grieta vertical, esta rompió el dintel y se produjo el deslizamiento vertical que muestra la fotografía. Como consecuencia de ello, se formo un arco de descarga muy irregular siguiendo la lógica de la junta entre sillares. El trabado del hueco debido a la cruz de San Andrés y el plano de desplazamiento inclinado, favoreció un nuevo estado de equilibrio del sistema. La proporción entre la flecha y la luz, es de 0,7:1. Hay que notar la diferencia de comportamiento del tipo de fábrica en la geometría de rotura si comparamos las figuras 10 y 11.

4.7 Hundimiento de pared de carga por sobrepeso de agua acumulada. (Fig. 12)

Se trata de una antigua "masia" catalana, cuya construcción a través de los siglos consiste en añadir "cuerpos de edificios" según las necesidades campesinas. Estos espacios añadidos y adyacentes a través de los tiempos, responden a una lógica autónoma en su funcionalidad y en su auto desagüe de cubierta. En uno de estos añadidos, coincidió que el desagüe de la primera cubierta, terminara en una canal adosada a la pared del nuevo espacio como si fuese una medianera. La falta de mantenimiento facilito el relleno del canal de tierras y hierba, ocasionando un taponamiento en el desagüe. El peso propio del agua de lluvia,

hundió parcialmente el techo y arrastró la pared de carga del elemento añadido. “Curiosamente” se formó un arco de descarga “muy rebajado” que equilibró la cubierta de este cuerpo añadido. Las vigas de madera de la misma están dispuestas perpendicularmente al arco formado, lo cual nos indica que el final de una pared, favorece la formación de un arco de proporciones muy diferentes a que estuviera en zonas más bajas. En este ejemplo, está claro que la lógica de las proporciones que hemos venido citando, no tiene nada que ver con la realidad. En definitiva, que la proporción de 0,6 de flecha con respecto a los apoyos, “normalizados” inicialmente, en la MV 201 y posteriormente, en el Código Técnico, no deja de ser un caso generalista que habría que matizar en las diferentes casuísticas.



Figura 12 Formación de arco de descarga a partir de la rotura de pared de carga

5 CONCLUSIONES

En base a los estudios previos antecedentes y a la diversidad de situaciones y casos expuestos, se pueden concretar las siguientes conclusiones:

- a) La formación de arcos de descarga “ocasionales”, se producen debido a un desequilibrio de partes o fragmentos de paredes producidos por diferentes causas, de las cuales podemos destacar, asientos parciales, flechas de dinteles, explosiones, movimientos sísmicos, etc.
- b) La formación “real” de los arcos de descarga, ocasiona “geometrías” relacionadas directamente con el tipo de material de que está formado la fábrica, esto es, el tapial por ser una fábrica homogénea, “dibuja” una curva continua, mientras las fábricas heterogéneas, las juntas entre material son las que formalizan geometrías quebradas. El formato del mampuesto o ladrillo, precisa o distorsiona la geometría de la parábola.
- c) La formación geométrica de los arcos de descarga, viene condicionada por diversas variables, tales como, si el tipo de pared es maciza o con huecos, si la pared es interior o de fachada o también si la pared forma parte de un sistema organizado de fábrica.

d) En todos los siniestros analizados, no existe ningún caso en que se haya producido un hundimiento total. En general, se puede afirmar que a partir de deformaciones parciales, se producen auto equilibrios que mantienen el sistema de paredes.

e) Cuando la rotura de ha producido en la parte superior de la pared, se ha formado un arco rebajado pero no parabólico, por tanto, y en general, el lugar donde se produce la rotura, condiciona la geometría de rotura.

6 BIBLIOGRAFIA

[1] Russo, Cristóbal. *Lesiones en los edificios*. Salvat Editores, S. A. Barcelona 1934

[2] Nieto, Juan José. *Guía técnica del albañil y contratista*. Barcelona 1934

[3] Soto Pardo, M. *Reforma de edificios antiguos. El rasgado de huecos en muros de carga*. Informes de la Construcción nº 374. Octubre de 1985

[4] Calderon, Lucrecia. (Tesis doctoral inédita) *Estudio sistemático de los apeos en paredes de obra de fábrica, con especial atención a la fisuración y a los mecanismos de colapso*. Barcelona, 2009 Director: Dr. Arq. Jordi Maristany

[5] Drysdale, R. [et altres] *Masonry Structures. Behavior and Desing*. Prentice hall, 1994
ISBN: 0-13-562026-0