



Sistema estructural sismorresistente de las ruinas de Waullac en Huaraz – Perú, 2023

Earthquake resistant structure system of the Waullac ruins in Huaraz -Perú, 2023

 Wilder Rimac Mendez^{1*}

 Jaime Blas Cano¹

¹Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - Huaraz - Perú.

Recibido: 20 Ene, 2024 | Aceptado: 06 May, 2024 | 20 Jul.2024

Autor: de correspondencia*: rimacm@unasam.edu.pe

Como citar este artículo: Rimac Mendez, W., & Blas Cano, J. Sistema estructural sismorresistente de las ruinas de Waullac en Huaraz – Perú, 2023. *Aporte Santiaguino*, 17(1). <https://doi.org/10.32911/as.2024.v17.n1.1117>

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo conocer el sistema estructural sismorresistente de las ruinas de Waullac en Huaraz - Perú, 2023. La metodología posee un diseño no experimental, descriptivo y trasversal. La población de estudio fueron las ruinas de Huaraz, de muestra no probabilística. La técnica y formato de recolección de datos fue la observación y mediante una ficha se recolectó información del material, forma y tamaño. Para los resultados se utilizó la norma E.030, diseño sismorresistente. Los resultados describen que las ruinas están compuestas de tierra, piedras y vegetación. Las piedras con medidas promedios son: tipo 1, con 6 cm diámetro; tipo 2, de 17-35 cm de diámetro; tipo 3, de 2-6 cm de espesor, 30 cm de longitud y 20 cm de ancho; tipo 4, piedra grande, de 32 cm de espesor, 46,6 cm de ancho y 1,2 m de longitud; tipo 5, piedras extra grandes, de 1,70-4,10 m. El sistema estructural de las ruinas de Waullac está formada de cuatro componentes estructurales: cimentación, sobre cimentación, muros y techo. En conclusión, las ruinas disipan la energía sísmica mediante esfuerzo por contacto y movimiento entre los componentes estructurales. Cumplen la filosofía de la norma E 030, presentan estabilidad, no colapsan, soportan sismo y evitan pérdidas de vida. Se concluye que las ruinas de Waullac poseen un sistema estructural sismorresistente.

Palabras Clave: componentes estructurales; sistema estructural; estructura sismorresistente.

ABSTRACT

This research aimed to understand the earthquake-resistant structural system of the ruins of Waullac in Huaraz - Perú, 2023. The methodology has non experimental, descriptive and transversal design, the population is made up of the ruins of Huaraz, with non probabilistic sample. The technique and data collection format was observation and information on the material, shape and size was collected using a form; For the results, the E.030 earthquake resistant design standard was used. The results describe, the ruins are composed of earth, stones and vegetation. Stones with average measurements: type 1 diameter 6cm; type 2 diameter between 17-35cm; type 3 thickness 2-6cm with length 30cm and width 20cm; type 4 large stone thickness 32cm, width 46,6cm and length 1,2m; type 5 extra large stones of 1,70-4,10m. The structural system of the Waullac ruins is made up of four structural components: foundation, on foundation, walls and roof. In conclusion, the ruins dissipate seismic energy through contact stress and movement between the structural components; They comply with the philosophy of the E 030 standard, present stability, do not collapse, withstand earthquakes and prevent loss of life. It is concluded that the ruins of Waullac have an earthquake resistant structure system.

Keywords: Structural components; structural system; earthquake resistant structure.



INTRODUCCIÓN

Los restos arqueológicos de Waullac son de la época preinca y pertenecen a la cultura Wari (600 a. C.). Poseen diez estructuras, de las cuales dos están íntegras. Una de ellas posee parte del muro y techo derrumbado. En seis estructuras, solo se puede apreciar parte de su muro, a un metro de altura. Una estructura ha sido adecuada para cultivo (Mejía, 2019). Las estructuras incompletas nos permiten observar sin realizar manipulaciones y ningún daño a las ruinas, el estudio descriptivo de los tipos de materiales, de los componentes estructurales y la forma en la que se disipa la energía sísmica.

El terremoto más fuerte registrado en la zona del departamento de Ancash se originó en Chimbote el 31 de mayo de 1970 con una magnitud de 7,9 MW en la escala de magnitud del momento. Se dice que estuvo cerca de ser un cataclismo, una catástrofe, pero para los residentes fue más que eso ya que hubo pérdidas de estructuras, materiales, y, sobre todo, pérdida de vidas. Los daños más fuertes ocurrieron en la zona sierra Huaraz, Carhuaz, Yungay y Caraz. Huaraz fue destruido en 90% y tuvo un total de diez mil muertos, que fue el 50% de la población (Barrón y Zubieta, 2020). El terremoto fue identificado con una intensidad de VII-VIII en la escala de Mercalli. El grado fue de muy fuerte a destructivo (Heras, 2002).

Los componentes estructurales de las ruinas son agrupaciones de materiales de piedra y tierra, con o sin vegetación. Este conjunto forma componentes que no son rígidos, pero que son flexibles, unidos por el confinamiento que es la tierra. Internamente, cada componente posee continuidad, sujeto a movimientos debido al estado de esfuerzo por contacto. A diferencia de las estructuras continuas o de elementos barra, que son estructuras rígidas, estas estructuras poseen una masa uniforme, pero que se pueden identificar fácilmente qué elementos la componen, pero sí en forma global, como elemento continuo o de barra (Cervera y Blanco, 2014).

El sistema estructural, según la norma técnica E.030 diseño sismorresistente, está conformado por un conjunto de elementos estructurales que poseen la capacidad de transmitir carga. Puede ser fuerza o momento que resulta del peso de las estructuras y de todo lo que lo compone, del viento, sismo, movimientos diferenciales y cambios dimensionales restringidos (E.020, 2006). Estos sistemas estructurales poseen una filosofía y principio de diseño sismorresistente, que son evitar pérdidas de vida, asegurar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños a las propiedades. Estos sistemas estructurales son de concreto armado, de acero, de albañilería, de madera, de tierra. Entre las descritas no hay muros con las componentes identificadas en las ruinas de Waullac (E.030, 2018).

Según la norma técnica E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (2018), una estructura sismorresistente considera los siguientes principios: las estructuras no deben colapsar ante el efecto del sismo, deberán soportar el sismo y experimentar daños que no comprometan a la estructura para el colapso y deben permanecer en funcionamiento luego del sismo y otras cargas.

Para los distintos sistemas estructurales mencionados, las estructuras deben tener la capacidad de absorber la demanda de la acción sísmica y otras cargas (disipación sísmica), considerando la filosofía del diseño para admitir daños en los elementos estructurales sin llegar al colapso. La disipación de energía se produce debido a la capacidad de los elementos estructurales para absorber la energía sísmica. Esto se logra al acumular energía elástica en los elementos mediante el desarrollo de esfuerzos, deformaciones e incluso fisuras y rótulas plásticas. Además, implica la capacidad de transmitir cargas entre los elementos estructurales hasta la cimentación, considerando la rigidez o semirigidez de la estructura, especialmente en el caso del acero (Herráiz, 1997). El suelo está compuesto de tierra, piedra, minerales y otros componentes. Ante la acción sísmica, la energía se libera causando movimientos por las ondas y las componentes se deforman jalando o empujando las partes vecinas. De esta manera, las deformaciones viajan debido a la perturbación del sismo y no las componentes del suelo que solo sufren desplazamientos de su posición inicial y pueden volver a su posición original de acuerdo al movimiento. El cuerpo sólido es susceptible a cambios volumétricos. Si tiene las propiedades elásticas, esta puede recuperar su condición inicial. Esto no sucede en el caso de los volúmenes de suelos o componentes que constan de tierra, piedra con o sin vegetación debido a que no son cuerpos elásticos, pues se deforman cambiando su volumen inicial, lo cual se consolida por los estados de esfuerzo de contacto y movimiento o puede generar separación, desprendimientos de las uniones que poseen bajo su confinamiento de tierra o tierra y vegetación (Ordoñez, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación posee diseño no experimental, descriptivo y trasversal. Se buscó determinar ciertas características de las ruinas de Waullac, los materiales que las conforman y las componentes de las estructuras para determinar si son estructuras sismorresistentes (Borja, 2016).

La población la conformaron todas las ruinas ubicadas en Huaraz por pertenecer a la misma zona sísmica —que es un factor de análisis de las estructuras— y también por pertenecer a la misma influencia histórica en el proceso de su construcción. La muestra fue no probabilística debido a que el interés de los investigadores fue estudiar las ruinas Waullac por capacidad para permanecer estable al paso del tiempo y haber soportado el sismo del año 1970 (Borja, 2016).

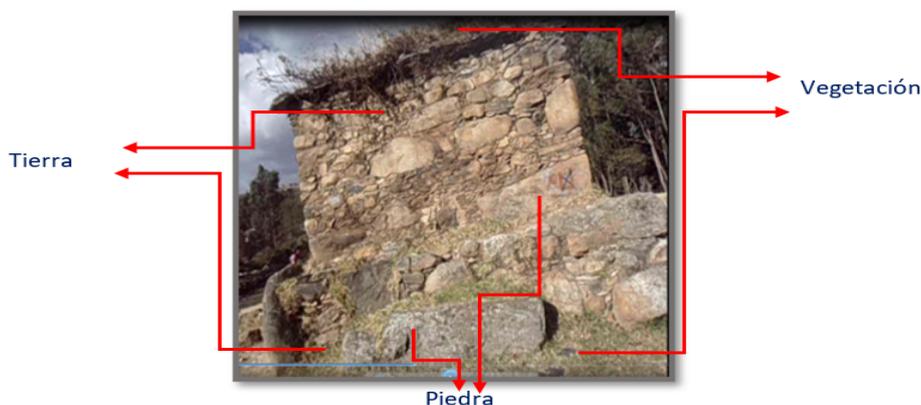
La técnica fue la observación y los datos se recolectaron mediante una ficha. En ella se registró información sobre tipo de material, forma y tamaño de las componentes estructurales. Para determinar si las ruinas de Waullac son estructuras sismorresistentes, se ha considerado lo establecido por la norma técnica E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (Borja, 2016).

RESULTADOS

Se encontraron tres tipos de materiales: tierra, piedras y vegetación. Están presentes en el nivel suelo, cimentación y en el sobrecimiento continuo, donde se levantan las ruinas mediante muros. La vegetación está presente en el techo de las ruinas debido a que poseen confinamiento de tierra y capa de tierra que cubre todo el techo donde hay presencia de vegetación.

Figura 1

Materiales presentes en las ruinas

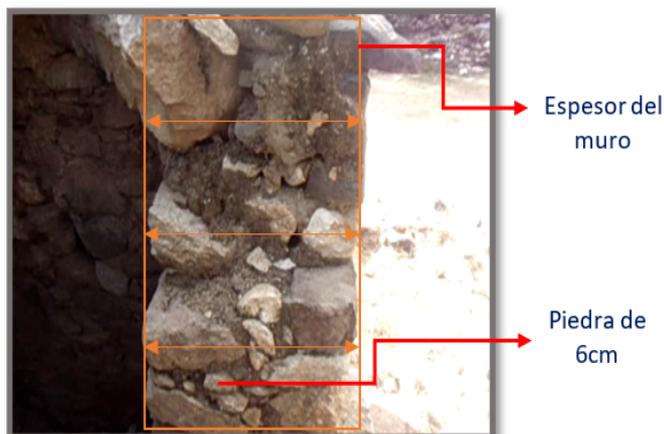


Se pudo observar las diferentes formas y tamaños de piedra para diferentes usos en la construcción de las ruinas, clasificándolos en cinco tamaños:

Piedra pequeña de un diámetro representativo de 6 cm (tipo 1). Permite llenar espacios vacíos en la unión de piedras de mayor tamaño; estabiliza las piedras de mayor tamaño y evita su movimiento. Las formas que poseen estas piedras son angulosas, las que le dan mayor agarre y mayor rugosidad en contacto y mayor acomodo. En la Figura 1, también se observa la ubicación de las piedras pequeñas, con masa de tierra y sobre ellas las piedras medianas. Las piedras pequeñas también permiten hacer rellenos para darle forma y espesor al muro perimetral de la construcción (espesor uniforme).

Figura 2

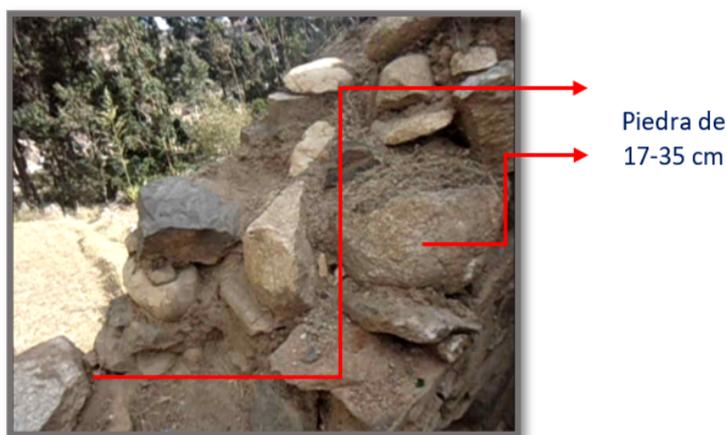
Piedra de un diámetro de 6cm



Piedra mediana de un diámetro representativo de 17- 35 cm (tipo 2). Estas piedras son angulosas, que les permite dar trabajabilidad en contacto con las piedras de menor tamaño y entre sí. El ordenamiento y colocación vertical de estas piedras permite que los muros de la construcción se eleven hasta la altura del techado.

Figura 3

Piedra de un diámetro de 17-35cm



Uno de los lados de estas piedras es plana, lo cual le otorga la contextura interna y externa, dándole un acabado a la construcción de forma plana y vertical.

Figura 4

Acabado interior y exterior



Piedra con un espesor de 2-6cm, con longitud de 30cm y un ancho de 20cm promedio (tipo 3). Este tipo de piedra de forma de paralelepípedo, que se le podría decir placa de piedra mediana, otorgan un plano estable a las piedras que son puestas para aumentar el tamaño del muro.

Figura 5

Piedra de un espesor de 2-6cm, con longitud de 30 cm y ancho de 20cm



Piedra grande (tipo 4). Estas piedras son de gran tamaño; tienen la forma de paralelepípedos, con sus lados algo irregulares. Sus medidas promedio están en la siguiente tabla.

Tabla 1

Piedra grande

| Muestra | Longitud(m) | Ancho(m) | Espesor(m) |
|---------|-------------|----------|------------|
| N° 1 | 1,00 | 0,45 | 0,27 |
| N° 2 | 1,20 | 0,50 | 0,41 |
| N° 3 | 1,24 | 0,45 | 0,28 |

Estas piedras también se utilizan para los techos, donde van entrecruzadas. También se emplea en la técnica continua, en la que las piedras se colocan sucesivamente una sobre otra hasta cerrar completamente el techo.

Figura 6

Piedra grande usada en los techos



Este tipo de piedras también son utilizadas en las esquinas, en los pilares de la construcción, otorgando mayor estabilidad a los puntos nodales de la construcción. También se colocan a media altura de los muros, en las bases de las construcciones de muros y el sobrecimiento continuo.

Figura 7

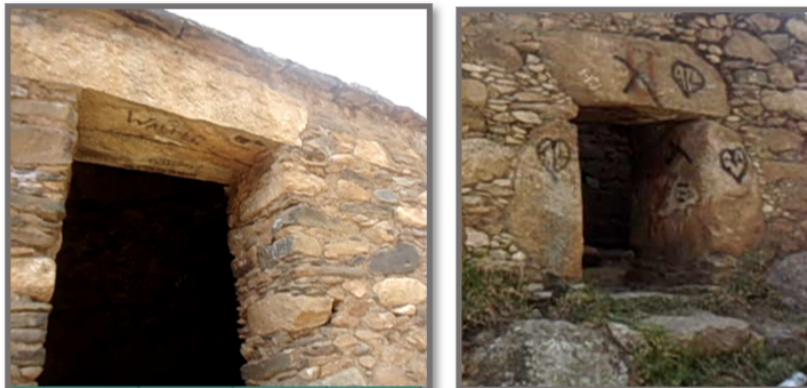
Esquema de la colocación de las piedras grandes



Estas piedras —por su forma de paralelepípedo— también son utilizadas para los pilares y dinteles de las puertas (Figura 8).

Figura 8

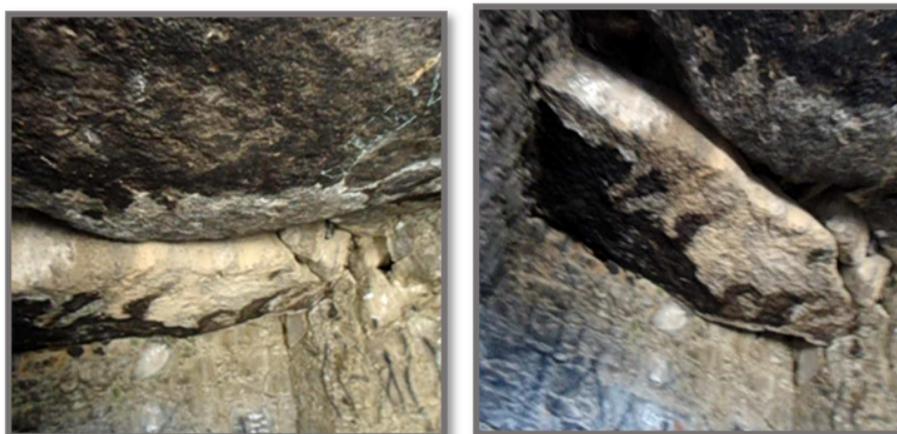
Dintel y pilares de la puerta con piedra grande



Piedras extragrandes (tipo 5). Son de gran tamaño y cubren los techos. Poseen una dimensión de 1,70-4,10 m.

Figura 9

Piedra extragrande para el techado



DISCUSIÓN

Para la determinación del sistema estructural sismorresistente de las ruinas de Waullac en Huaraz - Perú, se utilizó la norma técnica E.030 diseño sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (2018). El trabajo consistió en describir los materiales utilizados en la construcción de las ruinas. En base a los materiales utilizados, se describió las componentes estructurales de las ruinas. Estas componentes determinaron la composición del sistema estructural. Para describir si el sistema estructural es sismorresistente, se utilizó la filosofía y principios de la norma E 030, el mecanismo de respuesta ante el sismo para sostener que son sismorresistentes.

Las componentes del sistema estructural de las ruinas de Waullac son cuatro: cimentación, sobrecimiento, muro y techo. La cimentación es un relleno de piedras con masa de tierra entre sus espacios y con la presencia de vegetación.

Figura 10

Cimentación



El sobrecimiento constituye la parte de la cimentación que se construye encima de los cimientos y que sobresale de la superficie del terreno. Está conformado por los tres tipos de materiales identificados. El sobrecimiento es una plataforma de aproximadamente 1,1 m por encima del suelo, y sobre esta plataforma se elevan los muros.

Figura 11

Sobrecimiento



El muro es construido con los cuatro tipos de piedra: tipo 1, tipo 2, tipo 3 y tipo 4. Para poder consolidar la unión de estas piedras se hace uso de la masa de tierra como material de confinamiento. Los muros poseen una altura de 1,80 m a 2,20 m.

Figura 12

Muro



El techo se construye con los cinco tipos de piedra: tipo 1, tipo 2, tipo 3, tipo 4 y tipo 5. Para que no haya deslizamiento de las piedras grandes y extra grandes se procede a asegurar con piedras medianas y más pequeñas y se confinan con la masa de tierra. Sobre ella tiene vegetación. Las piedras extra grandes se coloca de muro a muro; en cambio, las piedras grandes se cruzan entre ellas, formando una especie de pirámide hasta cerrar el techo. Poseen la forma de un cuadrilátero con medidas de 39 m, 4,2 m, 3,5 m y 5,23 m. En la otra ruina, las medidas de van de 4,6 m, 6,65 m, 4,5 m y 6,79 m.

Figura 13

Techo



El sistema estructural de las ruinas posee cuatro componentes estructurales que están interconectadas y poseen un mecanismo flexible debido a que sus componentes conforman un conjunto confinado con la masa de tierra. La disipación de la energía producida por el sismo se da mediante el estado de esfuerzos de contacto y movimiento, transmitiendo la carga por contacto entre componentes y hasta el suelo. De esta manera, se disipa la carga sísmica. Como las ruinas pueden soportar y disipar la energía sísmica, son sistemas estructurales sismorresistentes. Estas ruinas cumplen con la filosofía del diseño sismorresistente de la norma E 030. Por lo tanto, evitan pérdidas de vida y presentan continuidad de los servicios ya que tienen una estructura estable. Minimizan los daños porque poseen un mecanismo de disipación de energía sísmica a través de los estados de esfuerzo por contacto y movimiento entre las componentes estructurales. Además, las ruinas cumplen con los principios de no colapsar ante el sismo. Las estructuras deberán soportar el sismo y experimentar daños que no comprometan a la estructura para el colapso y permanecer en funcionamiento luego del sismo. La estructura soportó múltiples sismos e incluso el más fuerte en el año 1970.

CONCLUSIONES

Se estudió las ruinas de Waullac debido a que estas estructuras están intactas al paso del tiempo. A consecuencia del sismo del año 1970 en Huaraz hubo destrucción de infraestructura y pérdida de vidas, pero estas estructuras permanecieron estables. Este escenario fue ideal para poder describir las características de los materiales, las componentes que integran el sistema estructural y definirla como sistema estructural sismorresistente. Para ello se desarrolló una investigación descriptiva y transversal.

Se identificaron materiales como vegetación y tierra, que cumplen la función de confinar los distintos tipos de piedra, que son: tipo 1, con un diámetro de 6 cm promedio; tipo 2, con diámetro entre 17-35 cm; tipo 3, con un espesor de 2-6 cm, longitud de 30cm y ancho de 20 cm promedio; tipo 4, piedra grande con un espesor 32 cm, ancho de 46,6cm y longitud de 1,2 m promedio; tipo 5, piedras extra grandes, que miden de 1,70-4,10 m.

Las ruinas están conformadas por cuatro componentes estructurales: cimentación, sobre cimentación, muros o paredes y el techo. Estos cuatro componentes conforman el sistema estructural de las ruinas de Waullac.

Las ruinas disipan la energía sísmica a través del estado de esfuerzo por contacto y movimiento entre las componentes estructurales. Estas ruinas cumplen con la filosofía del diseño sismorresistente de la norma E 030. Presentan estabilidad, no colapsan, soportan sismo y evitan pérdida de vidas. Por lo tanto, las ruinas de Waullac poseen un sistema estructural sismorresistente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrón, D. y Zubieta, F. (2020). *1970: La hecatombe de Ancash*. https://www.academia.edu/43289086/1970_LA_HECATOMBE_DE_%C3%81NCASH
- Borja, M. (2016). *Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros*. https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil
- Cervera, M. y Blanco, E. (2014). *Mecánica de estructuras*. CIMNE. <https://doi.org/10.5821/ebook-9788498802139>
- Heras, H. (2002). *Análisis de la distribución del valor de “b” en la zona de subducción de Perú* [Tesis de Título, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/1311>
- Herráiz, M. (1997). *Conceptos Básicos de Sismología para Ingenieros*. CISMID. <https://ingenieriacivillib.wixsite.com/library/single-post/2017/04/17/conceptos-b%C3%A1sicos-de-sismolog%C3%ADa-para-ingenieros>
- Mejía, A. (2019). *Las evidencias arqueológicas de Huaraz en el desarrollo de la competencia Construye interpretaciones históricas de los estudiantes del primer grado de secundaria de la institución educativa “Santa Rosa de Viterbo” – Huaraz 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4825>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma de diseño Sismorresistente E.030*. https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E030_RM-355-2018-VIVIENDA_Peruano.pdf
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma de cargas E.020*. https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/RNE2006_E_020.pdf
- Ordoñez, J. (2005). *Cálculo de la energía liberada por sismo a distancias telesísmicas mediante el Método de la Integral del Espectro de Potencia de las Ondas de Volumen* [Tesis de Título, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/1317/tesisOrdo%C3%B1ez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>