UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Verificación técnica y normativa de ladrillos King Kong para muros portantes mediante ANCOVA y BIM 6D

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor(es):

Liliabet Nanhyely Ordoñez Huaman

Asesor:

Dr. Ing. Rolando Quispe Basualdo

Lima, noviembre de 2026

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Dr. Ing. Quispe Basualdo Rolando docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “Verificación técnica y normativa de ladrillos King Kong para muros portantes mediante ANCOVA y BIM 6D” del (los) autor (autores) Liliabet Nanhyely Ordoñez Huaman, tiene un índice de similitud de 12% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 9 días del mes de noviembre del año 2026



Dr. Ing. Quispe Basualdo Rolando

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a 05 día(s) del mes de noviembre del año 2026 siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mtra. Fiorella Maira Zapata Antesana, el (la) secretario(a): Mg. Carlos David Flores Rojas y los demás miembros: Ing. David Diaz Garamendi y el (la) asesor(a) Dr. Rolando Quispe Basualdo con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Verificación técnica y normativa de ladrillos King Kong para muros portantes mediante ANCOVA y BIM 6D"

del(los) bachiller/es: a) Liliabet Nanhyely Ordoñez Huaman

b)

c)

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Civil

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Liliabet Nanhyely Ordoñez Huaman

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy bueno	Sobresaliente

Bachiller (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a

Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

Dedico este logro a Dios, por haberme brindado la fortaleza, la sabiduría y la guía necesarias para culminar esta etapa de mi formación profesional.

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio, que han sido fundamentales en mi desarrollo personal y académico. Este logro también es de ustedes.

A mi asesor, por su orientación, acompañamiento y aportes durante el desarrollo de la presente investigación.

Asimismo, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron al desarrollo de este trabajo, mediante su apoyo, colaboración y motivación constante.

Índice

RESUMEN 10
ABSTRACT 10
INTRODUCCIÓN 10
MATERIALES Y MÉTODOS 11
Diseño de investigación 11
Variables del estudio 12
Variable independiente: tipo de ladrillo cerámico estructural 12
Variable dependiente: desempeño técnico-normativo, mecánico, económico y ambiental 12
Población y muestra 12
Materiales 13
Métodos y procedimientos experimentales 15
Verificación técnico-normativa 15
Análisis estadístico: Modelo ANCOVA 16
Modelación ambiental y de costos: BIM 6D 16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 18
Variación dimensional 18
Porcentaje de vacíos 19
Alabeo 20
Presencia de eflorescencias 21
Absorción de agua 22
Resistencia a la compresión 22
Resultados del modelo ANCOVA 23
Coeficientes del modelo 24
Ecuación exploratoria del modelo 24
Resistencia promedio y medias ajustadas 24
Evaluación de supuestos del modelo 25
Evaluación del ajuste interno del modelo 26
Resultados y análisis del modelado BIM 28
BIM 3D: modelado y verificación de interferencias en Navisworks 28

BIM 4D: duración estimada de los muros 28
BIM 5D: costo de los muros 28
BIM 6D: evaluación ambiental del ciclo de vida (LCA A1–A3) 29
Evaluación comparativa del desempeño 29
Análisis integrado del desempeño 30
Síntesis del desempeño BIM 6D 30
Análisis integrado de resultados 30
Limitaciones del estudio 32
CONCLUSIONES 33
REFERENCIAS 35
ANEXOS 36

Índice de figuras

Figura 1. Esquema experimental del estudio (muestras, ensayos y variables). 13

Figura 2. Flujo metodológico general del estudio. 14

Figura 3. Diagrama conceptual del modelo ANCOVA. 14

Figura 4. Marco del análisis de ciclo de vida (LCA) A1–A3 integrado en BIM 6D. 14

Figura 5. Matriz de datos utilizada para el análisis estadístico en Jamovi. 16

Figura 6. Flujo de modelación y evaluación mediante BIM 6D. 17

Figura 7. Variación dimensional (%) en KK18 y KK30. 18

Figura 8. Porcentaje de vacíos en KK18 y KK30. 20

Figura 9. Distribución del alabeo en ladrillos KK18 y KK30 mediante diagrama de cajas y bigotes. 21

Figura 10. Evaluación visual de eflorescencias en las unidades ensayadas. 21

Figura 11. Resultados del ensayo de absorción de agua. 22

Figura 12. Resistencia a la compresión de los ladrillos KK18 y KK30. 23

Figura 13. Resistencia promedio a la compresión por tipo de ladrillo, con intervalo de confianza de 95 %. 25

Figura 14. Residuos versus valores ajustados del modelo ANCOVA. 25

Figura 15. Gráfico Q-Q de los residuos estandarizados. 26

Figura 16. Resultado del análisis de interferencias mediante Clash Detective en Navisworks, evidenciando ausencia de conflictos geométricos (Clash = 0). 28

Figura 17. Comparación del impacto ambiental de los sistemas de albañilería mediante indicadores de Análisis de Ciclo de Vida (LCA A1–A3). 29
Figura 18. Ficha técnica del ladrillo (kk) 30 % vacíos. 36
Figura 19. Ficha técnica del ladrillo (kk) 18 Huecos. 37
Figura 20. Resultados del modelo ANCOVA para la resistencia a la compresión de ladrillos cerámicos. 53
Figura 21. Modelado de muros equivalentes en Revit con incorporación de parámetros físicos y mecánicos para su posterior evaluación ambiental en Tally LCA. 54
Figura 22. Visualización 3D en Navisworks de los muros exportados desde Revit para la verificación de interferencias. 54
Figura 23. Preparación de conjuntos de muros para la detección de interferencias en Navisworks. 55
Figura 24. Configuración de los muros King Kong 18H y 30 % de vacíos en Tally LCA para la evaluación ambiental. 55

Índice de tablas

Tabla 1. Métodos e instrumentos utilizados. 13

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la variación dimensional (%). 19

Tabla 3. Estadísticos descriptivos del porcentaje de vacíos en ladrillos KK18 y KK30. 19

Tabla 4. Estadísticos descriptivos del ensayo de alabeo en ladrillos King Kong. 20

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de la absorción de agua (%). 22

Tabla 6. Estadísticos descriptivos de la resistencia a la compresión. 23

Tabla 7. Medidas de ajuste del modelo. 23

Tabla 8. Coeficientes del modelo de regresión. 24

Tabla 9. Resultados del ANCOVA. 24

Tabla 10. Rangos de interpretación del MAPE. 27

Tabla 11. Evaluación del ajuste interno del modelo ANCOVA. 27

Tabla 12. Duración estimada (4D) del asentado de los muros de 6.50 m². 28

Tabla 13. Costo (5D) de los muros de 6.50 m². 28

Tabla 14. Comparación integrada del desempeño BIM 6D de los sistemas de albañilería. 30

Tabla 15. Clasificación comercial, clasificación de laboratorio y cumplimiento de requisitos. ... 31

Tabla 16. Matriz de trazabilidad de la muestra: código, tipología, ensayos realizados y finalidad. 56

Verificación técnica y normativa de ladrillos King Kong para muros portantes mediante ANCOVA y BIM 6D

Technical and Regulatory Verification of King Kong Bricks for Load-Bearing Walls Using ANCOVA and BIM 6D

RESUMEN:

Se evaluó el desempeño técnico-normativo, mecánico, ambiental y económico de dos ladrillos cerámicos ofrecidos para muros portantes: King Kong de 18 huecos, declarado Tipo IV (KK18), y King Kong con 30 % de vacíos, declarado Tipo V (KK30). Se realizaron ensayos de variación dimensional, porcentaje de vacíos, alabeo, eflorescencias, absorción de agua y resistencia a la compresión, conforme a la NTP 399.613 y el RNE E.070. Además, se aplicaron ANCOVA y modelación BIM 6D para comparar el comportamiento mecánico, el impacto ambiental y el costo.

Ambas tipologías cumplieron los requisitos de variación dimensional, absorción y resistencia característica a la compresión; sin embargo, se clasificaron como unidades huecas, no admisibles en muros portantes en la zona sísmica 4 según la Tabla 2 del RNE E.070, con vacíos promedio de 45.40 % en KK18 y 30.40 % en KK30 frente al límite de referencia de 30 %. Además, 9 de las 10 unidades KK30 superaron el límite de alabeo de 2 mm (promedio de 3.03 mm). KK30 mostró una resistencia promedio ligeramente superior, aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa (prueba t de Welch, $p = 0.13$). El muro KK30 tuvo un costo 24.1 % mayor (S/ 548.63 frente a S/ 441.97, sin IGV) y un potencial de calentamiento global 36.4 % mayor en el alcance A1–A3 (306.63 frente a 224.85 kg CO_2 eq), con la masa medida de los ladrillos. Se concluye que la selección del material debe considerar desempeño mecánico, cumplimiento normativo, costo e impacto ambiental.

Palabras clave: materiales de albañilería, ladrillos cerámicos, evaluación del ciclo de vida, desempeño estructural, impacto ambiental.

ABSTRACT:

This study evaluated the technical-regulatory, mechanical, environmental, and economic performance of two ceramic bricks offered for load-bearing walls: the 18-hole King Kong brick, declared Type IV (KK18), and the King Kong brick with 30% voids, declared Type V (KK30). Tests were conducted for dimensional variation, void percentage, warpage, efflorescence, water absorption, and compressive strength, in accordance with NTP 399.613 and Standard E.070. In addition, ANCOVA and BIM 6D modeling were applied to compare the mechanical behavior, environmental impact, and cost.

Both types met the requirements for dimensional variation, water absorption, and characteristic compressive strength; however, they were classified as hollow units, not admissible in load-bearing walls in seismic zone 4 under Table 2 of Standard E.070, with mean void percentages of 45.40% for KK18 and 30.40% for KK30 against the 30% reference limit. In addition, 9 of the 10 KK30 units exceeded the 2 mm warpage limit (mean of 3.03 mm). KK30 showed slightly higher mean compressive strength, although the difference was not statistically significant (Welch's t-test, $p = 0.13$). The KK30 wall had a 24.1% higher cost (PEN 548.63 vs. PEN 441.97, excluding VAT) and a 36.4% higher global warming potential within the A1–A3 scope (306.63 vs. 224.85 kg CO_2 eq), using the measured mass of the bricks. It is concluded that material selection should consider mechanical performance, regulatory compliance, cost, and environmental impact.

Keywords: Masonry materials, ceramic bricks, life cycle assessment, structural performance, environmental impact.

INTRODUCCIÓN

La albañilería estructural es uno de los sistemas constructivos más utilizados en edificaciones de baja y mediana altura en el Perú, especialmente en zonas sísmicas como Lima Metropolitana. En este sistema,

los ladrillos de arcilla tipo King Kong se ofrecen como elemento portante, entre ellos las variantes de 18 huecos y de 30 % de vacíos. Su uso depende de la clasificación de la unidad y de la zona sísmica, y su desempeño, de propiedades físicas y mecánicas como la resistencia a la compresión, la absorción de agua, el alabeo y el porcentaje de vacíos. En ladrillos multiperforados, una caracterización experimental detallada permitió proponer una ecuación de resistencia a la compresión [(1)].

La variabilidad en la calidad de fabricación también influye en el desempeño estructural: se han reportado diferencias marcadas en la resistencia a la compresión de prismas de albañilería según la categoría del ladrillo [(2)].

Por otra parte, la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas mediante ensayos experimentales puede complementarse con herramientas estadísticas y digitales. Los avances digitales han impulsado el uso de BIM para evaluar el ciclo de vida y el desempeño ambiental de los materiales. BIM 6D puede integrar información constructiva, mantenimiento y desempeño ambiental [(3)]. De igual manera, el enfoque BIM 6D se ha empleado para evaluar y proponer la rehabilitación energética de infraestructura educativa existente [(4)], mientras que BIM 6D y 7D tienen potencial para mejorar el análisis del ciclo de vida, reducir residuos y aumentar la eficiencia energética en la construcción, aunque su adopción aún es limitada [(5)]. En materiales de construcción, ANCOVA se ha aplicado para evaluar la humedad a partir de la permitividad medida con TDR, con independencia del tipo de material y de sensor [(6)].

No obstante, a pesar de los avances en la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos cerámicos, son escasos los estudios que integran ensayos físicos y mecánicos, análisis estadístico mediante ANCOVA y evaluación ambiental y económica a través de la metodología BIM 6D para analizar de manera conjunta el desempeño de ladrillos ofrecidos para muros portantes en el Perú. En este sentido, la escasez de investigaciones con este enfoque integral limita la toma de decisiones en el diseño estructural y dificulta la selección adecuada de materiales con criterios de sostenibilidad.

Ante esta situación, el presente estudio evalúa las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos King Kong de 18 huecos (KK18) y de 30 % de vacíos (KK30) ofrecidos para muros portantes, y verifica su cumplimiento con la NTP 399.613 y el RNE E.070, incluida su clasificación como unidad sólida o hueca y las restricciones de uso según la zona sísmica. Asimismo, se aplica un modelo ANCOVA de carácter exploratorio para analizar la relación del alabeo, el porcentaje de vacíos y el tipo de ladrillo con la resistencia a la compresión. De manera complementaria, se emplea la metodología BIM 6D para comparar el costo y el impacto ambiental, este último en el alcance A1–A3, de muros modelados con ambas tipologías. En conjunto, estas herramientas aportan una base para seleccionar unidades de albañilería con criterios técnicos, económicos y ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo-comparativo y asociativo, mediante ensayos experimentales de laboratorio y modelación estadística. El estudio se orientó a analizar el desempeño técnico-normativo, mecánico, económico y ambiental de dos tipos comerciales de ladrillos cerámicos estructurales King Kong: ladrillo de 18 huecos, declarado Tipo IV (KK18), y ladrillo con 30 % de vacíos, declarado Tipo V (KK30). El propósito de la investigación fue verificar el cumplimiento de las Normas Técnicas Peruanas y del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE E.070)[(7)], así como contrastar los resultados experimentales con la información declarada en las fichas técnicas del fabricante. Para ello, se realizaron ensayos físicos y mecánicos en laboratorio. Se evaluaron materiales comerciales existentes sin modificar deliberadamente su proceso de fabricación ni sus características intrínsecas.

La metodología integró ensayos físicos y mecánicos, análisis estadístico mediante ANCOVA y modelación BIM 6D. El ANCOVA se empleó para evaluar la asociación del alabeo, el porcentaje de vacíos y el tipo de

ladrillo con la resistencia a la compresión, así como para formular un modelo estadístico exploratorio de estimación de dicha resistencia. Por su parte, la modelación BIM 6D permitió evaluar el desempeño económico y ambiental de las alternativas analizadas.

Variables del estudio

Variable independiente: tipo de ladrillo cerámico estructural

Esta variable corresponde al tipo de unidad de albañilería empleada en el estudio, considerando dos categorías de análisis:

- Ladrillo KK18.
- Ladrillo KK30.

Variable dependiente: desempeño técnico-normativo, mecánico, económico y ambiental

El desempeño técnico-normativo se evaluó mediante ensayos normalizados conforme al RNE E.070 y la NTP 399.613[8]. El desempeño ambiental se evaluó con factores de Tally LCA y la masa medida de los ladrillos, bajo el alcance A1–A3, mientras que el desempeño económico se determinó a partir de los metrados obtenidos en Revit y los costos unitarios considerados. En el modelo ANCOVA, la variable dependiente fue la resistencia a la compresión, y el alabeo y el porcentaje de vacíos se incorporaron como covariables.

Población y muestra

La población del estudio estuvo conformada por ladrillos cerámicos estructurales tipo King Kong utilizados en edificaciones de albañilería portante. La muestra incluyó unidades KK18 y KK30 de marca LARK, proporcionadas por la empresa para fines de investigación. Como emplazamiento de referencia para la verificación normativa se adoptó Ñaña (distrito de Lurigancho-Chosica, Lima), ubicado en zona sísmica 4.

La muestra se organizó en dos niveles de análisis. En el primero se realizó la verificación técnico-normativa mediante ensayos de variación dimensional, porcentaje de vacíos, alabeo, eflorescencias, absorción de agua y resistencia a la compresión.

En el segundo nivel se empleó una submuestra de diez registros experimentales coincidentes, cinco correspondientes a KK18 y cinco a KK30. Para cada registro se dispuso de valores de resistencia a la compresión, alabeo y porcentaje de vacíos. El alabeo y el porcentaje de vacíos se incorporaron como covariables al modelo ANCOVA para evaluar la asociación entre las propiedades físicas, el tipo de ladrillo y la resistencia a la compresión, así como para formular un modelo estadístico exploratorio de estimación. La Figura 1 resume la muestra, los ensayos y las variables analizadas.

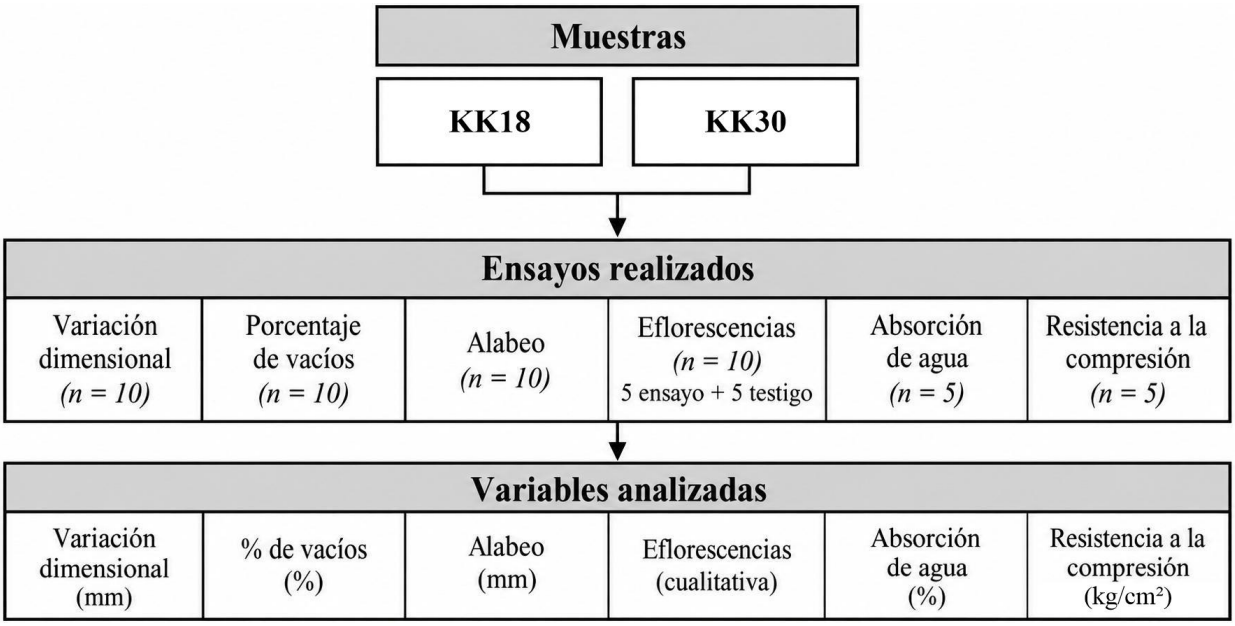


Figura 1. Esquema experimental del estudio (muestras, ensayos y variables).

Fuente: Elaboración propia, basada en la NTP 399.613:2017, el RNE E.070 – Albañilería y el procedimiento estadístico mediante ANCOVA.

Nota: Para compresión y para absorción se emplearon 5 ladrillos por tipo en cada ensayo, distintos entre sí. En eflorescencia, 5 unidades fueron ensayadas y 5 se utilizaron como testigo. Para el ANCOVA se consideró una submuestra de registros coincidentes para relacionar las variables físicas con la resistencia mecánica. Algunas unidades se reutilizaron en más de un ensayo no destructivo, por lo que las cantidades indicadas por ensayo no representan unidades distintas y no deben sumarse. Las unidades empleadas en el ANCOVA contaron con mediciones de alabeo, porcentaje de vacíos y resistencia a la compresión en el mismo espécimen.

Trazabilidad de los especímenes: en cada tipo se midieron 10 unidades (L1 a L10) en porcentaje de vacíos y alabeo, ensayos que no destruyen la unidad. Las unidades L1 a L5 se ensayaron luego a compresión y conforman los registros del ANCOVA; no son una submuestra adicional, ya que sus dimensiones coinciden entre las fichas de vacíos y de compresión. La variación dimensional se midió en otras 10 unidades por tipo; después, 5 de ellas se destinaron a absorción y 5 a eflorescencia. La ficha de eflorescencia registra, además, 5 testigos sin agua. En total se ensayaron 25 unidades únicas por tipo (10 + 10 + 5), es decir, 50 unidades. La correspondencia de cada ladrillo con sus ensayos y con los datos de Jamovi se presenta en la Tabla 16 (Anexos).

Materiales

Los métodos, normas e instrumentos empleados se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Métodos e instrumentos utilizados.

N.°	Método / técnica	Norma o referencia	Instrumentos / software
1	Variación dimensional	NTP 399.613	Vernier, flexómetro y regla metálica
2	Porcentaje de vacíos	NTP 399.613	Balanza digital, arena calibrada y cilindro graduado
3	Alabeo	NTP 399.613	Superficie plana, regla metálica y galgas
4	Eflorescencias	NTP 399.613	Recipientes de inmersión, agua potable, lupa e inspección visual
5	Absorción de agua	NTP 399.613	Balanza digital, recipiente con agua y estufa
6	Resistencia a la compresión	NTP 399.613	Prensa hidráulica y placas de acero
7	Análisis estadístico ANCOVA	Lineamientos estadísticos	Jamovi y Excel
8	Modelación BIM 6D	ISO 14040, ISO 14044 y EN 15978	Revit, Navisworks y Tally

Fuente: Elaboración propia.

Los ensayos físicos y mecánicos incluyeron la determinación de la variación dimensional, porcentaje de vacíos, alabeo, presencia de eflorescencias, absorción de agua y resistencia a la compresión. Todos los procedimientos se realizaron en laboratorio y de acuerdo con la NTP 399.613 y el RNE E.070.

El flujo metodológico general del estudio se presenta en la Figura 2, donde se resumen las etapas principales del proceso experimental, estadístico y ambiental desarrollado.

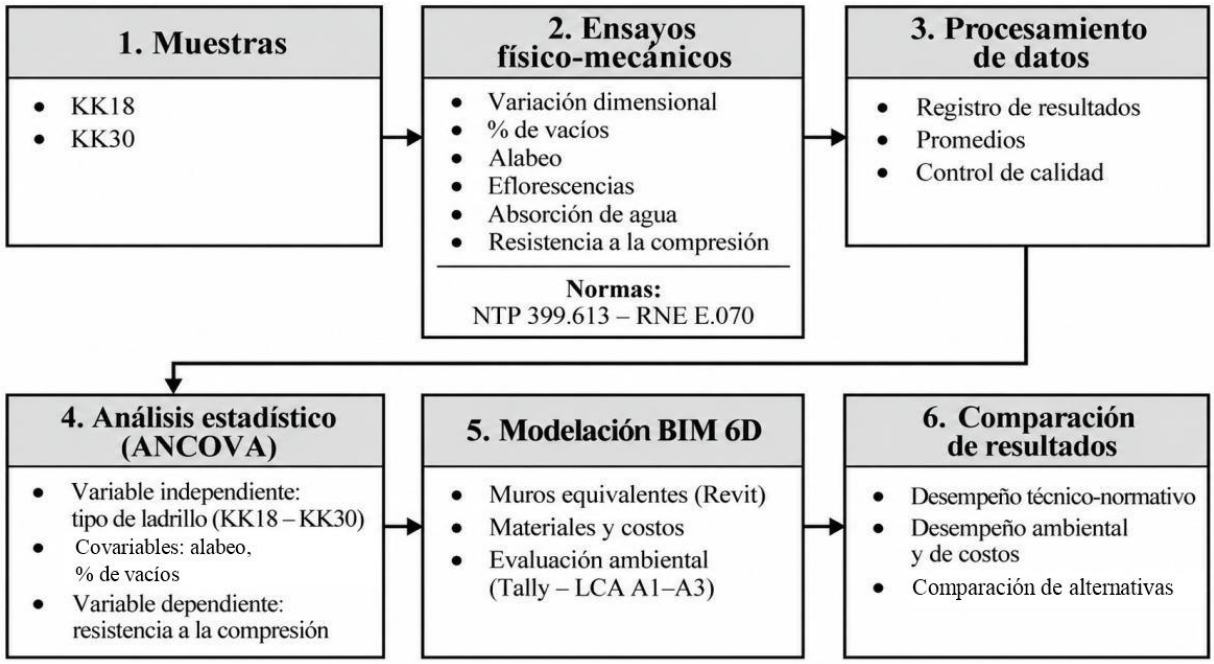


Figura 2. Flujo metodológico general del estudio.

Fuente: Elaboración propia, basada en **NTP 399.613:2017** y **RNE E.070 – Albañilería**.

El análisis estadístico se realizó mediante un modelo de análisis de covarianza (ANCOVA), con el objetivo de evaluar la relación entre el tipo de ladrillo y la resistencia a la compresión, considerando el efecto de variables físicas como el alabeo y el porcentaje de vacíos. El modelo conceptual del ANCOVA empleado se presenta en la Figura 3.

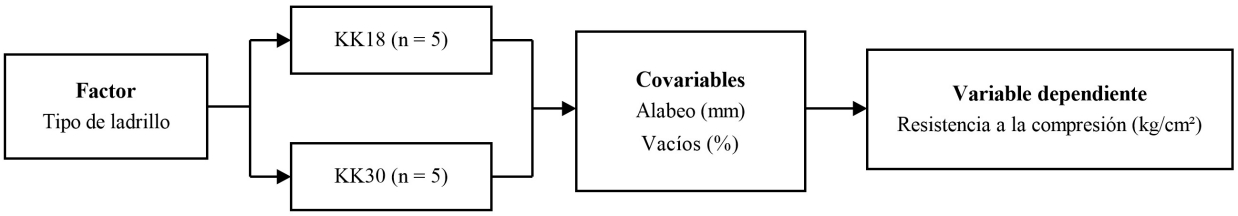


Figura 3. Diagrama conceptual del modelo ANCOVA.

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación ambiental y de costos se realizó mediante modelación digital BIM 6D, considerando muros equivalentes construidos con ambos tipos de ladrillo. El análisis de ciclo de vida se desarrolló bajo el enfoque A1–A3, que incluye la extracción de materias primas (A1), su transporte a la fábrica (A2) y el proceso de fabricación (A3). El marco del LCA aplicado mediante BIM 6D se presenta en la Figura 4.

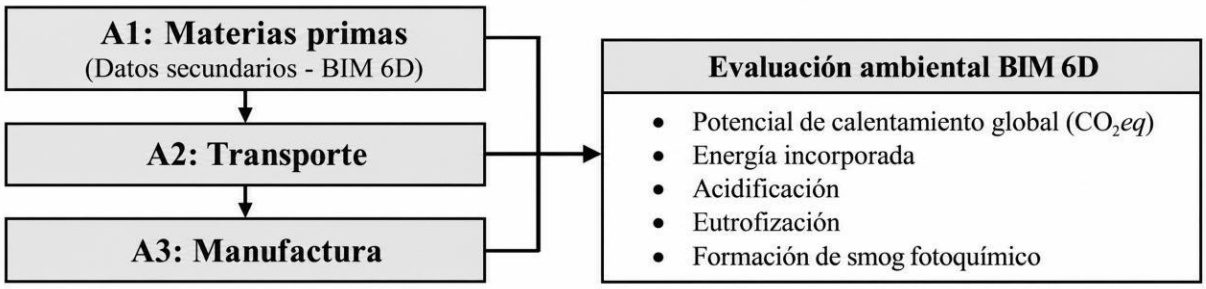


Figura 4. Marco del análisis de ciclo de vida (LCA) A1–A3 integrado en BIM 6D.

Fuente: Elaboración propia, basada en Autodesk Revit y Tally.

Métodos y procedimientos experimentales

Verificación técnico-normativa

Ensayo 1. Variación dimensional (NTP 399.613)

Objetivo: Determinar la regularidad geométrica. Procedimiento: Medición del largo, el ancho y el alto en 10 unidades por tipo. La variación dimensional se determinó mediante la ecuación (1):

$$Variación = \frac{D_{real} - D_{nominal}}{D_{nominal}} \times 100 \quad (1)$$

Ensayo 2. Porcentaje de vacíos (NTP 399.613)

Objetivo: Cuantificar el volumen de huecos. Procedimiento: Se llenaron los huecos del ladrillo con arena seca y se registró el peso de la arena contenida en el espécimen. Luego, con el peso de 500 ml de arena, se calculó el volumen de vacíos y el porcentaje correspondiente. El volumen de arena y el porcentaje de vacíos se determinaron mediante las ecuaciones (2) y (3), respectivamente:

$$V_s = \frac{500\ ml}{S_C} \times S_P \quad (2)$$

$$\%vacíos = \frac{V_s}{V_u} \times 100 \quad (3)$$

Donde: V_s = volumen de arena contenida en el espécimen de ensayo; S_C = peso de 500 ml de arena contenida en el cilindro graduado, g; S_p = peso de la arena contenida en el espécimen de ensayo, g; V_u = volumen de la unidad, obtenido a partir de largo × ancho × alto.

Ensayo 3. Alabeo (NTP 399.613)

Objetivo: Evaluar deformación superficial. Procedimiento: Se midió la separación máxima entre el ladrillo y una superficie plana, expresada en milímetros (mm).

Ensayo 4. Eflorescencias (NTP 399.613)

Objetivo: Detectar la presencia de sales. Procedimiento: Inmersión parcial durante 7 días y clasificación visual. Clasificación: Ausente ≤10 %, Moderada 11–50 %, Severa >50 %.

Ensayo 5. Absorción de agua (NTP 399.613)

Objetivo: Determinar la capacidad de absorción. Procedimiento: Se registró el peso seco (Wd) y el peso saturado después de 24 h (Ws). La absorción de agua se determinó mediante la ecuación (4):

$$Absorción(\%) = 100 \times \frac{W_s - W_d}{W_d} \quad (4)$$

Donde: W_s = peso saturado del espécimen; W_d = peso seco del espécimen.

Ensayo 6. Resistencia a la compresión (NTP 399.613)

Objetivo: Determinar la capacidad portante. Procedimiento: Prueba axial hasta la falla. La resistencia a la compresión se determinó mediante la ecuación (5):

$$R_c = \frac{W}{A} \quad (5)$$

Donde: R_c = resistencia a la compresión del espécimen; W = carga máxima aplicada por la máquina de ensayo; A = área bruta de contacto del espécimen.

Determinación de la resistencia característica: Para la comparación con los valores establecidos en el RNE E.070, la resistencia característica a la compresión se determinó restando la desviación estándar a la resistencia promedio de las unidades ensayadas.

Control de calidad experimental

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales de la UPeU, conforme a la NTP 399.613, y cada dimensión se midió tres veces en la variación dimensional.

Análisis estadístico: Modelo ANCOVA.

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos experimentales, se aplicó un modelo ANCOVA con el fin de analizar la relación entre el alabeo, el porcentaje de vacíos y la resistencia a la compresión, considerando además el tipo de ladrillo. Para este análisis se utilizó una submuestra de especímenes coincidentes, a fin de asegurar la correspondencia entre las variables físicas consideradas y la resistencia a la compresión.

Objetivo: Analizar la relación del alabeo y el porcentaje de vacíos con la resistencia a la compresión, considerando además el tipo de ladrillo, y formular un modelo estadístico exploratorio que permita estimar dicha resistencia a partir de estas variables.

Justificación: ANCOVA permite comparar grupos ajustando covariables, integrando regresión y ANOVA en un solo modelo. Este enfoque ayuda a explorar la asociación entre las variables físicas y la resistencia a la compresión [6] [9]. La comparación de las medias observadas de resistencia entre tipologías se realizó mediante la prueba t de Welch, debido a la diferencia de varianzas entre grupos [10].

Modelo:

$$f'_b = \beta_0 + \beta_1 B + \beta_2 C + \beta_3 D \quad (6)$$

f'_b = resistencia a la compresión de cada espécimen (kg/cm²), distinta de la resistencia característica de la Tabla 6; B = alabeo (mm); C = porcentaje de vacíos (%); D = tipo de ladrillo, donde 0 = KK18 y 1 = KK30; β_0 = constante del modelo; β_1, β_2 y β_3 = coeficientes estimados del modelo.

Software

Para el procesamiento y análisis estadístico de los datos se utilizaron Jamovi 2.6 [11] y Microsoft Excel 2019. El procedimiento desarrollado se presenta en la Figura 5.



	Resistenci...	Alabeo	Vacios	Tipo
1	280.9	2.63	30	30% V
2	290.9	4.00	31	30% V
3	283.9	3.50	31	30% V
4	286.7	2.88	31	30% V
5	292.4	4.00	31	30% V
6	244.0	1.38	47	18H
7	286.9	1.63	40	18H
8	281.0	2.13	46	18H
9	285.1	1.50	44	18H
10	245.0	2.00	46	18H

Figura 5. Matriz de datos utilizada para el análisis estadístico en Jamovi.

Fuente: Elaboración propia.

Modelación ambiental y de costos: BIM 6D

De manera complementaria al análisis experimental y estadístico, se desarrolló una modelación BIM 6D para cuantificar materiales, costos e impacto ambiental de los sistemas constructivos analizados.

Objetivo: Cuantificar materiales, costos y huella ambiental de muros construidos con ambos ladrillos mediante modelación digital.

Procedimiento BIM 6D: El procedimiento BIM 6D comprendió el modelado de muros equivalentes en Revit, la obtención automática de metrados y la obtención de los factores ambientales en Tally LCA. Se analizaron los indicadores de CO_2eq, energía incorporada, acidificación, eutrofización y smog. La Figura 6 resume el proceso de modelación y evaluación de ambas alternativas.

La cantidad de ladrillos por m², el costo total y la huella de carbono se determinaron mediante las

ecuaciones (7), (8) y (9), respectivamente:

$$CL = \frac{1}{(L + J_v)(H + J_h)} \quad (7)$$

Donde: CL = cantidad de ladrillos por m²; L = longitud del ladrillo; H = altura del ladrillo; J_h= espesor de junta horizontal; J_v = espesor de junta vertical.

Para ambas juntas se adoptó un espesor de 10 mm, y las dimensiones del ladrillo corresponden a los promedios medidos.

Costo total:

$$CT = \sum_{i=1}^{n} (Cantidad_i \times Precio_i) \quad (8)$$

Huella de carbono:

$$CO_{2eq} = \sum_{i=1}^{n} (Cantidad_i \times Factor_i) \quad (9)$$

Normas ambientales de referencia: ISO 14040[12], ISO 14044[13] y EN 15978[14].

Donde: CT = costo total; $Cantidad_i$ = cantidad correspondiente al material i; $Precio_i$ = precio unitario del material i; CO_2eq = huella de carbono total; $Factor_i$ = factor de emisión asociado al material i; i = material considerado; n = número total de materiales considerados.

A. Modelación y parametrización en Autodesk Revit

B. Evaluación ambiental Tally LCA

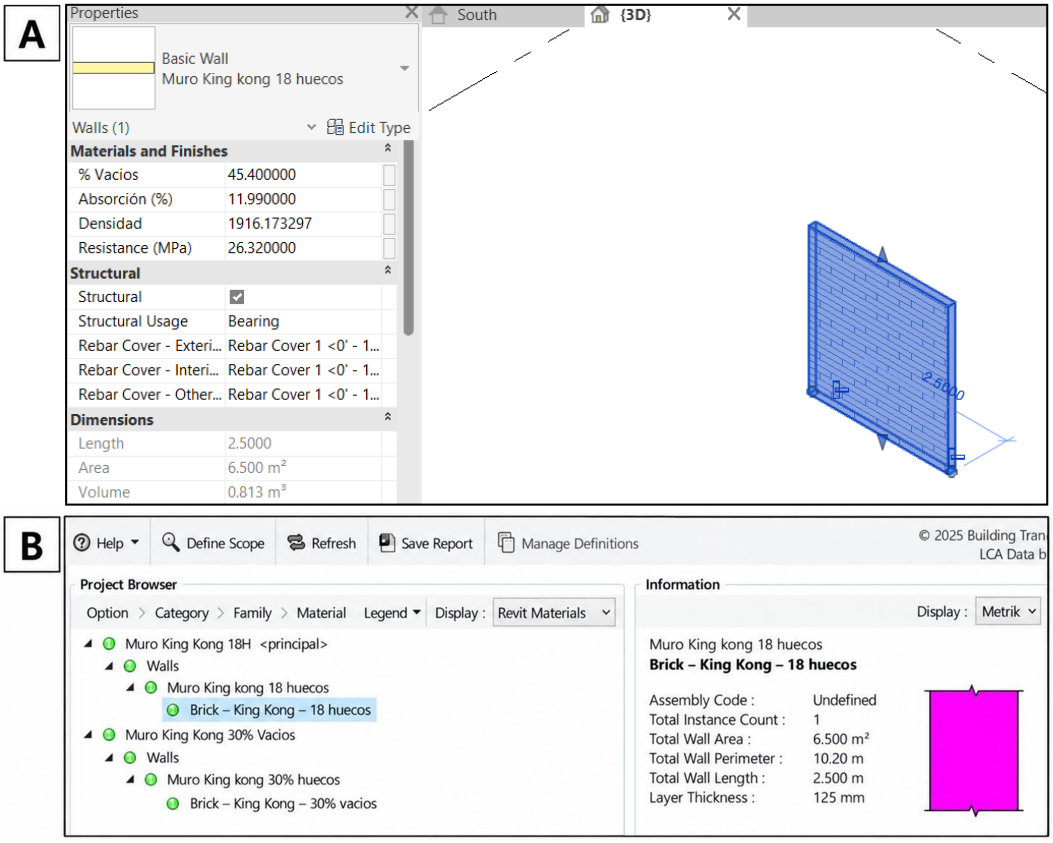


Figura 6. Flujo de modelación y evaluación mediante BIM 6D.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las dimensiones BIM, el estudio aplicó 3D (modelado en Revit y verificación en Navisworks), 4D (estimación de la duración del asentado), 5D (costos) y 6D (evaluación ambiental). La duración se estimó con un rendimiento de 9 m²/día, deducido a partir de la mano de obra de la partida de muro King Kong de soga y de los jornales de la revista Costos de junio de 2025[15], considerando una cuadrilla de 0.1 capataz, 1 operario y 0.5 peón; no se elaboró un cronograma de obra ni se midió el rendimiento real. Para el costo total de la ecuación (8), los precios del ladrillo (S/ 0.70 para KK18 y S/ 1.19 para KK30)

fueron proporcionados por el fabricante (marca LARK) e incluyen IGV; se les retiró dicho impuesto (S/ 0.593 y S/ 1.008) para mantener la misma condición que la revista Costos de junio de 2025[15], cuyos precios no lo incluyen. De esta fuente se tomaron la mano de obra (S/ 37.26/m²) y el equipo (S/ 1.86/m²) de la partida de muro King Kong de soga con mezcla 1:5, que corresponde a ladrillo Tipo IV y se empleó solo como referencia, así como los precios del cemento (S/ 25.00/bolsa) y de la arena gruesa (S/ 47.00/m³). El volumen de mortero se obtuvo como la diferencia entre el volumen del muro y el de los ladrillos, con 7.4 bolsas de cemento y 1.05 m³ de arena por m³ de mortero, según datos de CAPECO citados en[16]. Se asumió el mismo costo de mano de obra y equipo para ambos muros, debido a que dicha revista no diferencia el rendimiento según el porcentaje de vacíos; este rendimiento no se midió en obra, lo que constituye una limitación del estudio. No se consideró desperdicio y los costos se expresan sin IGV.

Para la huella ambiental se empleó la ecuación (9). Tally LCA calculó la masa de ladrillos con el volumen del muro y una densidad casi igual en ambos casos (1916.0 y 1917.8 kg/m³), por lo que no reflejaba la diferencia de vacíos. Por ello, la masa de ladrillos se recalculó como la cantidad de unidades por el peso seco promedio del ensayo de absorción (2.650 kg para KK18 y 3.770 kg para KK30), con los factores por kilogramo de la entrada genérica de Tally (por ejemplo, 0.289 kg CO_2 eq/kg de ladrillo). El mortero se mantuvo según Tally (159.05 y 164.14 kg).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos físicos y mecánicos de las unidades KK18 y KK30, considerando seis propiedades: variación dimensional, porcentaje de vacíos, alabeo, eflorescencias, absorción de agua y resistencia a la compresión, conforme a las normas técnicas aplicables y al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE E.070). Asimismo, se incluyen los resultados del análisis estadístico mediante ANCOVA y de la evaluación ambiental y económica mediante modelación BIM 6D.

Variación dimensional

La variación dimensional de los ladrillos KK18 y KK30 se evaluó respecto de las dimensiones nominales consignadas en el informe de laboratorio (125 × 90 × 230 mm en KK18 y 128 × 89 × 240 mm en KK30), considerando 10 unidades por grupo y las dimensiones de ancho, alto y largo.

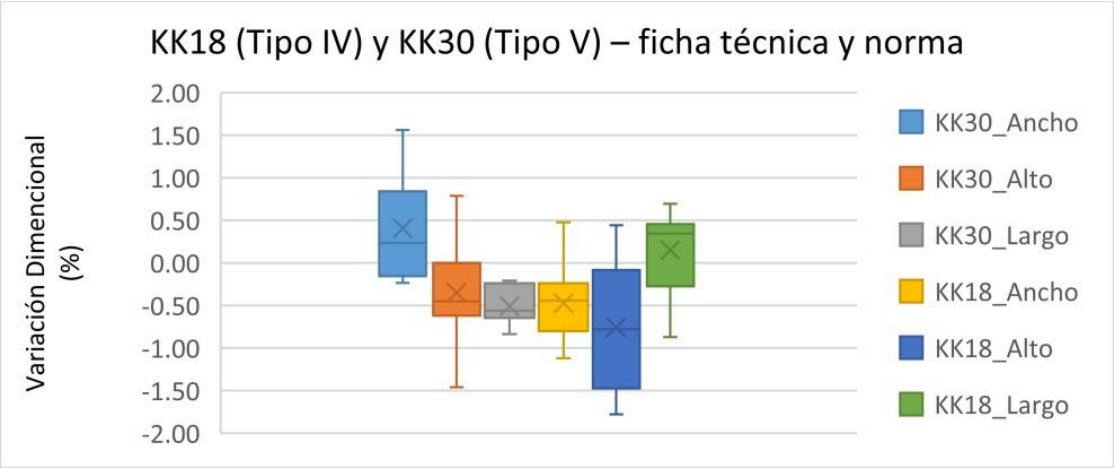


Figura 7. Variación dimensional (%) en KK18 y KK30.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados experimentales obtenidos conforme a la NTP 399.613:2017 y el RNE E.070 – Albañilería.

Como se muestra en la Figura 7, las desviaciones se concentraron alrededor del valor nominal (0 %), con dispersión moderada en ambos grupos y sin presencia de valores atípicos de magnitud relevante. En términos promedio, los ladrillos KK18 presentaron variaciones de −0.47 ± 0.45 % en ancho, −0.76 ± 0.72

% en alto y 0.15 ± 0.50 % en largo. Por su parte, los ladrillos KK30 registraron variaciones de 0.41 ± 0.60 % en ancho, −0.35 ± 0.60 % en alto y −0.51 ± 0.22 % en largo.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la variación dimensional (%).

Tipo	Dimensión	Media (%)	SD (%)
KK18	Ancho	-0.47	0.45
KK18	Alto	-0.76	0.72
KK18	Largo	0.15	0.50
KK30	Ancho	0.41	0.60
KK30	Alto	-0.35	0.60
KK30	Largo	-0.51	0.22

Nota: Los valores se calcularon con las medidas individuales del informe de laboratorio. En KK30, esas medidas dan un alto promedio de 88.69 mm (−0.35 %) y una variación en el largo de −0.51 %, mientras que la tabla resumen del informe indica 88.79 mm (−0.24 %) y −0.50 %. El informe emplea como nominal 128 × 89 mm y rotula a KK30 como "Clase VI", clase que no existe en el RNE E.070; su ficha técnica declara 130 × 90 mm y Tipo V. Con la ficha, el ancho y el alto de KK30 varían −1.13 % y −1.46 %, también dentro de las tolerancias.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados experimentales.

Los estadísticos descriptivos resumidos en la Tabla 2 muestran que la mayor dispersión relativa se observó en la dimensión altura de los ladrillos KK18 (0.72 %) y en el ancho y el alto de los ladrillos KK30 (0.60 %), mientras que la menor variabilidad correspondió al ancho de los KK18 (0.45 %) y al largo de los KK30 (0.22 %). En conjunto, las desviaciones registradas se mantuvieron cercanas al valor nominal, lo que indica un comportamiento dimensional estable en los especímenes evaluados. Asimismo, los valores obtenidos se ubicaron en los rangos de tolerancia establecidos por la normativa empleada para la verificación técnico-normativa de las unidades de albañilería.

Porcentaje de vacíos

El porcentaje de vacíos de los ladrillos tipo KK18 y KK30 se presenta en la Tabla 3. Para cada tipo de ladrillo se evaluaron diez unidades (n = 10), a partir de las cuales se calcularon los estadísticos descriptivos correspondientes.

Los resultados muestran que los ladrillos KK18 presentan un porcentaje de vacíos promedio de 45.40 %, con una desviación estándar de 2.80 %. Los valores obtenidos oscilaron entre un mínimo de 40 % y un máximo de 50 %, lo que refleja una variabilidad moderada entre las unidades ensayadas.

En contraste, los ladrillos KK30 presentan un porcentaje de vacíos promedio de 30.40 %, con una desviación estándar de 0.52 %, lo que indica un comportamiento considerablemente más homogéneo. En este caso, los valores variaron entre 30 % y 31 %.

La distribución y dispersión de los datos se ilustran en la Figura 8, donde el diagrama de caja (boxplot) evidencia claramente la mayor variabilidad del porcentaje de vacíos en los ladrillos KK18 en comparación con los ladrillos KK30.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos del porcentaje de vacíos en ladrillos KK18 y KK30.

Tipo	n	Media (%)	Desv. Est. (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
KK18	10	45.40	2.80	40.00	50.00
KK30	10	30.40	0.52	30.00	31.00

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados experimentales.

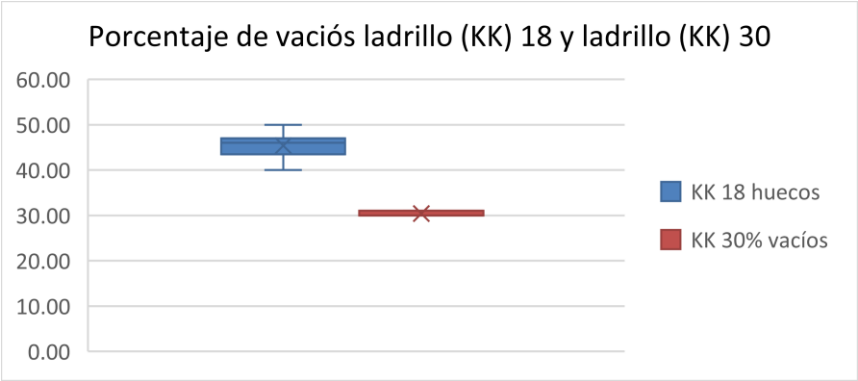


Figura 8. Porcentaje de vacíos en KK18 y KK30.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados experimentales obtenidos conforme a la NTP 399.613:2017 y el RNE E.070 – Albañilería.

En ambos casos, el promedio (45.40 % en KK18 y 30.40 % en KK30) supera el 30 % que el RNE E.070 emplea como límite de referencia para las unidades sólidas. Por ello, el informe de laboratorio clasifica ambas tipologías como unidades huecas, condición que se evaluó para el emplazamiento de referencia, Ñaña, ubicado en zona sísmica 4. En los KK30, seis de las diez unidades registraron 30 % con el redondeo al 1 % que indica la norma. Asimismo, los ladrillos KK18 presentan una mayor dispersión en el porcentaje de vacíos, mientras que los ladrillos KK30 muestran valores más homogéneos en el conjunto evaluado.

El RNE E.070 define la unidad hueca por su sección transversal: área equivalente menor que el 70 % del área bruta en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento[7]. El ensayo con arena mide un volumen, por lo que su resultado equivale a ese criterio de área solo si las perforaciones son uniformes en la altura de la unidad; esta condición se asumió y no se midió por secciones. Para el emplazamiento de referencia, Ñaña (distrito de Lurigancho-Chosica, Lima), la Norma E.030 asigna la zona sísmica 4[17]. La Tabla 2 del RNE E.070, redactada con zonas 1 a 3, no admite unidades huecas en muros portantes en las zonas 2 y 3 y solo las admite en la zona 1. Al no ser la zona 4 de baja sismicidad, se aplicó la restricción más exigente: con esta clasificación, ninguna de las dos tipologías sería admisible para muros portantes en dicho emplazamiento, aunque ambas superen la resistencia mínima.

Para el análisis estadístico inferencial, se seleccionó un subconjunto de muestras coincidente con los ensayos de porcentaje de vacíos, alabeo y resistencia a la compresión, con el fin de asegurar la correspondencia entre las variables incluidas en el modelo.

Alabeo

Para evaluar la estabilidad geométrica de las unidades de albañilería, se realizó el ensayo de alabeo en diez unidades de cada tipo de ladrillo, siguiendo los criterios establecidos en la Norma Técnica Peruana y el RNE E.070.

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante estadísticos descriptivos, considerando mínimo, primer cuartil (Q1), mediana, tercer cuartil (Q3) y máximo, lo que permitió representar la dispersión de los datos mediante diagramas de caja (boxplot).

Tabla 4. Estadísticos descriptivos del ensayo de alabeo en ladrillos King Kong.

Tipo de ladrillo	n	Mín. (mm)	Q1 (mm)	Mediana (mm)	Q3 (mm)	Máx. (mm)	Límite normativo (mm)
KK18	10	1.25	1.47	1.63	1.91	2.13	4
KK30	10	2.00	2.54	2.94	3.63	4.00	2

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados experimentales.

Los resultados del ensayo de alabeo se presentan en la Tabla 4, donde se muestran los estadísticos descriptivos obtenidos para los ladrillos KK18 y KK30.

De acuerdo con la normativa técnica, el límite máximo permisible de alabeo es de 4 mm para los ladrillos KK18 y 2 mm para los ladrillos KK30. Los ladrillos KK18 presentan valores de alabeo relativamente bajos,

con una mediana de 1.63 mm y un valor máximo de 2.13 mm, situándose por debajo del límite normativo establecido de 4 mm.

En contraste, los ladrillos KK30 presentan valores más elevados de alabeo, con una mediana de 2.94 mm y un valor máximo de 4.00 mm. Estos valores superan el límite normativo permitido de 2 mm, y 9 de las 10 unidades superaron dicho límite (promedio de 3.03 mm), por lo que esta tipología no cumple el límite de alabeo establecido para Tipo V. Sus resultados son compatibles con el límite de alabeo de Tipo IV, sujeto a verificar los demás requisitos de dicha clase.

La Figura 9 presenta la distribución de los resultados del ensayo de alabeo para ambos tipos de ladrillo mediante diagramas de caja y bigotes, lo que permite visualizar la dispersión de los datos y su relación con los límites normativos establecidos.

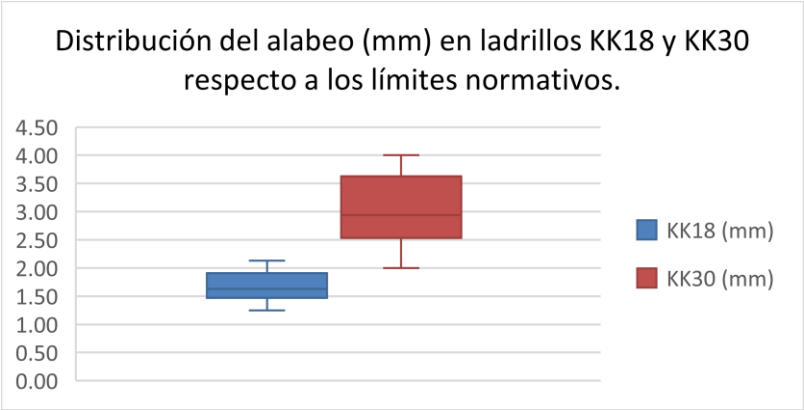


Figura 9. Distribución del alabeo en ladrillos KK18 y KK30 mediante diagrama de cajas y bigotes.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados experimentales obtenidos conforme a la NTP 399.613:2017 y el RNE E.070 – Albañilería.

Presencia de eflorescencias

La eflorescencia es un fenómeno superficial asociado a la migración y cristalización de sales solubles en las unidades de albañilería. Su evaluación se realizó conforme al procedimiento establecido en la Norma Técnica Peruana NTP 399.613, mediante la identificación visual de depósitos salinos después del contacto controlado con agua.

En el presente estudio se evaluaron dos tipos de ladrillos King Kong, correspondientes a unidades con 18 huecos (KK18) y 30 % de vacíos (KK30). Para cada tipo de ladrillo se analizaron 10 unidades, distribuidas en 5 muestras sometidas al ensayo de eflorescencia y 5 unidades testigo sin contacto con agua.

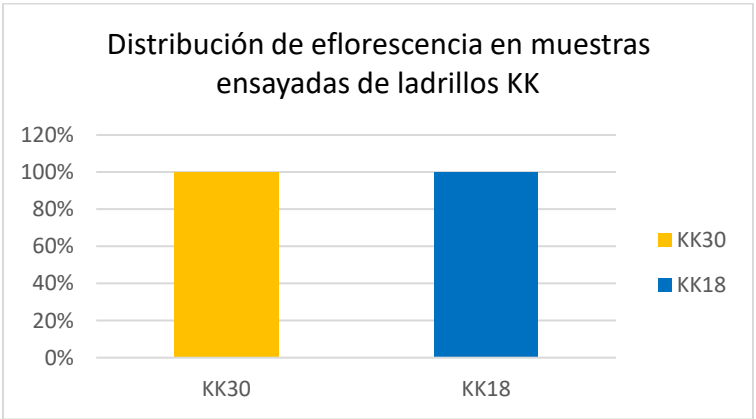


Figura 10. Evaluación visual de eflorescencias en las unidades ensayadas.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados experimentales obtenidos conforme a la NTP 399.613:2017 y el RNE E.070 – Albañilería.

La Figura 10 muestra la distribución de la presencia de eflorescencias en los ladrillos KK18 y KK30. En ambos tipos de ladrillo, las cinco muestras sometidas al ensayo no presentaron eflorescencia ni alteraciones visibles en su superficie. Asimismo, las unidades testigo tampoco evidenciaron presencia de este fenómeno.

En términos porcentuales, esto representa un 0 % de unidades con eflorescencia y un 100 % de unidades sin eflorescencia en cada grupo evaluado, lo que evidencia un comportamiento favorable y similar entre ambas tipologías bajo las condiciones del ensayo.

Absorción de agua

El ensayo de absorción de agua se realizó conforme a la Norma Técnica Peruana NTP 399.613, mediante la determinación del peso seco y del peso saturado de las unidades después de 24 horas de inmersión. Este parámetro permite evaluar la capacidad del material para retener humedad y su comportamiento en condiciones de servicio.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de la absorción de agua (%).

Tipo de ladrillo	Media (%)	Desviación estándar (%)	CV (%)	n	Mín. (%)	Máx. (%)
KK18	11.99	0.17	1.42	5	11.80	12.19
KK30	11.20	0.76	6.80	5	9.88	11.71

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados experimentales.

La Tabla 5 muestra que los ladrillos KK30 registraron una absorción promedio de 11.20 % ± 0.76 %, con valores entre 9.88 % y 11.71 %, mostrando una mayor dispersión en comparación con los ladrillos KK18. Por su parte, los ladrillos KK18 presentaron una absorción promedio de 11.99 % ± 0.17 %, con un rango entre 11.80 % y 12.19 %, mostrando un comportamiento más homogéneo.

En ambos casos, los valores no superaron el máximo de 22 % que fija el RNE E.070 para unidades de arcilla. Asimismo, los ladrillos KK18 presentaron menor variabilidad en comparación con los ladrillos KK30.

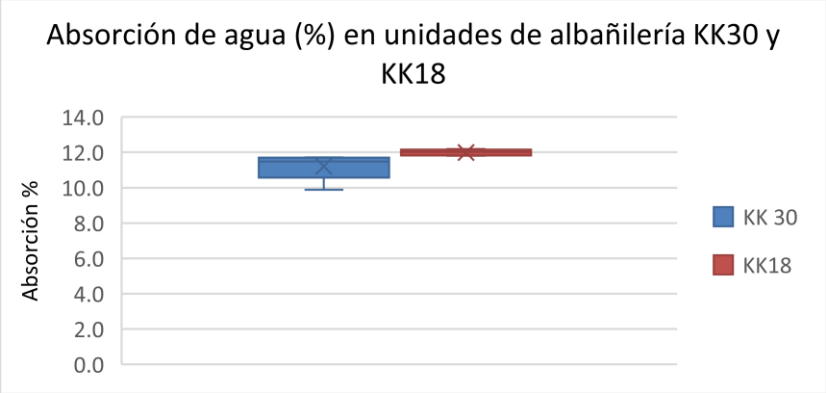


Figura 11. Resultados del ensayo de absorción de agua.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados experimentales obtenidos conforme a la NTP 399.613:2017 y el RNE E.070 – Albañilería.

La Figura 11 muestra la distribución de los resultados del ensayo de absorción de agua, evidenciando una menor dispersión en los ladrillos KK18 respecto a los KK30.

Resistencia a la compresión

El ensayo de resistencia a la compresión se realizó conforme a la normativa técnica aplicable a unidades de albañilería, con el fin de evaluar la capacidad portante de los ladrillos ofrecidos para muros estructurales.

Tabla 6. Estadísticos descriptivos de la resistencia a la compresión.

Tipo de ladrillo	n	Media (kg/cm²)	Desv. Estándar (kg/cm²)	CV (%)	Mín. (kg/cm²)	Máx. (kg/cm²)	(f'_b) característica (kg/cm²)
KK18	5	268.4	21.9	8.2	244.0	286.9	246.5
KK30	5	287.0	4.8	1.7	280.9	292.4	282.2

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados experimentales.

La Tabla 6 muestra que los ladrillos KK18 registraron una resistencia promedio de 268.4 ± 21.9 kg/cm², con valores entre 244.0 y 286.9 kg/cm², mostrando una mayor dispersión en los resultados.

Por su parte, los ladrillos KK30 presentaron una resistencia promedio de 287.0 ± 4.8 kg/cm², con un rango entre 280.9 y 292.4 kg/cm², mostrando un comportamiento más homogéneo.

Los ladrillos KK30 presentan valores promedio ligeramente superiores de resistencia a la compresión, mientras que los ladrillos KK18 muestran mayor variabilidad en sus resultados. Sin embargo, la prueba t de Welch no mostró una diferencia significativa entre las medias observadas (diferencia = 18.56 kg/cm²; t = 1.85; gl = 4.38; p = 0.13). En ambos casos, la resistencia característica supera los mínimos de referencia de la normativa y de las fichas técnicas consideradas para cada tipología.

La Figura 12 muestra los valores medidos. Para verificar el RNE E.070 se empleó la resistencia característica (promedio menos desviación estándar): 246.5 kg/cm² en KK18 y 282.2 kg/cm² en KK30, mayores que los mínimos de 130 kg/cm² para Tipo IV y 180 kg/cm² para Tipo V, según el tipo declarado en la ficha técnica. Cumplir la resistencia no basta por sí solo, porque la aptitud para muros portantes depende también de los demás requisitos de la norma.

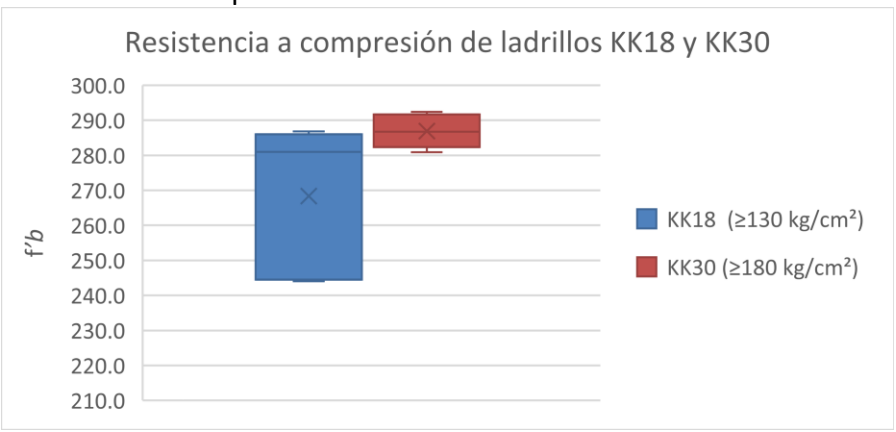


Figura 12. Resistencia a la compresión de los ladrillos KK18 y KK30.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados experimentales obtenidos conforme a la NTP 399.613:2017 y el RNE E.070 – Albañilería.

Resultados del modelo ANCOVA

Para el análisis ANCOVA se empleó una submuestra de diez observaciones (N = 10): cinco especímenes de KK18 y cinco de KK30. En cada espécimen se dispuso de datos de resistencia a la compresión, alabeo y porcentaje de vacíos, lo que permitió analizar la relación de estas propiedades físicas con la resistencia mecánica.

El objetivo del modelo fue evaluar si el alabeo, el porcentaje de vacíos y el tipo de ladrillo se asocian con la resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión se consideró como variable dependiente; el tipo de ladrillo, como factor; y el alabeo y el porcentaje de vacíos, como covariables. Las medidas de ajuste del modelo se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Medidas de ajuste del modelo.

Modelo	R	R^2	R^2 corregida	F	gl1	gl2	p
1	0.808	0.653	0.480	3.76	3	6	0.079

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis ANCOVA.

Las medidas de ajuste muestran que el modelo presentó una capacidad explicativa moderada de la

variabilidad de la resistencia a la compresión (R^2 = 0.653). Sin embargo, la prueba global del modelo no fue estadísticamente significativa (p = 0.079), por lo que los resultados deben interpretarse con cautela. En este sentido, el modelo se considera de carácter exploratorio, debido principalmente al tamaño reducido de la muestra (N = 10).

Coeficientes del modelo

Tabla 8. Coeficientes del modelo de regresión.

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	498.3530	101.8706	4.892	0.003
Alabeo	9.8549	9.2478	1.066	0.328
Vacíos (%)	-5.5377	2.3186	-2.388	0.054
Tipo: KK30 – KK18	-74.3577	38.8746	-1.913	0.104

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del análisis ANCOVA.

Los coeficientes estimados presentados en la Tabla 8 permiten formular una ecuación para estimar la resistencia a la compresión a partir del conjunto de datos analizado. Sin embargo, ninguna variable presentó significancia estadística individual, debido a que todos los valores de p fueron mayores que 0.05. Por tanto, los coeficientes no deben interpretarse como efectos concluyentes, sino como tendencias observadas en la muestra evaluada.

Ecuación exploratoria del modelo

Al reemplazar en la ecuación (6) los coeficientes estimados de la Tabla 8, se obtiene la ecuación (10):

$$f'_b = 498.3530 + 9.8549B - 5.5377C - 74.3577D \quad (10)$$

Donde: B = alabeo (mm); C = porcentaje de vacíos (%); D = tipo de ladrillo (1 = KK30; 0 = KK18).

La ecuación (10) permite estimar la resistencia a la compresión de los especímenes analizados a partir de sus propiedades físicas. No obstante, debido a que el modelo global no fue estadísticamente significativo, la ecuación debe emplearse únicamente como una herramienta exploratoria y no como una fórmula predictiva definitiva para otros lotes o tipos de ladrillo.

Tabla 9. Resultados del ANCOVA.

Factor	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tipo de ladrillo	608.33	1	608.33	3.659	0.104
Vacíos (%)	948.47	1	948.47	5.704	0.054
Alabeo	188.82	1	188.82	1.136	0.328
Residuos	997.64	6	166.27	—	—

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del análisis ANCOVA.

Los resultados del análisis de covarianza (ANCOVA) se presentan en la Tabla 9. Ninguna de las variables incluidas en el modelo presenta significancia estadística (p > 0.05), lo cual es consistente con el tamaño muestral reducido (N = 10) y la limitada potencia estadística del análisis.

No obstante, el mayor valor del estadístico F correspondió al porcentaje de vacíos (F = 5.704; p = 0.054), seguido del tipo de ladrillo (F = 3.659; p = 0.104) y del alabeo (F = 1.136; p = 0.328), sin que ninguno alcanzara significancia estadística. Por ello, estos efectos no pueden considerarse concluyentes desde el punto de vista estadístico.

Resistencia promedio y medias ajustadas

La Figura 13 presenta la resistencia promedio medida en cada tipo de ladrillo, con su intervalo de confianza de 95 %, calculado con la desviación estándar de cada grupo porque las varianzas difieren. Las medias ajustadas se calcularon para comparar ambos tipos considerando el efecto de las covariables incluidas en el modelo.

El promedio medido de KK18 (268.4 kg/cm²; IC 95 %: 241.2–295.6) fue menor que el de KK30 (287.0 kg/cm²; IC 95 %: 281.0–292.9), aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa (prueba t de

Welch, p = 0.13). Las medias ajustadas del modelo invierten ese orden (KK18 ≈ 314.9 kg/cm²; KK30 ≈ 240.5 kg/cm²) porque comparan ambos tipos en un mismo valor de las covariables, que ninguno de los dos presentó; por ello constituyen una extrapolación y no representan la resistencia real de cada tipología. Además, la diferencia ajustada no fue estadísticamente significativa (p = 0.104). Por tanto, no se puede afirmar una superioridad mecánica concluyente de una tipología sobre la otra.

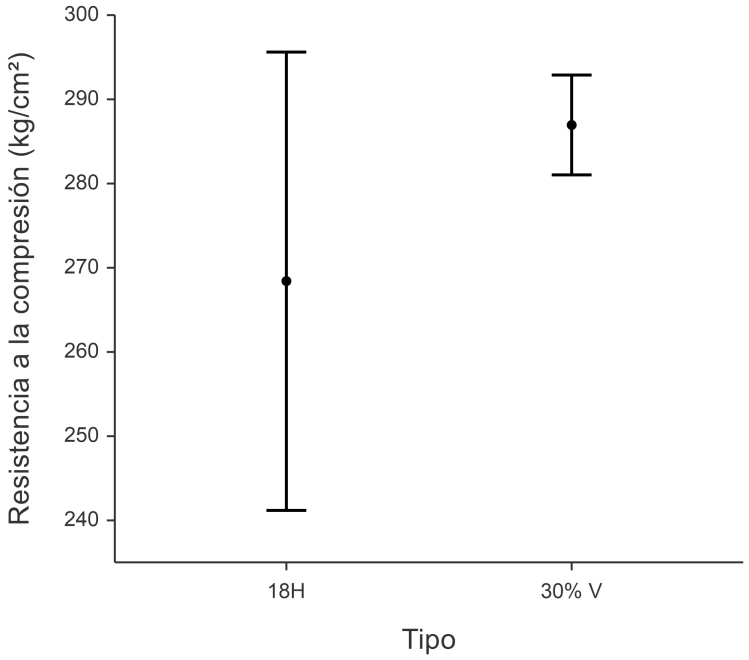


Figura 13. Resistencia promedio a la compresión por tipo de ladrillo, con intervalo de confianza de 95 %.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de laboratorio; intervalos calculados por tipo de ladrillo con la desviación estándar de cada grupo.

Evaluación de supuestos del modelo

La validez del modelo fue evaluada mediante el análisis de residuos.

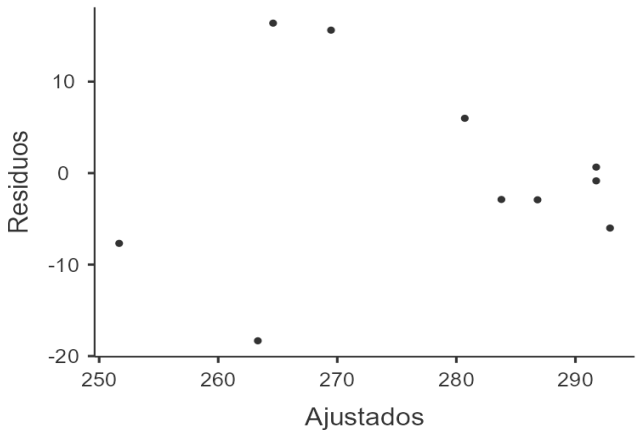


Figura 14. Residuos versus valores ajustados del modelo ANCOVA.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del análisis ANCOVA.

Como se muestra en la Figura 14, los residuos presentan una dispersión general alrededor de cero, sin un patrón claramente definido. Sin embargo, con N = 10 esta revisión gráfica no permite confirmar la homocedasticidad; además, la varianza de la resistencia de KK18 fue 21.1 veces la de KK30. La prueba de Levene indicó varianzas distintas entre los tipos de ladrillo (F(1, 8) = 14.5; p = 0.005), por lo que no se

cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas; por esta razón, la comparación de las medias observadas se realizó con la prueba t de Welch.

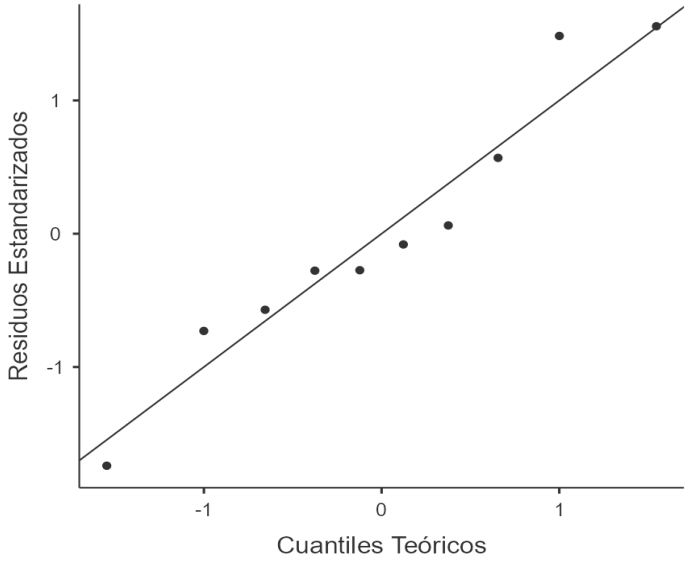


Figura 15. Gráfico Q-Q de los residuos estandarizados.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del análisis ANCOVA.

Por otro lado, el gráfico Q-Q de la Figura 15 muestra que los residuos siguen una tendencia cercana a la diagonal teórica en la parte central, aunque presentan desviaciones en los extremos. Estas diferencias pueden estar asociadas al tamaño reducido de la muestra (N = 10) y a la posible presencia de valores extremos. En general, no se evidencian desviaciones marcadas de la normalidad, aunque el tamaño de la muestra no permite confirmarla. La prueba de Shapiro-Wilk no detectó una desviación significativa de la normalidad (W = 0.943; p = 0.591) [(18)]. Los VIF fueron 4.64 para el alabeo, 16.43 para el porcentaje de vacíos y 22.72 para el tipo de ladrillo, lo que indica una colinealidad alta entre estas dos últimas variables [(19)]. La interacción del tipo de ladrillo con las covariables no fue significativa (F(2, 4) = 0.07; p = 0.931), aunque esta comprobación tiene poca potencia con N = 10.

En conjunto, el cumplimiento de los supuestos no pudo confirmarse. Por esta razón, las inferencias obtenidas deben interpretarse con cautela.

Evaluación del ajuste interno del modelo

Con el fin de evaluar el ajuste interno del modelo ANCOVA, se calculó el residuo, el error absoluto y el error porcentual. Estos indicadores permitieron comparar los valores estimados mediante la ecuación del modelo con los valores reales de resistencia a la compresión obtenidos en laboratorio.

Para ello, se aplicó la ecuación (10) a cada una de las diez observaciones consideradas en el modelo. Posteriormente, se calculó el residuo como la diferencia entre el valor real y el valor estimado de resistencia, mediante la ecuación (11):

$$Residuo = valor\ real - valor\ estimado \tag{11}$$

El error absoluto se obtuvo mediante la ecuación (12):

$$EA = |Residuo| \tag{12}$$

El error porcentual se calculó mediante la ecuación (13):

$$EP\ (\%) = \frac{EA}{Valor\ real} \times 100 \tag{13}$$

Asimismo, se empleó el Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE) como indicador del ajuste interno del modelo. Su interpretación se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Rangos de interpretación del MAPE.

MAPE (%)	Interpretación
< 5 %	Error muy bajo – excelente precisión
5 % – 10 %	Error bajo – buena precisión
10 % – 20 %	Error moderado – aceptable
> 20 %	Error alto – el modelo no predice adecuadamente

Fuente: Adaptado de [20].

Para comprobar el uso de la ecuación, se presenta el cálculo correspondiente al espécimen 1. En este caso, los valores fueron: B = 1.38, C = 47 y D = 0, debido a que corresponde al ladrillo KK18. Al reemplazar estos valores en la ecuación (10) con los coeficientes de la Tabla 8 sin redondear, se obtuvo una resistencia estimada de 251.68 kg/cm².

Dado que la resistencia real del espécimen fue 244.0 kg/cm², el residuo se calculó de la siguiente manera: Residuo = 244.0 − 251.68 = −7.68 kg/cm².

Este resultado coincide con el residuo reportado en la Tabla 11, lo que permite verificar que la ecuación fue aplicada correctamente para obtener los valores estimados y los errores del modelo.

Tabla 11. Evaluación del ajuste interno del modelo ANCOVA.

N.°	Resistencia (kg/cm²)	Alabeo (mm)	Vacíos (%)	Tipo (D)	Tipo de ladrillo	Resistencia estimada (kg/cm²)	Residuo	Error absoluto (EA)	Error porcentual (EP, %)
1	244.0	1.38	47	0	KK18	251.68	-7.68	7.68	3.15
2	286.9	1.63	40	0	KK18	292.91	-6.01	6.01	2.09
3	281.0	2.13	46	0	KK18	264.61	16.39	16.39	5.83
4	285.1	1.50	44	0	KK18	269.48	15.62	15.62	5.48
5	245.0	2.00	46	0	KK18	263.33	-18.33	18.33	7.48
6	280.9	2.63	30	1	KK30	283.78	-2.88	2.88	1.03
7	290.9	4.00	31	1	KK30	291.75	-0.85	0.85	0.29
8	283.9	3.50	31	1	KK30	286.82	-2.92	2.92	1.03
9	286.7	2.88	31	1	KK30	280.71	5.99	5.99	2.09
10	292.4	4.00	31	1	KK30	291.75	0.65	0.65	0.22

Nota: La resistencia estimada se obtuvo con la ecuación (10) y los coeficientes sin redondear de la Tabla 8, y coincide con los valores predichos por Jamovi. El residuo corresponde a la diferencia entre el valor observado y el valor estimado por el modelo. Tipo (D): 0 = KK18 y 1 = KK30.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del análisis ANCOVA.

Los resultados muestran errores porcentuales bajos en el conjunto analizado (máximo de 7.48 % en el espécimen 5). El MAPE obtenido fue aproximadamente 2.87 % y el error absoluto medio (MAE) de 7.73 kg/cm², lo que indica un error muy bajo y una concordancia aceptable entre los valores reales y estimados en la muestra evaluada. Sin embargo, este valor se calculó con los mismos datos del ajuste. Al estimar cada espécimen con un modelo ajustado sin ese espécimen (validación cruzada dejando uno fuera), el MAPE aumentó a 5.55 % y el R^2 predictivo fue de −0.42, lo que indica que el modelo no predice adecuadamente datos no utilizados en su ajuste.

Además, debido a que el modelo ANCOVA no presentó significancia estadística global ($p > 0.05$), estos resultados deben interpretarse con cautela. En consecuencia, la ecuación permite estimar la resistencia a la compresión para el conjunto de datos analizado, pero no debe considerarse una fórmula predictiva definitiva para otros lotes o poblaciones.

En este sentido, la evaluación del ajuste interno indica que la ecuación reproduce adecuadamente los valores de la muestra utilizada; no obstante, el modelo mantiene un carácter exploratorio debido al tamaño reducido de la muestra (N = 10) y a la colinealidad alta entre el porcentaje de vacíos y el tipo de ladrillo.

Resultados y análisis del modelado BIM

La aplicación del enfoque BIM 6D permitió integrar el modelado digital con la evaluación ambiental y económica de los sistemas analizados.

BIM 3D: modelado y verificación de interferencias en Navisworks

Se modelaron muros equivalentes con unidades KK18 y KK30 en Autodesk Revit.

El modelo se exportó a Autodesk Navisworks y se evaluó mediante la herramienta Clash Detective, con el fin de verificar la compatibilidad geométrica de los elementos modelados. El análisis no detectó interferencias geométricas (Clash = 0). Como se observa en la Figura 16, esta verificación permitió comprobar la consistencia geométrica del modelo antes de realizar la evaluación ambiental y económica.



Figura 16. Resultado del análisis de interferencias mediante Clash Detective en Navisworks, evidenciando ausencia de conflictos geométricos (Clash = 0).

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis realizado en Autodesk Navisworks mediante Clash Detective.

BIM 4D: duración estimada de los muros

La Tabla 12 presenta la duración estimada del asentado de cada muro de 6.50 m², con un rendimiento de 9 m²/día. La duración fue de 0.72 días en ambos casos, ya que se asumió la misma mano de obra; por ello, la dimensión 4D no diferencia las dos tipologías.

Tabla 12. Duración estimada (4D) del asentado de los muros de 6.50 m².

Parámetro	Unidad	KK18	KK30
Área del muro	m²	6.50	6.50
Rendimiento estimado	m²/día	9.00	9.00
Duración estimada	días	0.72	0.72

Fuente: Elaboración propia con datos de Revit y revista Costos.

BIM 5D: costo de los muros

La Tabla 13 presenta el costo de cada muro de 6.50 m². La mano de obra y el equipo fueron iguales en ambos sistemas (S/ 254.28), por lo que la diferencia de S/ 106.66 (24.1 %) provino principalmente del ladrillo.

Tabla 13. Costo (5D) de los muros de 6.50 m².

Parámetro	Unidad	KK18	KK30
Ladrillos	S/	161.95	268.76
Mortero	S/	25.74	25.59
Mano de obra	S/	242.19	242.19
Equipo	S/	12.09	12.09
Costo total (sin IGV)	S/	441.97	548.63
Costo por m²	S/ por m²	68.00	84.40

Fuente: Elaboración propia con datos de Revit, revista Costos y fabricante.

BIM 6D: evaluación ambiental del ciclo de vida (LCA A1–A3)

El modelo se vinculó con Tally LCA para desarrollar el análisis de ciclo de vida en las etapas A1–A3, tomando como referencia las normas ISO 14040 e ISO 14044. Este proceso proporcionó los factores ambientales que, aplicados a la masa medida de los ladrillos, permitieron cuantificar los indicadores y comparar el desempeño de ambas alternativas constructivas.

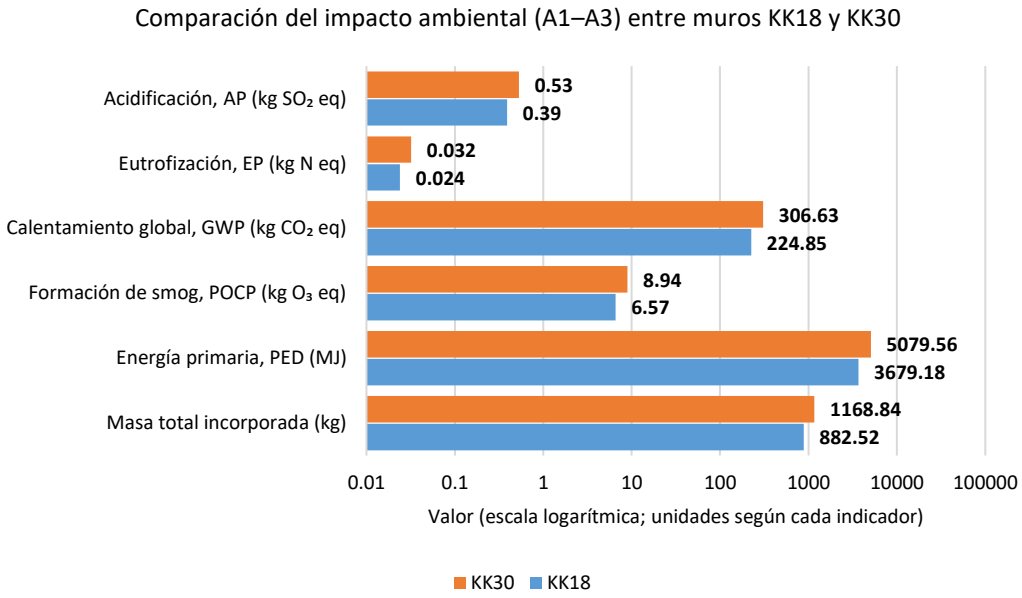


Figura 17. Comparación del impacto ambiental de los sistemas de albañilería mediante indicadores de Análisis de Ciclo de Vida (LCA A1–A3).

Fuente: Elaboración propia a partir de factores de Tally LCA y de la masa medida en el ensayo de absorción.

La Figura 17 muestra que el sistema de ladrillo KK30 presenta valores superiores en todos los indicadores ambientales evaluados respecto al sistema KK18. En el alcance A1–A3, el potencial de calentamiento global (GWP), el consumo de energía primaria (PED), la acidificación, la eutrofización y la formación de smog fueron 36.4 %, 38.1 %, 36.3 %, 31.1 % y 36.0 % mayores en el sistema KK30, respectivamente. Asimismo, este sistema presentó una masa total incorporada 32.4 % mayor. En conjunto, los resultados indican que el sistema KK18 presenta un menor impacto ambiental dentro del alcance A1–A3 considerado en el estudio.

Evaluación comparativa del desempeño

Los resultados obtenidos para los principales indicadores económicos y ambientales de ambos sistemas se resumen en la Tabla 14.

Tabla 14. Comparación integrada del desempeño BIM 6D de los sistemas de albañilería.

Parámetro	Unidad	KK18	KK30
Área	m²	6.50	6.50
Ladrillos por m²	unid	42.00	41.00
Costo total (sin IGV)	S/	441.97	548.63
GWP – calentamiento global (A1–A3)	kg CO_2 eq	224.85	306.63
CO_2 por m²	kg CO_2/m²	34.59	47.17
Energía primaria (PED)	MJ	3679.18	5079.56
Acidificación (AP)	kg SO_2 eq	0.39	0.53
Eutrofización (EP)	kg N eq	0.024	0.032
Formación de smog (POCP)	kg O_3 eq	6.57	8.94
Masa total incorporada	kg	882.52	1168.84

Fuente: Elaboración propia con datos de Revit, Tally LCA, ensayo de absorción, revista Costos y fabricante.

El sistema KK30 presenta un incremento aproximado del 24.1 % (S/ 106.66) en el costo total respecto al sistema KK18, debido principalmente al mayor precio del ladrillo (Tabla 13). Asimismo, en el alcance A1–A3, registró mayores valores de impacto ambiental, tanto en el potencial de calentamiento global (GWP) como en el consumo de energía primaria (PED), con incrementos de 36.4 % y 38.1 % respecto al sistema KK18, respectivamente. De igual manera, el sistema KK30 presentó una masa total incorporada 32.4 % mayor, debido a que su ladrillo pesó en promedio 3.770 kg frente a 2.650 kg del KK18.

Los alcances de las evaluaciones económica y ambiental difieren: el costo corresponde al muro construido e incluye ladrillo, mortero, mano de obra y equipo, mientras que la evaluación ambiental abarca únicamente las etapas A1–A3 y no considera el transporte a obra (A4) ni el proceso constructivo (A5). En consecuencia, los porcentajes de incremento de costo e impacto ambiental no son directamente comparables.

Análisis integrado del desempeño

El análisis integrado de los ensayos y de BIM 6D evidencia que el ladrillo KK30 presentó una resistencia promedio ligeramente superior; sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa (prueba t de Welch, $p = 0.13$), por lo que no puede afirmarse una ventaja mecánica concluyente. Asimismo, este sistema presenta mayores emisiones, mayor consumo energético y mayor masa total. Por otro lado, el ladrillo KK18 presenta un mejor desempeño económico y ambiental, además de una menor masa total incorporada en el escenario modelado.

Síntesis del desempeño BIM 6D

En síntesis, los resultados muestran que el ladrillo KK30 presenta valores promedio ligeramente superiores de resistencia a la compresión, aunque esta diferencia no es estadísticamente significativa (prueba t de Welch, $p = 0.13$). Por su parte, el ladrillo KK18 presenta un mejor desempeño económico y ambiental. No obstante, este resultado no implica aptitud estructural, ya que ambas tipologías se clasificaron como unidades huecas. En consecuencia, la selección del sistema constructivo debe basarse en un enfoque multicriterio que considere simultáneamente desempeño mecánico, impacto ambiental y costo.

Análisis integrado de resultados

Los resultados obtenidos evidencian que el comportamiento de los ladrillos cerámicos estructurales no puede evaluarse únicamente a partir de criterios normativos ni de los valores declarados en las fichas técnicas, ya que estos no siempre reflejan de manera completa las propiedades medidas en laboratorio. Esta situación muestra la utilidad de verificar experimentalmente las unidades antes de seleccionarlas, aunque los ensayos de este estudio se limitaron a unidades y no a muros.

En relación con la normativa, ambos tipos de ladrillo presentaron un comportamiento generalmente

acorde con los requisitos establecidos en el RNE E.070 y en las Normas Técnicas Peruanas para propiedades como resistencia a la compresión, absorción de agua y variación dimensional. Sin embargo, en el caso del alabeo, 9 de las 10 unidades KK30 superaron el límite permisible. Asimismo, ambas tipologías se clasificaron como unidades huecas por su porcentaje de vacíos, condición que la Tabla 2 del RNE E.070 no admite en muros portantes en el emplazamiento de referencia. Esto muestra que el cumplimiento normativo no es uniforme en todas las propiedades evaluadas: cumplir una de ellas no implica cumplir las demás. La Tabla 15 distingue la clasificación comercial, la obtenida en laboratorio y el cumplimiento de requisitos. Por tanto, la denominación Tipo V de KK30 corresponde a su ficha y a la lectura del informe por resistencia, pero no a un cumplimiento integral de esa clase.

Tabla 15. Clasificación comercial, clasificación de laboratorio y cumplimiento de requisitos.

Criterio	Fuente	KK18	KK30
Clasificación comercial	Ficha técnica	Tipo IV	Tipo V
Clasificación dimensional	Informe de laboratorio	Clase IV	"Clase VI"
Clasificación por resistencia	Informe de laboratorio	Ladrillo IV estructural	Ladrillo V estructural
Clasificación por vacíos	Informe de laboratorio	Hueca (45.40 %)	Hueca (30.40 %)
Alabeo frente al límite de su clase	Ensayo y RNE E.070	Cumple (máx. 2.13 mm; límite 4 mm)	No cumple (9 de 10 unidades > 2 mm)
Resistencia característica frente al mínimo	Ensayo y RNE E.070	Cumple (246.5 ≥ 130 kg/cm²)	Cumple (282.2 ≥ 180 kg/cm²)
Uso en muro portante en zona sísmica 4	Tabla 2 del RNE E.070	No admisible	No admisible

Fuente: Elaboración propia a partir de las fichas técnicas, el informe de laboratorio y el RNE E.070.

Calderón et al. [1], mediante una caracterización experimental detallada de albañilería con ladrillos multiperforados, propusieron una ecuación de resistencia a la compresión que superó a la fórmula de la norma chilena. En el presente estudio, los ensayos también aportaron información que las fichas no mostraban, como el alabeo medido de KK30 y la clasificación de ambas unidades como huecas; sin embargo, el modelo obtenido no permite proponer una ecuación de aplicación general. Por otra parte, las resistencias medias medidas (268.4 y 287.0 kg/cm², aproximadamente 26.3 y 28.1 MPa) fueron mayores que las de las unidades de 8 a 14 MPa empleadas por Nazimi et al.[2], aunque esta comparación es solo referencial, por tratarse de ladrillos de otra procedencia.

Al contrastar los resultados experimentales con la ficha técnica del fabricante, se observó que la principal discrepancia correspondió al alabeo de KK30, con 3.03 mm frente a los 2 mm declarados. La ficha de KK18 no declara un porcentaje de vacíos y el valor medido en KK30 (30.40 %) fue cercano a su denominación comercial. Aun así, esta propiedad resulta relevante, ya que define la clasificación de la unidad como hueca o sólida y fue una de las covariables del modelo. Los resultados obtenidos muestran que las diferencias entre los ladrillos KK18 y KK30 no deben interpretarse únicamente desde la resistencia a la compresión, sino considerando también la variabilidad del porcentaje de vacíos, la absorción y el comportamiento geométrico de cada tipología.

En cuanto al comportamiento mecánico, el ladrillo KK30 presentó valores promedio ligeramente superiores de resistencia a la compresión y menor dispersión en comparación con el ladrillo KK18. Sin embargo, la prueba t de Welch indicó que esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p = 0.13$). En el ANCOVA, la diferencia ajustada tampoco fue significativa ($p = 0.104$) y su sentido se invirtió (KK18 ≈ 314.9 kg/cm²; KK30 ≈ 240.5 kg/cm²), debido a que la comparación extrapola a valores comunes de las covariables que ninguna tipología presentó. Por tanto, no puede afirmarse una superioridad mecánica concluyente de una tipología sobre la otra. Este resultado es importante porque evidencia que una diferencia descriptiva en los promedios no necesariamente representa una diferencia estadística comprobada.

Respecto al componente estadístico, los resultados del modelo ANCOVA no mostraron significancia estadística global ($p > 0.05$). Asimismo, las variables incluidas en el modelo no presentaron significancia

individual. Por ello, no puede afirmarse que el alabeo, el porcentaje de vacíos o el tipo de ladrillo influyan significativamente sobre la resistencia a la compresión en el modelo evaluado. No obstante, el ANCOVA permitió identificar tendencias exploratorias en la muestra analizada, por lo que su utilidad se orienta al análisis interno de los datos y no a una predicción definitiva o generalizable.

Este resultado se relaciona con lo planteado por Jastrzębska y Futa [6], quienes aplicaron ANCOVA para evaluar la humedad de materiales de construcción. Sin embargo, en el presente estudio, el tamaño reducido de la muestra limitó la potencia estadística del modelo, por lo que los resultados deben interpretarse con cautela. En ese sentido, el modelo ANCOVA aporta una aproximación exploratoria para comprender la relación entre variables físicas y resistencia, pero no permite establecer efectos concluyentes.

De manera complementaria, el modelado BIM 6D permitió evaluar el desempeño ambiental y económico de los sistemas analizados. Los resultados evidenciaron que la alternativa con ladrillos KK30 presentó mayores costos, mayor impacto ambiental y una mayor masa total en el escenario modelado. Este resultado no contradice el análisis mecánico, sino que muestra que el desempeño del material debe valorarse desde dimensiones distintas y complementarias, y no únicamente desde la resistencia a la compresión.

Estos hallazgos coinciden con Pučko et al. [3], Sánchez-Ramón y Costa-De los Reyes [4] y Al-Raqeb y Ghaffar [5], quienes destacan que BIM 6D permite incorporar criterios de sostenibilidad, costos, desempeño ambiental y gestión de información en el análisis de edificaciones. En este sentido, la aplicación de BIM 6D en el presente estudio permitió ampliar la evaluación de los ladrillos cerámicos, integrando no solo su comportamiento físico y mecánico, sino también su impacto ambiental y económico.

En conjunto, los resultados indican que la selección de materiales para muros portantes debe realizarse mediante un enfoque multicriterio, integrando el desempeño mecánico, el cumplimiento normativo, el impacto ambiental, el costo y las características físicas medidas del material. De esta manera, se logra una evaluación más completa, acotada a ensayos de unidades y al escenario modelado. Por tanto, la principal contribución del estudio radica en integrar ensayos experimentales, análisis estadístico mediante ANCOVA y modelación BIM 6D en una misma metodología de evaluación para unidades de albañilería estructural.

Limitaciones del estudio

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra el tamaño reducido de la muestra empleada en el análisis inferencial, lo cual disminuye la potencia estadística del modelo ANCOVA y restringe la generalización de sus resultados. Además, la clasificación se basó en el porcentaje de vacíos por volumen medido con arena, sin medir el área en secciones, y el tipo de ladrillo y el porcentaje de vacíos presentaron una colinealidad alta, lo que impide separar con claridad sus efectos. La ecuación se evaluó con los mismos diez datos del ajuste y mediante validación cruzada dejando uno fuera (MAPE = 5.55 %; R^2 predictivo = −0.42), sin una muestra independiente, por lo que no se comprobó su capacidad predictiva. Tampoco pudo confirmarse el cumplimiento de los supuestos del modelo, ya que las varianzas de la resistencia difirieron entre tipologías (Levene, p = 0.005). Asimismo, la evaluación ambiental se desarrolló bajo el alcance A1–A3 del ciclo de vida, por lo que los hallazgos obtenidos representan una comparación acotada a la etapa de producción. El alcance A1–A3 excluye el transporte a obra (A4), la construcción (A5), el uso y el fin de vida.

Las unidades corresponden a una sola marca y fueron proporcionadas por la empresa, sin el muestreo al azar a pie de obra que indica el RNE E.070, por lo que no representan necesariamente otros lotes. Los ensayos se realizaron a nivel de unidad, sin pilas ni muretes. Además, KK30 quedó en el límite de clasificación (30.40 %, con seis de diez unidades en 30 %), de modo que ese resultado es sensible al

método de medición.

La evaluación ambiental empleó factores de la entrada genérica de Tally y no datos específicos del producto. La masa de ladrillos se obtuvo del peso seco de cinco unidades por tipo y el mortero se mantuvo según Tally, por lo que los valores ambientales son un recálculo y no un resultado directo del programa. Además, el costo incluye el proceso constructivo, mientras que la evaluación ambiental se limita a las etapas A1–A3. En cuanto a los costos, los precios del ladrillo corresponden a lo informado por el fabricante, los demás precios rigen para Lima, no se consideró desperdicio y el rendimiento de la mano de obra se dedujo de la revista sin medirse en obra. Los resultados BIM corresponden a un muro de 6.50 m² y, al asumirse la misma mano de obra, la duración (4D) no diferencia ambas tipologías.

En cuanto a la junta de mortero, la cantidad de ladrillos por m² de la ecuación (7) se calculó con un espesor uniforme de 10 mm en las juntas horizontales y verticales, sin medirlo en un muro construido; el RNE E.070 admite juntas de 10 a 15 mm, de modo que una junta mayor reduciría la cantidad de ladrillos y aumentaría el volumen de mortero. Además, el volumen de mortero se obtuvo como la diferencia entre el volumen del muro y el de los ladrillos, sin considerar el mortero que ingresa en los huecos de las unidades, que puede ser mayor en KK18 por su mayor porcentaje de vacíos. Por ello, la cantidad de ladrillos, el mortero, el costo (5D) y la huella de carbono (6D) dependen de estos supuestos. En consecuencia, los resultados deben interpretarse como evidencia comparativa relevante en el contexto analizado, mas no como una caracterización exhaustiva del desempeño de todos los ladrillos cerámicos estructurales disponibles en el mercado.

CONCLUSIONES

1. Los ladrillos KK18 registraron variaciones dimensionales promedio de −0.47 % en ancho, −0.76 % en alto y 0.15 % en largo, mientras que los KK30 presentaron valores de 0.41 %, −0.35 % y −0.51 %, respectivamente. En ambos casos, las variaciones se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la normativa aplicable, evidenciando una adecuada regularidad dimensional de las unidades evaluadas.
2. En el ensayo de porcentaje de vacíos, los ladrillos KK18 alcanzaron un promedio de 45.40 % ± 2.80 % y los KK30 de 30.40 % ± 0.52 %. Ambos promedios superan el límite de referencia de 30 % del RNE E.070 para unidades sólidas, por lo que el informe de laboratorio clasifica ambas tipologías como unidades huecas. Según la Tabla 2 de esa norma, esta clasificación no es admisible para muros portantes en la zona sísmica 4 del emplazamiento de referencia.
3. En el ensayo de alabeo, los ladrillos KK18 registraron un promedio de 1.66 mm, por debajo del límite de 4 mm. En cambio, los KK30 alcanzaron 3.03 mm y 9 de las 10 unidades superaron el límite de 2 mm, por lo que no cumplen el límite de alabeo del Tipo V declarado en su ficha técnica; sus resultados son compatibles con el límite de Tipo IV, sujeto a verificar los demás requisitos de dicha clase.
4. En el ensayo de eflorescencias, ninguna de las unidades evaluadas de KK18 y KK30 presentó eflorescencias visibles. En consecuencia, ambas tipologías mostraron un comportamiento satisfactorio frente a este criterio bajo las condiciones establecidas para el ensayo.
5. La absorción de agua promedio fue de 11.99 % ± 0.17 % para los ladrillos KK18 y de 11.20 % ± 0.76 % para los KK30. Ambos resultados se encontraron dentro de los límites establecidos por la normativa aplicada, evidenciando un comportamiento adecuado respecto a esta propiedad.
6. La resistencia a la compresión promedio alcanzó 268.4 ± 21.9 kg/cm² en los ladrillos KK18 y 287.0 ± 4.8 kg/cm² en los KK30. Su resistencia característica fue de 246.5 y 282.2 kg/cm², respectivamente, mayor que los mínimos de 130 y 180 kg/cm² del RNE E.070. Aunque los KK30 presentaron una resistencia promedio superior en 18.56 kg/cm² y una menor dispersión, la diferencia entre ambas tipologías no resultó estadísticamente significativa (prueba t de Welch, $p = 0.13$).

7. El modelo ANCOVA presentó un coeficiente de determinación $R^2 = 0.653$, con $F = 3.76$ y $p = 0.079$, por lo que el modelo global no alcanzó significancia estadística. Asimismo, el alabeo ($p = 0.328$), el porcentaje de vacíos ($p = 0.054$) y el tipo de ladrillo ($p = 0.104$) no evidenciaron efectos estadísticamente significativos sobre la resistencia a la compresión en la submuestra analizada.
8. La evaluación del ajuste interno del modelo ANCOVA obtuvo un MAPE de 2.87 % y un MAE de 7.73 kg/cm², calculados con los mismos diez datos empleados en su ajuste. Al estimar cada espécimen con el modelo ajustado sin ese espécimen, el error aumentó a 5.55 %. Debido al tamaño reducido de la submuestra ($N = 10$) y a la ausencia de significancia estadística global del modelo, la ecuación obtenida debe interpretarse únicamente como una herramienta exploratoria y no como un modelo predictivo generalizable.
9. La evaluación mediante BIM 6D mostró que, para un área modelada de 6.50 m², el sistema KK18 presentó un costo total de S/ 441.97 sin IGV, frente a S/ 548.63 del KK30, un 24.1 % mayor. En la evaluación ambiental correspondiente a las etapas A1–A3, el sistema KK18 registró un menor potencial de calentamiento global, con 224.85 frente a 306.63 kg CO_2 eq (36.4 % mayor en KK30), y un menor consumo de energía primaria, con 3679.18 frente a 5079.56 MJ (38.1 % mayor en KK30), calculados con la masa medida de los ladrillos. La duración estimada del asentado (4D) fue de 0.72 días en ambos sistemas. En el escenario analizado, el sistema KK18 presentó, por tanto, un menor costo e impacto ambiental, aunque estos porcentajes no son directamente comparables, ya que el costo incluye el proceso constructivo y la evaluación ambiental se limita a las etapas A1–A3.
10. La evaluación integrada evidenció que ambas tipologías presentan características diferenciadas. Ninguna de las dos alcanzó la condición de unidad sólida y, además, KK30 no cumplió el límite de alabeo de Tipo V. Por tanto, el cumplimiento de propiedades individuales como la resistencia o la absorción no equivale a aptitud normativa integral para muros portantes. Los ladrillos KK30 alcanzaron una mayor resistencia promedio a la compresión, aunque sin una diferencia estadísticamente significativa respecto a los KK18, mientras que estos últimos presentaron menores valores de costo e impacto ambiental dentro del alcance A1–A3. En consecuencia, la selección de unidades de albañilería para muros portantes debe considerar conjuntamente el cumplimiento normativo, las propiedades físicas y mecánicas, el desempeño económico y el impacto ambiental.

Como perspectiva futura, se recomienda ampliar el tamaño de la muestra e incorporar unidades procedentes de diferentes lotes y fabricantes, medir el área de vacíos por sección, ensayar pilas y muretes, y extender la evaluación ambiental a otras etapas del ciclo de vida. Esto permitiría fortalecer la capacidad inferencial del modelo estadístico y ampliar la aplicabilidad de los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

[1] S. Calderón, C. Sandoval, G. Araya-Letelier y V. Aguilar, “A detailed experimental mechanical characterization of multi-perforated clay brick masonry”, Journal of Building Engineering, vol. 63, art. 105505, ene. 2023, doi: 10.1016/j.jobe.2022.105505.

[2] K. Nazimi, J. J. Castro, S. Omi y M. A. Stanikzai, “Investigating the compressive strength of clay brick masonry: A case study of Nangarhar, Afghanistan”, Buildings, vol. 14, no. 12, art. 3882, dic. 2024, doi: 10.3390/buildings14123882.

[3] Z. Pučko, D. Vincek, A. Štrukelj y N. Šuman, “Application of 6D Building Information Model (6D BIM) for business-storage building in Slovenia”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 245, art. 062028, oct. 2017, doi: 10.1088/1757-899X/245/6/062028.

[4] D. Sánchez-Ramón y C. Costa-De los Reyes, “Aplicación del enfoque 6D BIM en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública”, CienciAmérica, vol. 12, no. 2, pp. 32–57, oct. 2023, doi: 10.33210/ca.v12i2.434.

[5] H. Al-Raqeb y S. H. Ghaffar, “The role of BIM 6D and 7D in enhancing sustainable construction practices: A qualitative study”, Technologies, vol. 13, no. 2, art. 65, feb. 2025, doi: 10.3390/technologies13020065.

[6] M. Jastrzębska y A. Futa, “The evaluation of building materials moisture using the analysis of covariance”, Journal of Physics: Conference Series, vol. 2911, no. 1, art. 012032, dic. 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2911/1/012032.

[7] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Norma Técnica E.070 Albañilería, Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, Perú, 2006.

[8] Instituto Nacional de Calidad, NTP 399.613:2017. Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. Lima, Perú, 2017.

[9] G. A. Miller y J. P. Chapman, “Misunderstanding analysis of covariance”, Journal of Abnormal Psychology, vol. 110, no. 1, pp. 40–48, feb. 2001, doi: 10.1037/0021-843X.110.1.40.

[10] B. L. Welch, “The generalization of ‘Student’s’ problem when several different population variances are involved”, Biometrika, vol. 34, no. 1–2, pp. 28–35, ene. 1947, doi: 10.2307/2332510.

[11] The jamovi project, “jamovi (versión 2.6)”, jamovi.org. [En línea]. Disponible en: https://www.jamovi.org. Accedido: 3 de nov. de 2026.

[12] International Organization for Standardization, ISO 14040:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Ginebra, Suiza, 2006.

[13] International Organization for Standardization, ISO 14044:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. Ginebra, Suiza, 2006.

[14] CEN, EN 15978:2011. Sustainability of construction works — Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method. Bruselas, Bélgica, 2011.

[15] Costos, “Suplemento técnico: junio 2025”, Revista Costos. Lima, Perú, 2025. [En línea]. Disponible en: https://revista.costosperu.com. Accedido: 4 de nov. de 2026.

[16] C. Vilca, Guía rápida: cálculo de materiales en obra, 1.ª ed. Ingeniería Studio, 2025.

[17] MVCS, Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, RNE. Lima, Perú, 2019.

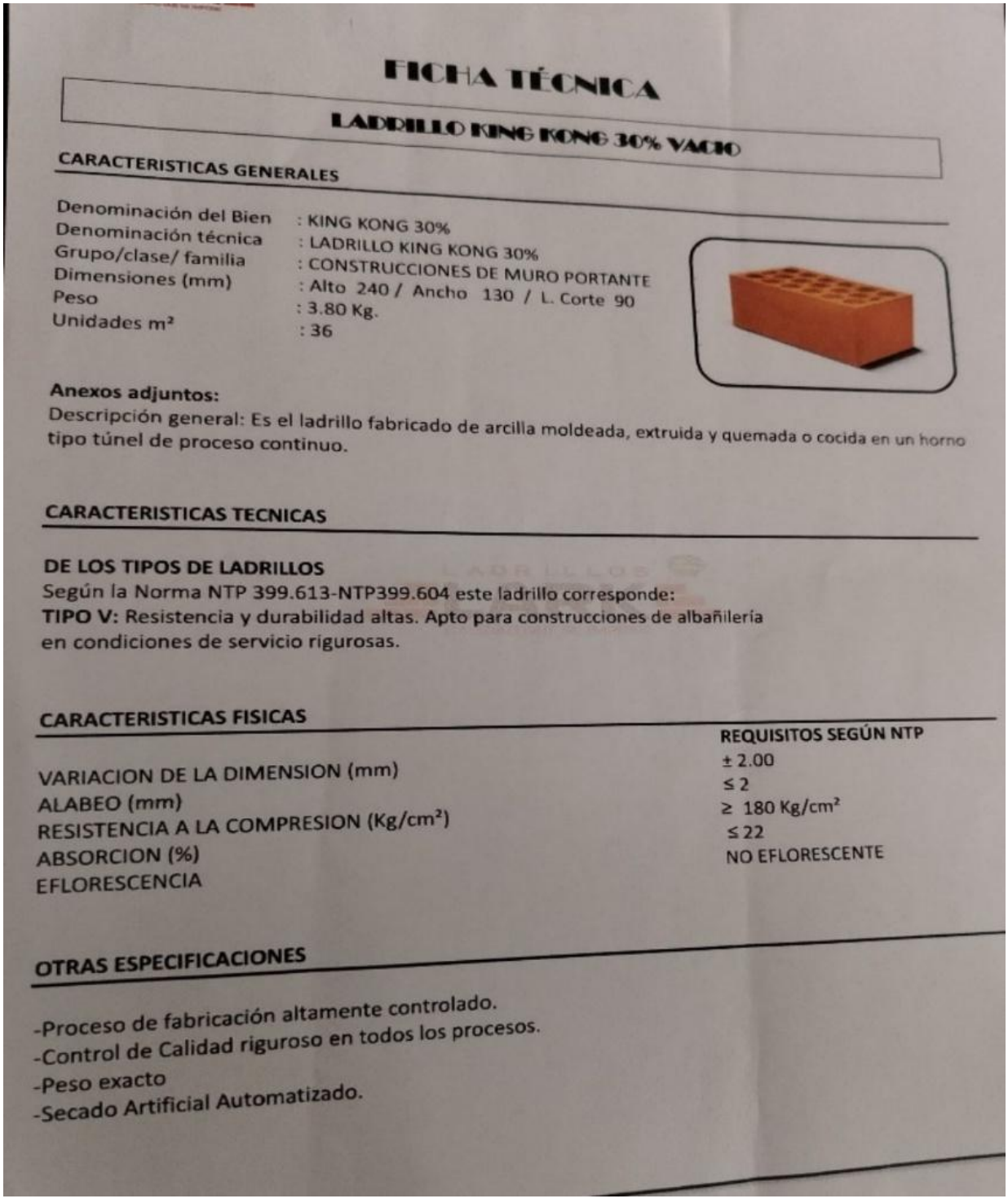
[18] S. S. Shapiro y M. B. Wilk, “An analysis of variance test for normality (complete samples)”, Biometrika, vol. 52, no. 3–4, pp. 591–611, dic. 1965, doi: 10.1093/biomet/52.3-4.591.

[19] R. M. O’Brien, “A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors”, Quality & Quantity, vol. 41, no. 5, pp. 673–690, sep. 2007, doi: 10.1007/s11135-006-9018-6.

[20] N. Xu y Y.-G. Dang, “An optimized grey GM(2,1) model and forecasting of highway subgrade settlement”, Mathematical Problems in Engineering, vol. 2015, pp. 1–6, 2015, doi: 10.1155/2015/606707.

ANEXOS

Los anexos incluyen las fichas técnicas del fabricante (Figuras 18 y 19), el informe de ensayos de ladrillos de arcilla emitido por el Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales de la UPeU, las salidas del análisis estadístico y del modelado BIM (Figuras 20 a 24) y la trazabilidad de los especímenes (Tabla 16).



FICHA TÉCNICA

LADRILLO KING KONG 30% VACIO

CARACTERISTICAS GENERALES

Denominación del Bien	: KING KONG 30%
Denominación técnica	: LADRILLO KING KONG 30%
Grupo/clase/ familia	: CONSTRUCCIONES DE MURO PORTANTE
Dimensiones (mm)	: Alto 240 / Ancho 130 / L. Corte 90
Peso	: 3.80 Kg.
Unidades m²	: 36

Anexos adjuntos:

Descripción general: Es el ladrillo fabricado de arcilla moldeada, extruida y quemada o cocida en un horno tipo túnel de proceso continuo.

CARACTERISTICAS TECNICAS

DE LOS TIPOS DE LADRILLOS

Según la Norma NTP 399.613-NTP399.604 este ladrillo corresponde:

TIPO V: Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio rigurosas.

CARACTERISTICAS FISICAS

	REQUISITOS SEGÚN NTP
VARIACION DE LA DIMENSION (mm)	± 2.00
ALABEO (mm)	≤ 2
RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/cm²)	≥ 180 Kg/cm²
ABSORCION (%)	≤ 22
EFLORESCENCIA	NO EFLORESCENTE

OTRAS ESPECIFICACIONES

-Proceso de fabricación altamente controlado.
-Control de Calidad riguroso en todos los procesos.
-Peso exacto
-Secado Artificial Automatizado.

Figura 18. Ficha técnica del ladrillo (kk) 30 % vacíos.

Fuente: Ficha técnica del fabricante del ladrillo KK 30 % de vacíos.

FICHA TÉCNICA

LADRILLO KING KONG 18 HUECOS

CARACTERISTICAS GENERALES

Denominación del Bien	: KING KONG 18 HUECOS
Denominación técnica	: LADRILLO KING KONG 18 HUECOS
Grupo/clase/ familia	: CONSTRUCCIONES DE MURO PORTANTE
Dimensiones (mm)	: Alto 230 / Ancho 125 / L. Corte 90
Peso	: 2.7 Kg.
Unidades m²	: 36



Anexos adjuntos:
Descripción general: Es el ladrillo fabricado de arcilla moldeada, extruida y quemada o cocida en un horno tipo túnel de proceso continuo.

CARACTERISTICAS TECNICAS

DE LOS TIPOS DE LADRILLOS
Según la Norma NTP 399.613 este ladrillo corresponde:
TIPO IV: Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albañilería
En condiciones de servicio rigurosas.

CARACTERISTICAS FISICAS

	REQUISITOS SEGÚN NTP
VARIACION DE LA DIMENSION (mm)	± 2.00 %
ALABEO (mm)	≤ 4mm
RESISTENCIA A LA COMPRENSION (Kg/cm²)	≥ 130.00 Kg/cm²
ABSORCION (%)	< 22
EFLORESCENCIA	NO EFLORESCENTE

OTRAS ESPECIFICACIONES

-Proceso de fabricación altamente controlado.
-Control de Calidad riguroso en todos los procesos.
-Peso exacto
-Secado Artificial Automatizado.

Parcela 10234 Fundo Santa Inés, Puente Piedra – Lima. Telf: (051) 717-3322
www.ladrilloslark.com.pe

Figura 19. Ficha técnica del ladrillo (kk) 18 Huecos.
Fuente: Ficha técnica del fabricante del ladrillo KK 18 huecos.

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

INFORME DE ENSAYOS DE LADRILLOS DE ARCILLA

INFORME N°: 0005-2025-TESIS-LCEM

SOLICITANTE

Liliabet Nanhyely Ordoñez Huamán

INGENIERO RESPONSABLE

Ing. Luis Eduardo Suarez Muedas

NORMAS DE REFERENCIA

- ✓ NTP 399.613: Ladrillos de arcilla – Métodos de ensayo
- ✓ Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Técnica E.070 Albañilería

FECHA DE EMISIÓN

25/06/2026

TIPO DE MUESTRAS

Ladrillo KK 18 huecos marca LARK

Ladrillo KK 30 % vacíos marca LARK

UPeU EP INGENIERIA CIVIL	INFORME DE ENSAYO ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	CODIGO DE SERVICIO --- FORMATO/VERSIÓN --- PÁGINA 1

NOMBRE DEL PROYECTO	Verificación técnica y normativa de ladrillos King Kong para muros portantes mediante Ancova y Bim 6d- Universidad Peruana Unión		
UBICACIÓN	Laboratorio de Ingeniería Civil - Universidad Peruana Unión		
TESISTA	Ordoñez Huaman Liliabet Nanhyely	**FECHA DE INFORME:**	25/06/2026

Descripción de las muestras

- ✓ **Muestra A:** Ladrillo de arcilla tipo King Kong 18 huecos Marca LARK (5 unidades).
- ✓ **Muestra B:** Ladrillo de arcilla tipo King Kong 30% de vacíos marca LARK (5 unidades).

Normativa utilizada: NTP 399.613

Resultados

- ✓ **Muestra A: Ladrillo KK 18 Huecos**

Resistencia a la compresión ladrillo (KK) 18 huecos				
N° de Ladrillo	**Ancho promedio (mm)**	**Alto promedio (mm)**	**Largo promedio (mm)**	**Resistencia (kg/cm²)**
Ladrillo 1	124.40	89.00	231.40	244.0
Ladrillo 2	125.80	90.40	230.20	286.9
Ladrillo 3	125.30	89.50	229.20	281.0
Ladrillo 4	125.60	89.90	231.00	285.1
Ladrillo 5	125.00	89.00	233.80	245.0

Resistencia promedio a la compresión = 268.40 kg/cm² → Cumple con Norma E.070: **Tipo IV ≥ 130** kg/cm²

- ✓ **Muestra B:** Ladrillo KK 30% vacíos

Resistencia a la compresión ladrillo (KK) 30% VACIOS				
N.° de Ladrillo	**Ancho promedio (mm)**	**Alto promedio (mm)**	**Largo promedio (mm)**	**Resistencia (kg/cm²)**
Ladrillo 1	129.30	89.70	238.80	280.9
Ladrillo 2	130.00	85.80	238.00	290.9
Ladrillo 3	129.00	88.50	239.30	283.9
Ladrillo 4	129.00	89.00	239.50	286.7
Ladrillo 5	127.80	88.50	238.50	292.4

Resistencia promedio a la compresión = 286.95 kg/cm² → Cumple con Norma E.070: **Tipo V ≥ 180** kg/cm²

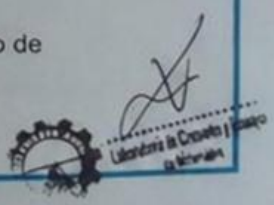
Ladrillo KK 18 huecos: Promedio 268.40 kg/cm² → Ladrillo IV estructural.

Ladrillo KK 30 % vacíos: Promedio 286.95 kg/cm² → Ladrillo V estructural.

En consecuencia, ambos son aptos para uso en muros estructurales.

Observaciones — Ensayo de Compresión

- Los ladrillos King Kong 18 huecos y 30% vacíos, marca LARK, fueron proporcionados por la empresa para fines de investigación.
- Se cumplió la NTP, la cual establece 10 unidades por tipo de muestra: 5 para compresión y 5 para absorción.
- El ensayo de compresión se realizó en el Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales de la UPeU.



- El cálculo del porcentaje de vacíos se realizó mediante la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de la unidad, sin aplicar adicionalmente el factor 16.4, debido a que el volumen de vacíos ya se encontraba expresado directamente en cm^3, evitando una doble conversión de unidades.

Evidencia fotográfica

Preparación de la superficie del ladrillo para ensayo de compresión.	Aplicación de carga en ensayo de compresión.
	
del ladrillo para ensayo de compresión.	**Aplicación de carga en ensayo de compresión.**
	

Figura 1:*Evidencia fotográfica del procedimiento del ensayo de compresión,*

7.4 **Cálculo y reporte**

7.4.1 Calcúlese y repórtese la resistencia a la compresión de cada espécimen con la ecuación que se indica a continuación, debiendo darse los resultados con aproximación a 69 kPa:

$$C = P/A$$

Donde:

C = Resistencia a la compresión del espécimen, (kg/cm^2) (o $Pa.10^7$).
P = Máxima carga indicada por la máquina de ensayo, kg_f o N.
A = Promedio del área bruta de las superficies de contacto superior e inferior del espécimen, cm^2.

7.4.2 Calcular y reportar el promedio de la resistencia a la compresión determinado con aproximación a 69 kPa.

Figura 2*: Cálculo de resistencia a la compresión establecido en la NTP 399.613.*

REALIZADO POR		AUTORIZADO POR	
FIRMA:		**FIRMA:**	Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales
Nombre:	Liliabet Nanhyely Ordoñez Huaman	**Nombre:**	Ing. Luis Eduardo Suarez Muedas
Cargo :	Tesista	**Cargo :**	Jefe de Servicios de Laboratorio

UPeU E.P. INGENIERIA CIVIL	INFORME DE ENSAYO	CODIGO DE SERVICIO: ---
	ABSORCIÓN DE AGUA	FORMATO/VERSIÓN: ---
		PÁGINA: 3

NOMBRE DEL PROYECTO	Verificación técnica y normativa de ladrillos King Kong para muros portantes mediante Ancova y Bim 6d- Universidad Peruana Unión		
UBICACIÓN	Laboratorio de Ingeniería Civil - Universidad Peruana Unión		
TESISTA	Ordoñez Huaman Liliabet Nanhyely	**FECHA DE INFORME:**	25/06/2026

Descripción de las muestras

- ✓ **Muestra A:** Ladrillo de arcilla tipo King Kong 18 huecos Marca LARK (5 unidades).
- ✓ **Muestra B:** Ladrillo de arcilla tipo King Kong 30% de vacíos Marca LARK (5 unidades).

Normativa utilizada: NTP 399.613

Resultados

- ✓ **Muestra A:** Ladrillo KK 18 Huecos

ABSORCIÓN 18 Huecos			
	Peso Después del Horno	Peso después de las 24 horas	% Absorción
ladrillo 1	2749.9	3085.2	12.2
ladrillo 2	2628.2	2938.3	11.8
ladrillo 3	2629.2	2945.1	12.0
ladrillo 4	2712.1	3040.8	12.1
ladrillo 5	2531.1	2830.7	11.8

- ✓ **Muestra B:** Ladrillo KK 30% Vacíos

ABSORCIÓN 30% Vacíos			
	Peso Después del Horno	Peso después de las 24 horas	% Absorción
ladrillo 1	3742.0	4179.0	11.7
ladrillo 2	3761.0	4193.0	11.5
ladrillo 3	3807.0	4183.0	9.9
ladrillo 4	3757.0	4197.0	11.7
ladrillo 5	3783.0	4209.0	11.3

- ✓ **Estadísticos de la absorción de agua (%) en ladrillos KK18 y KK30**

Tipo de ladrillo	Absorción media (%)	s (Desviación estándar)	CV (%)	n	Mín (%)	Máx (%)
18 huecos	12.0	0.2	1.4	5.0	11.8	12.2
30 % vacíos	11.2	0.8	6.8	5.0	9.9	11.7

Promedio de absorción KK18: 11.99 %
Clasificación: Cumple con NTP 399.613 (≤ 22 %)
Promedio de absorción KK30: 11.20 %
Clasificación: Cumple con NTP 399.613 (≤ 22 %)

Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales

Observaciones

- Se evaluaron ladrillos King Kong de 18 huecos y 30 % de vacíos, marca LARK, en estado natural.
- El ensayo de absorción se realizó según la NTP 399.613 mediante inmersión en agua fría durante 24 h.
- Se utilizaron 10 unidades por tipo de ladrillo, destinándose 5 unidades para el ensayo de compresión y 5 unidades para el ensayo de absorción, conforme a la NTP 399.613.

Evidencia fotográfica

Ladrillos ingresados al Horno (KK18-KK30)	Ladrillos sumergidos por 24 h (KK18-KK30)	Peso en seco del ladrillo KK 30	Peso despues de las 24h sumergido del ladrillo KK 30	Peso en seco del ladrillo KK 18	Peso despues de las 24h sumergido del ladrillo KK 18
					

Figura 1:Evidencia fotográfica del ensayo de absorción.

5.4 Pruebas

a) **Muestreo**.- El muestreo será efectuado a pie de obra. Por cada lote compuesto por hasta 50 millares de unidades se seleccionará al azar una muestra de 10 unidades, sobre las que se efectuarán las pruebas de variación de dimensiones y de alabeo. Cinco de estas unidades se ensayarán a compresión y las otras cinco a absorción.

e) **Absorción**.- Los ensayos de absorción se harán de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.604 y 399.613.

Figura 2:*Procedimiento de muestreo y ensayos.*

9.3.2 **Cálculo e informe**

9.3.2.1 Calcular la absorción de cada espécimen con la siguiente expresión, con aproximación al 0,1 %:

$$Absorción\ (\%) = 100\,(W_s - W_d) / W_d$$

Donde:

W_d = Peso seco del espécimen.
W_s = Peso del espécimen saturado, después de la sumersión en agua fría.

9.3.2.2 Calcular y reportar el promedio de absorción de agua fría de todos los especímenes ensayados, con aproximación a 0,1 %.

Figura 3:*Cálculo de absorción establecido en la NTP 399.613.*

REALIZADO POR		AUTORIZADO POR	
FIRMA:		FIRMA:	
Nombre:	Liliabet Nanhyely Ordoñez Huaman	Nombre:	Ing. Luis Eduardo Suarez Muedas
Cargo :	Tesista	Cargo :	Jefe de Servicios de Laboratorio

UPeU EP INGENIERIA CIVIL	INFORME DE ENSAYO PORCENTAJE DE VACÍOS	CODIGO DE SERVICIO --- FORMATO/VERSIÓN --- PÁGINA 5

NOMBRE DEL PROYECTO	Verificación técnica y normativa de ladrillos King Kong para muros portantes mediante Ancova y Bim 6d- Universidad Peruana Unión		
UBICACIÓN	Laboratorio de Ingeniería Civil - Universidad Peruana Unión		
TESISTA	Ordoñez Huaman Liliabet Nanhyely	**FECHA DE INFORME:**	25/06/2026

Descripción de las muestras

- ✓ **Muestra A:** Ladrillo de arcilla tipo King Kong 18 huecos Marca LARK (10 unidades).
- ✓ **Muestra B:** Ladrillo de arcilla tipo King Kong 30% de vacíos Marca LARK (10 unidades).
- ✓ **Condiciones:** Muestras secas y en estado natural.

Normativa utilizada: NTP 399.613

Resultados

Muestra A: Ladrillo KK 18 Huecos

Porcentaje de Vacíos del ladrillo (KK) 18 huecos

	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Volumen total (Vu)	Peso de Arena	Peso de arena patrón (500 ml), g	Volumen de arena contenida en el espécimen de ensayo (cm^3) Vs	% Área de vacíos	% para definir si es hueca o maciza
ladrillo 1	12.44	8.90	23.14	2561.97	1667.10	685.30	1216.33	47.00	30.00
ladrillo 2	12.58	9.04	23.02	2617.91	1423.40	685.30	1038.52	40.00	30.00
ladrillo 3	12.53	8.95	22.92	2570.33	1613.50	685.30	1177.22	46.00	30.00
ladrillo 4	12.56	8.99	23.10	2608.32	1589.10	685.30	1159.42	44.00	30.00
ladrillo 5	12.50	8.90	23.38	2601.03	1627.50	685.30	1187.44	46.00	30.00
ladrillo 6	12.47	8.99	23.12	2591.87	1618.10	685.30	1180.58	46.00	30.00
ladrillo 7	12.44	8.95	23.06	2567.45	1613.70	685.30	1177.37	46.00	30.00
ladrillo 8	12.36	9.00	22.95	2552.96	1467.20	685.30	1070.48	42.00	30.00
ladrillo 9	12.47	8.87	23.10	2555.07	1645.90	685.30	1200.86	47.00	30.00
ladrillo 10	12.56	8.94	23.06	2589.32	1789.30	685.30	1305.49	50.00	30.00
							Promedio	45.40	

Promedio de vacíos: 45.40%

Clasificación: Hueco (> 30%)

Laboratorio de Concreto y Ensay. de Materiales

Muestra B: Ladrillo KK 30% Vacíos

Porcentaje de Vacíos del ladrillo (KK) 30% Vacíos									
	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Volumen total (Vu)	Peso de Arena	Peso de arena patrón (500 ml), g	Volumen de arena contenida en el espécimen de ensayo (cm^3) Vs	% Área de vacíos	% para definir si es hueca o maciza
ladrillo 1	12.93	8.97	23.88	2769.65	1150.90	685.30	839.71	30.00	30.00
ladrillo 2	13.00	8.58	23.80	2654.65	1125.70	685.30	821.32	31.00	30.00
ladrillo 3	12.90	8.85	23.93	2731.97	1150.70	685.30	839.56	31.00	30.00
ladrillo 4	12.90	8.90	23.95	2749.70	1152.80	685.30	841.09	31.00	30.00
ladrillo 5	12.78	8.85	23.85	2697.51	1129.10	685.30	823.80	31.00	30.00
ladrillo 6	12.77	8.77	23.83	2668.79	1105.10	685.30	806.29	30.00	30.00
ladrillo 7	13.00	8.90	23.94	2769.86	1133.70	685.30	827.16	30.00	30.00
ladrillo 8	12.80	8.87	23.85	2707.83	1120.80	685.30	817.74	30.00	30.00
ladrillo 9	12.90	8.94	23.88	2753.98	1132.90	685.30	826.57	30.00	30.00
ladrillo 10	12.77	8.88	23.88	2707.93	1110.00	685.30	809.86	30.00	30.00
						Promedio		30.40	

Porcentaje de vacíos:

- **Muestra A –** Ladrillo KK 18 huecos: 45.40 % → Clasificación: Hueco (> 30 %)
- **Muestra B –** Ladrillo KK 30% vacíos: 30.40 % → Clasificación: Hueco (> 30 %)

Observaciones:

- Se evaluaron ladrillos KK18 y KK30, marca LARK, en estado natural.
- El ensayo se realizó conforme a la NTP 399.613 mediante el método de arena calibrada.
- Las unidades no presentaron daños visibles.
- Ambos tipos se clasifican como unidades huecas (> 30 %) según la RNE E.070

Evidencia fotográfica



Figura 2:*Evidencia fotográfica del ensayo de porcentaje de vacíos.*

Normativa

17.5.1 Determinar el volumen de arena contenido en el espécimen de ensayo como se indica:

$$V_s = \frac{500ml}{S_c} * S_a$$

Donde:

V_s Volumen de arena contenida en el espécimen de ensayo.
S_c : Peso de 500 ml de arena contenida en el cilindro graduado, g.
S_a : Peso de la arena contenido en el espécimen de ensayo, g.

17.5.2 Determinar el porcentaje de vacíos como se indica:

$$\%_{Área\ vacíos} = \frac{V_v}{V_a} * \frac{1}{16.4} \times 100$$

Donde:

V_v : Volumen de arena determinado en 18.5.1, ml.
V_a : Longitud x ancho x profundidad registrada en 18.5.1, cm^3.

17.5.3 Reportar los resultados de la ecuación dada en 18.5.2 para cada espécimen como el porcentaje de área de vacíos, con una aproximación a 1 %.

Figura 3: *Cálculo de porcentaje de vacíos establecido en la NTP 399.613.*

REALIZADO POR		AUTORIZADO POR	
FIRMA:		FIRMA:	
Nombre:	Liliabet Ordoñez Huaman	Nombre:	Ing. Luis Eduardo Suarez Muedas
Cargo :	Tesista	Cargo :	Jefe de Servicios de Laboratorio

UPeU
UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
EP INGENIERIA CIVIL

INFORME DE ENSAYO

VARIACIÓN DIMENSIONAL

CODIGO DE SERVICIO: ---
0005-2025-TESIS

PÁGINA: 8

NOMBRE DEL PROYECTO	Verificación técnica y normativa de ladrillos King Kong para muros portantes mediante Ancova y Bim 6d- Universidad Peruana Unión		
UBICACIÓN	Laboratorio de Ingeniería Civil - Universidad Peruana Unión		
TESISTA	Ordoñez Huaman Liliabet Nanhyely	**FECHA DE INFORME:**	25/06/2026

Descripción de las muestras

- ✓ **Muestra A:** Ladrillo de arcilla tipo King Kong 18 huecos Marca LARK (10 unidades).
- ✓ **Muestra B:** Ladrillo de arcilla tipo King Kong 30% de vacíos Marca LARK (10 unidades).

Normativa utilizada: NTP 399.613

Resultados

Muestra A: Ladrillo KK 18 Huecos

Ladrillo	Ancho 1 (mm)	Ancho 2 (mm)	Ancho 3 (mm)	Prom. Ancho	Alto 1 (mm)	Alto 2 (mm)	Alto 3 (mm)	Prom. Alto	Largo 1 (mm)	Largo 2 (mm)	Largo 3 (mm)	Prom. Largo	Ancho (Ficha técnica)	Alto (Ficha técnica)	Largo (Ficha técnica)
1	123.8	124.0	124.2	124.0	88.9	89.1	89.3	89.1	230.8	231.0	231.2	231.0	125.0	90.0	230.0
2	123.9	124.0	124.1	124.0	90.2	90.4	90.6	90.4	227.8	228.0	228.2	228.0	125.0	90.0	230.0
3	124.4	124.6	124.8	124.6	88.2	88.4	88.6	88.4	228.8	229.0	229.2	229.0	125.0	90.0	230.0
4	123.8	124.0	124.2	124.0	89.0	89.2	89.4	89.2	231.4	231.6	231.8	231.6	125.0	90.0	230.0
5	124.3	124.5	124.7	124.5	88.4	88.6	88.8	88.6	230.8	231.0	231.2	231.0	125.0	90.0	230.0
6	124.5	124.7	124.9	124.7	89.7	89.9	90.1	89.9	231.0	231.2	231.4	231.2	125.0	90.0	230.0
7	124.2	124.4	124.6	124.4	89.3	89.5	89.7	89.5	230.4	230.6	230.8	230.6	125.0	90.0	230.0
8	123.4	123.6	123.8	123.6	89.8	90.0	90.2	90.0	229.3	229.5	229.7	229.5	125.0	90.0	230.0
9	124.5	124.7	124.9	124.7	88.5	88.7	88.9	88.7	230.8	231.0	231.2	231.0	125.0	90.0	230.0
10	125.4	125.6	125.8	125.6	89.2	89.4	89.6	89.4	230.4	230.6	230.8	230.6	125.0	90.0	230.0
Prom				**124.4**				**89.3**				**230.4**	**125.0**	**90.0**	**230.0**

Promedio dimensiones: 124.41mm × 89.32mm × 230.35 mm

Clasificación: Cumple con RNE E.070.

Muestra B: Ladrillo KK 30% Vacíos

Ladrillo	Ancho 1 (mm)	Ancho 2 (mm)	Ancho 3 (mm)	Prom. Ancho	Alto 1 (mm)	Alto 2 (mm)	Alto 3 (mm)	Prom. Alto	Largo 1 (mm)	Largo 2 (mm)	Largo 3 (mm)	Prom. Largo	Ancho (Ficha técnica)	Alto (Ficha técnica)	Largo Ficha técnica
1	129.1	129.3	129.5	129.3	89.5	89.7	89.9	89.7	238.6	238.8	239.0	238.8	128.0	89.0	240.0
2	127.6	127.8	128.0	127.8	88.3	88.5	88.7	88.5	237.8	238.0	238.2	238.0	128.0	89.0	240.0
3	128.8	129.0	129.2	129.0	88.3	88.5	88.7	88.5	239.3	239.5	239.7	239.5	128.0	89.0	240.0
4	128.8	129.0	129.2	129.0	88.8	89.0	89.2	89.0	239.3	239.5	239.7	239.5	128.0	89.0	240.0
5	127.6	127.8	128.0	127.8	88.3	88.5	88.7	88.5	238.3	238.5	238.7	238.5	128.0	89.0	240.0
6	128.0	128.2	128.4	128.2	88.1	88.3	88.5	88.3	238.6	238.8	239.0	238.8	128.0	89.0	240.0
7	129.8	130.0	130.2	130.0	88.8	89.0	89.2	89.0	239.2	239.4	239.6	239.4	128.0	89.0	240.0
8	128.2	128.4	128.6	128.4	88.8	89.0	89.2	89.0	238.3	238.5	238.7	238.5	128.0	89.0	240.0
9	127.5	127.7	127.9	127.7	87.5	87.7	87.9	87.7	238.1	238.3	238.5	238.3	128.0	89.0	240.0
10	127.8	128.0	128.2	128.0	88.5	88.7	88.9	88.7	238.3	238.5	238.7	238.5	128.0	89.0	240.0
Prom				128.5				88.7				238.8	128.0	89.0	240.0

Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales

Norma

13. MEDIDA DEL TAMAÑO

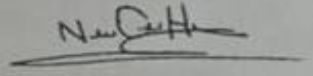
13.1 **Aparatos:** Se medirán las unidades individualmente con una regla de acero graduada, de 30 cm, con divisiones de un milímetro, o un calibrador que tenga una escala de 25 mm a 300 mm, y que tenga cabezales paralelos. Para medir ladrillos, bloques de albañilería o tejas de mayor dimensión se usarán reglas de acero o calibradores de aproximación y tamaño requeridos.

13.2 **Especímenes de ensayo:** Medir diez unidades enteras y secas. Estas unidades serán representativas de cada lote, e incluirán los extremos de los rangos de color y tamaño, según se determina por una inspección visual del cargamento (los mismos especímenes pueden ser usados para determinar la eflorescencia y otras propiedades).

13.3 **Medidas individuales ancho, longitud y altura:** Medir el ancho a través de los dos extremos y en ambas caras, desde el punto medio de los bordes que limitan las caras. Registre estas cuatro medidas con una aproximación de 1 mm y registre como ancho el promedio de las medidas, con una aproximación de 0,5 mm. Medir la altura a través de ambas caras y ambos extremos desde los puntos medios de los bordes que limitan las caras. Registre estas cuatro medidas con una aproximación de 1 mm, y registrar como altura su promedio con una aproximación de 0,5 mm. Usar el aparato descrito en 14.1. Repetir el ensayo con el mismo método cuando sea necesario.

13.4 Reportar el promedio del ancho, largo y alto de cada espécimen ensayado, con aproximación a 1 mm.

Figura 5: *Variación dimensional establecido en la NTP 399.613.*

REALIZADO POR		AUTORIZADO POR	
FIRMA: 		FIRMA: 	
Nombre:	Liliabet Nanhyely Ordoñez Huaman	Nombre:	Ing. Luis Eduardo Suarez Muedas
Cargo :	Tesista	Cargo :	Jefe de Servicios de Laboratorio

UPeU SERVILAB - EP ING CIVIL	INFORME DE ENSAYO ALABEO	CODIGO DE SERVICIO --- FORMATO/VERSIÓN --- PÁGINA 11

NOMBRE DEL PROYECTO	Verificación técnica y normativa de ladrillos King Kong para muros portantes mediante Ancova y Bim 6d- Universidad Peruana Unión		
UBICACIÓN	Laboratorio de Ingeniería Civil - Universidad Peruana Unión		
TESISTA	Ordoñez Huaman Liliabet Nanhyely	**FECHA DE INFORME:**	25/06/2026

Descripción de las muestras

- ✓ **Muestra A:** Ladrillo de arcilla tipo King Kong 18 huecos Marca LARK (10 unidades).
- ✓ **Muestra B:** Ladrillo de arcilla tipo King Kong 30% de vacíos Marca LARK (10 unidades).

Normativa utilizada: NTP 399.613

Resultados

- ✓ **Muestra A:** Ladrillo KK 18 Huecos

Alabeo ladrillo (KK)18 huecos							
Unidad	**Sup. 1 diag. 1 (mm)**	**Sup. 1 diag. 2 (mm)**	**Sup. 2 diag. 1 (mm)**	**Sup. 2 diag. 2 (mm)**	**Tipo Sup**	**Alabeo promedio (mm)**	**Límite de Norma**
L1.	1.00	0.50	2.00	2.00	cóncavo	1.38	4.00
L2.	2.00	2.00	1.00	1.50	cóncavo	1.63	4.00
L3.	2.00	3.00	2.00	1.50	cóncavo	2.13	4.00
L4.	1.50	3.00	0.50	1.00	cóncavo	1.50	4.00
L5.	1.00	1.50	3.00	2.50	cóncavo	2.00	4.00
L6.	2.00	2.50	1.50	1.50	cóncavo	1.88	4.00
L7.	2.00	3.00	1.00	1.00	cóncavo	1.75	4.00
L8.	2.00	1.50	0.50	1.00	cóncavo	1.25	4.00
L9.	2.50	2.50	0.50	1.00	cóncavo	1.63	4.00
L10.	2.00	2.00	1.00	1.00	cóncavo	1.50	4.00
Promedio general							**1.66**

C = Cóncavo | V = Convexo

Promedio de alabeo: 1.66 mm

Clasificación: Cumple con RNE E.070 (límite máximo permitido: 4.00 mm).

Muestra B: Ladrillo KK 30% Vacíos

C = Cóncavo | V = Convexo

Alabeo ladrillo (KK) 30 % Vacíos (mm)								
	superficie 1			**superficie 2**				
N°	**Sup. 1 diag. 1 (mm)**	**Sup. 1 diag. 2 (mm)**	**Tipo Sup. 1**	**Diagonal 1**	**diagonal 2**	**Tipo Sup. 2**	**Alabeo promedio (mm)**	**Límite de Norma**
L1.	3.00	3.00	Convexo	3.00	1.50	cóncavo	2.63	2.00
L2.	4.00	3.50	Convexo	4.00	4.50	cóncavo	4.00	2.00
L3.	1.50	2.50	Convexo	5.00	5.00	cóncavo	3.50	2.00
L4.	2.00	2.00	Convexo	1.50	6.00	cóncavo	2.88	2.00
L5.	5.00	2.00	cóncavo	4.00	5.00	cóncavo	4.00	2.00
L6.	2.00	3.00	Convexo	6.00	2.00	cóncavo	3.25	2.00
L7.	2.00	3.00	Convexo	3.00	3.00	cóncavo	2.75	2.00
L8.	2.00	3.00	Convexo	6.00	1.00	cóncavo	3.00	2.00
L9.	2.00	2.00	Convexo	1.00	3.00	cóncavo	2.00	2.00
L10.	2.00	3.50	Convexo	2.50	1.00	cóncavo	2.25	2.00
Promedio general							**3.03**	

Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales

Promedio de alabeo: 3.03 mm
Clasificación: No cumple con RNE E.070 (límite máximo permitido: 2.00 mm).

Observaciones

- ✓ KK 18 Huecos: Promedio de alabeo 1.66 mm; cumple con la norma E.070 (límite 4.00 mm).
- ✓ KK 30% Vacíos: Promedio de alabeo 3.03 mm; no cumple con la norma E.070 (límite 2.00 mm).
- ✓ **Conclusión:** Los ladrillos KK 18 huecos presentan un mejor desempeño dimensional y son aptos para muros portantes, mientras que los ladrillos KK 30% vacíos exceden el límite normativo, pudiendo afectar la alineación y estabilidad de las estructuras

Medición albaeo en kk18 (concavo)	Medición albaeo en kk30(concavo)	Medición albaeo en kk30 (convexa)
		

Evidencia fotográfica

Figura 6:Evidencia fotográfica del ensayo de alabeo.

Norma

14.4.1 **Superficies cóncavas:** En los casos en que la distorsión a ser medida corresponda a una superficie cóncava, colocar la varilla de borde recto longitudinal o diagonalmente a lo largo de la superficie a ser medida, adoptándose la ubicación que se desvíe en mayor medida de una línea recta. Escoger la distancia mayor desde la superficie del espécimen hasta la varilla de borde recto. Usando la regla de acero o la cuña, medir esta distancia con aproximación a 1 mm, y registrarla como la distorsión cóncava de la superficie. Véase la Figura 2.

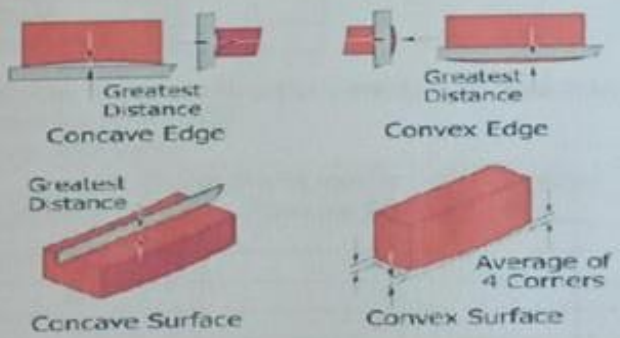


Figura 7:*Ensayo alabeo establecido en la NTP 399.613.*

REALIZADO POR		AUTORIZADO POR	
FIRMA:		FIRMA:	
Nombre:	Liliabet Nanhyely Ordoñez Huaman	Nombre:	Ing. Luis Eduardo Suarez Muedas
Cargo :	Tesista	Cargo :	Jefe de Servicios de Laboratorio

NOMBRE DEL PROYECTO	Verificación técnica y normativa de ladrillos King Kong para muros portantes mediante Ancova y Bim 6d- Universidad Peruana Unión		
UBICACIÓN	Laboratorio de Ingeniería Civil - Universidad Peruana Unión		
TESISTA	Ordoñez Huaman Liliabet Nanhyely	**FECHA DE INFORME:**	25/06/2026

Descripción de las muestras

- ✓ **Muestra A:** Ladrillo de arcilla tipo King Kong 18 huecos Marca LARK (10 unidades).
- ✓ **Muestra B:** Ladrillo de arcilla tipo King Kong 30% de vacíos Marca LARK (10 unidades).

Normativa utilizada: NTP 399.613

Resultados

- ✓ **Muestra A:** Ladrillo KK 18 Huecos

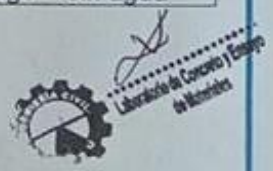
Eflorescencia ladrillo (KK) 18 huecos			
N° Ladrillo	**¿Sumergido?**	**Presenta Eflorescencia**	**Observación**
1	Sí	No	Sin alteraciones visibles
2	Sí	No	Sin alteraciones visibles
3	Sí	No	Sin alteraciones visibles
4	Sí	No	Sin alteraciones visibles
5	Sí	No	Sin alteraciones visibles
6	No	No	Ladrillo testigo – sin agua
7	No	No	Ladrillo testigo – sin agua
8	No	No	Ladrillo testigo – sin agua
9	No	No	Ladrillo testigo – sin agua
10	No	No	Ladrillo testigo – sin agua

Resultado	Cantidad
Presenta eflorescencia	0
No presenta eflorescencia	5

Promedio de incidencia: 0% de las muestras ensayadas en agua mostraron eflorescencia.
Clasificación: Cumple con RNE E.070
Muestra B: Ladrillo KK 30% Vacío

Eflorescencia ladrillo (KK) 30%vacios			
N° Ladrillo	**¿Sumergido?**	**Presenta Eflorescencia**	**Observación**
1	Sí	No	Sin alteraciones visibles
2	Sí	No	Sin alteraciones visibles
3	Sí	No	Sin alteraciones visibles
4	Sí	No	Sin alteraciones visibles
5	Sí	No	Sin alteraciones visibles
6	No	No	Ladrillo testigo – sin agua
7	No	No	Ladrillo testigo – sin agua
8	No	No	Ladrillo testigo – sin agua
9	No	No	Ladrillo testigo – sin agua
10	No	No	Ladrillo testigo – sin agua

Resultado	30% Vacios
Presenta eflorescencia	0
No presenta eflorescencia	5



Promedio de incidencia: 0% de las muestras ensayadas en agua mostraron eflorescencia.
Clasificación: Cumple con RNE E.070
Observaciones

- ✓ Cumple con la norma E.070

Conclusión: No se observó presencia de eflorescencia en ninguno de los tipos de ladrillo evaluados, indicando un buen comportamiento frente a la humedad y una adecuada calidad superficial.

Evidencia fotográfica

Eflorescencia KK30	Eflorescencia KK30(Testigos)	bservación de eflorescencia en KK30 tras 24 horas de secado en horno
		

Eflorescencia KK18	Eflorescencia KK18 (Testigos)	bservación de eflorescencia en KK18 tras 24 horas de secado en horno
		

Figura 8:Evidencia fotográfica del ensayo de eflorescencia.

Normativa procedimiento

12.4 **Procedimiento**

12.4.1 Colocar un espécimen de cada uno de los cinco pares, con un extremo parcialmente sumergido en agua destilada en aproximadamente 25 mm, por 7 días en el cuarto de secado. Cuando varios especímenes se ensayan en el mismo contenedor, separar cada uno de los especímenes con un espaciamiento no menor de 50 mm.

NOTA 8: No debe ensayarse especímenes de diferentes fuentes de manera simultánea en el mismo contenedor, porque especímenes con cantidades considerables de sales solubles pueden contaminar los especímenes que están libres de ellos.

NOTA 9: Vaciar y limpiar las bandejas después de cada ensayo.

12.4.2 Almacenar el segundo espécimen de cada uno de los cinco pares en el cuarto de secado, sin contacto con el agua.

12.4.3 Al terminar los siete dias inspeccionar el primer conjunto de especimenes y luego secar ambos conjuntos en el horno de secado por 24 horas.

12.5 **Examen y clasificación:** Después de secado, examinar y comparar cada par de especimenes, observando la parte superior y las cuatro caras de cada espécimen, desde una distancia de 3 metros, bajo una iluminación de 538.2 lm/m^2, según un observador de vistón normal. Si ninguna diferencia es notoria bajo estas condiciones, indicar la clasificación como "No eflorescente". Si se observa una diferencia perceptible debido a la eflorescencia bajo estas condiciones, indicar la clasificación como "Eflorescente". Registrar el aspecto y distribución de la eflorescencia.

Figura 9:*Ensayo de eflorescencia establecido en la NTP 399.613.*

REALIZADO POR		AUTORIZADO POR	
FIRMA:		FIRMA:	
Nombre:	Liliabet Nanhyely Ordoñez Huaman	Nombre:	Ing. Luis Eduardo Suarez Muedas
Cargo :	Tesista	Cargo :	Jefe de Servicios de Laboratorio

Regresión Lineal

Medidas de Ajuste del Modelo

				Prueba Global del Modelo			
Modelo	R	R^2	R^2 corregida	F	gl1	gl2	p
1	0.808	0.653	0.480	3.76	3	6	0.079

Nota. Models estimated using sample size of N=10

Coeficientes del Modelo - Resistencia a la compresión (kg/cm^2)

			Intervalo de Confianza al 95%					Intervalo de Confianza al 95%	
Predictor	Estimador	EE	Inferior	Superior	t	p	Estimador Estándar	Inferior	Superior
Constante [a]	498.35	101.87	249.1	747.621	4.89	0.003			
Alabeo	9.85	9.25	−12.8	32.483	1.07	0.328	0.552	−0.715	1.8191
Tipo:									
30% V – 18H	−74.36	38.87	−169.5	20.765	−1.91	0.104	−4.160	−9.482	1.1618
Vacios	−5.54	2.32	−11.2	0.136	−2.39	0.054	−2.328	−4.713	0.0571

[a] Representa el nivel de referencia

ANCOVA - Resistencia a la compresión (kg/cm^2)

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Tipo	608	1	608	3.66	0.104
Alabeo	189	1	189	1.14	0.328
Vacios	948	1	948	5.70	0.054
Residuos	998	6	166		

Figura 20. Resultados del modelo ANCOVA para la resistencia a la compresión de ladrillos cerámicos.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del análisis ANCOVA.

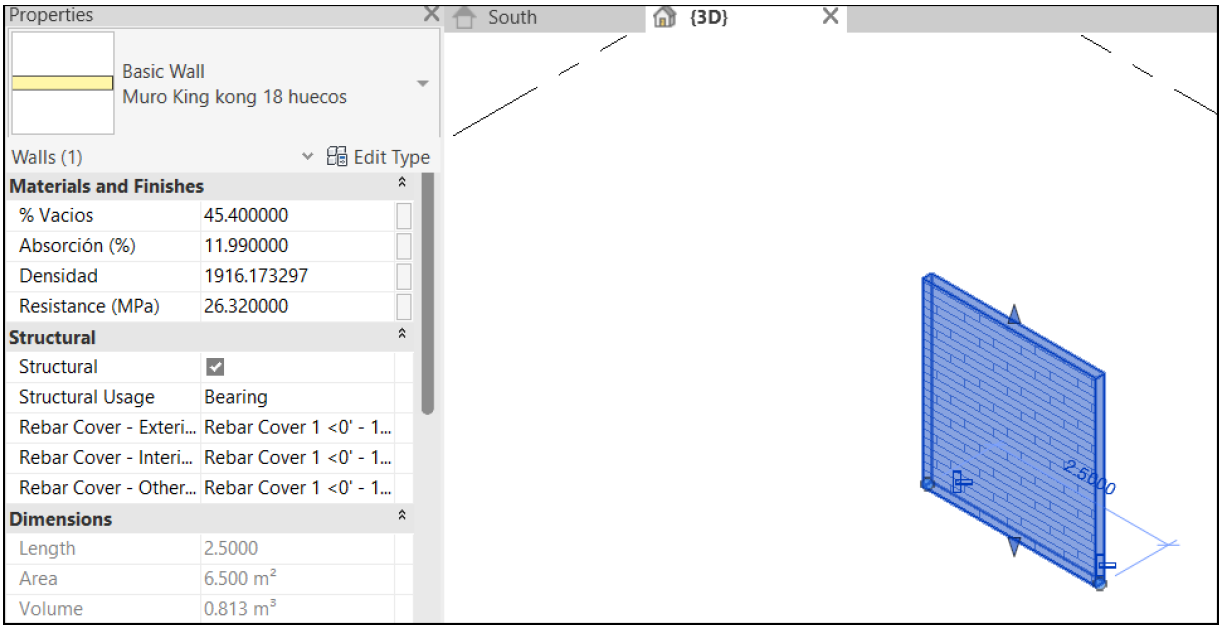


Figura 21. Modelado de muros equivalentes en Revit con incorporación de parámetros físicos y mecánicos para su posterior evaluación ambiental en Tally LCA.

Fuente: Elaboración propia a partir del modelado realizado en Revit y el análisis mediante Tally LCA.

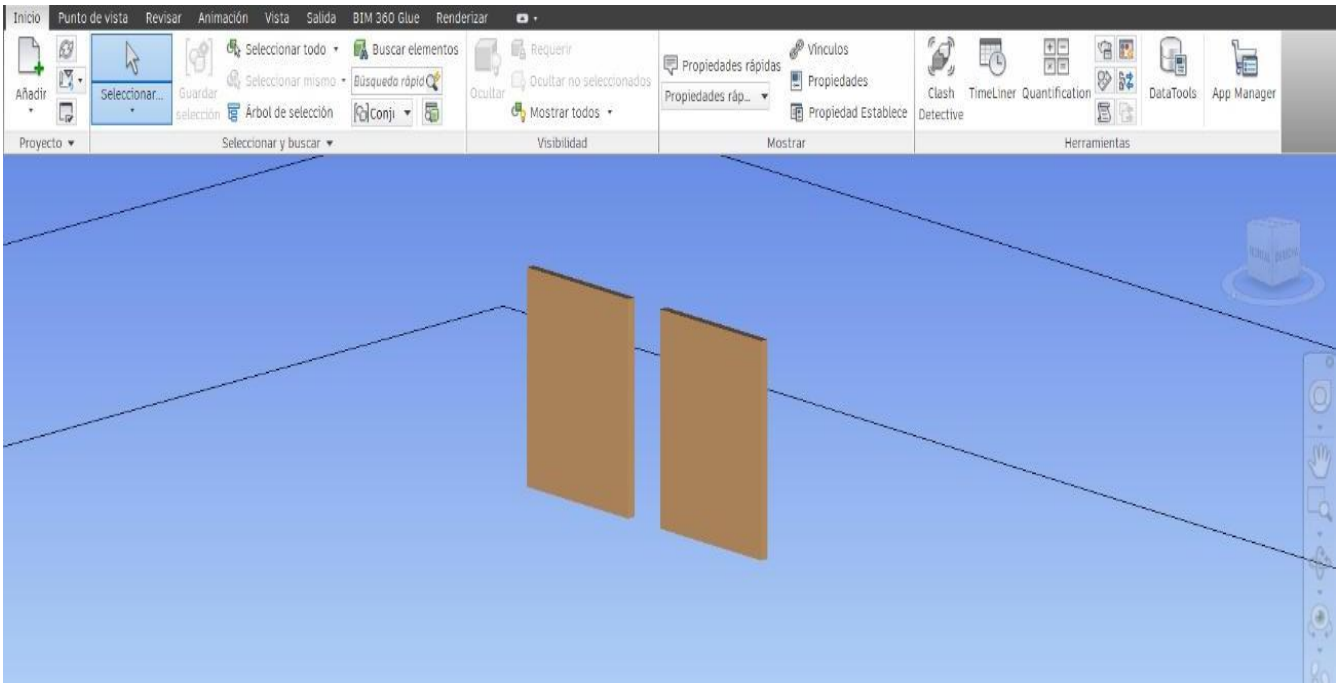


Figura 22. Visualización 3D en Navisworks de los muros exportados desde Revit para la verificación de interferencias.

Fuente: Elaboración propia a partir del modelado realizado en Autodesk Navisworks.

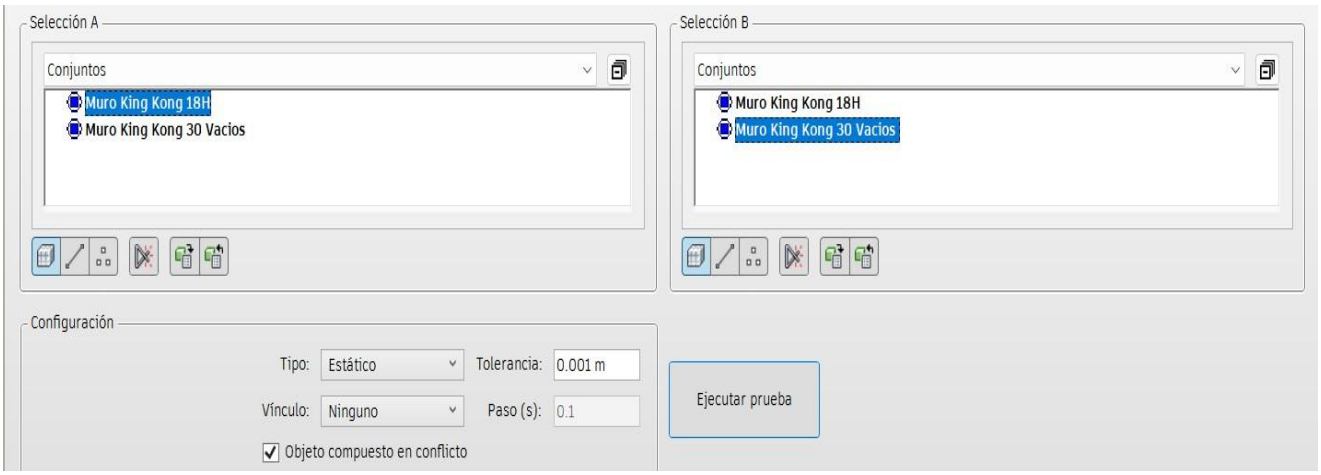


Figura 23. Preparación de conjuntos de muros para la detección de interferencias en Navisworks.

Fuente: Elaboración propia a partir de la configuración realizada en Clash Detective de Autodesk Navisworks.

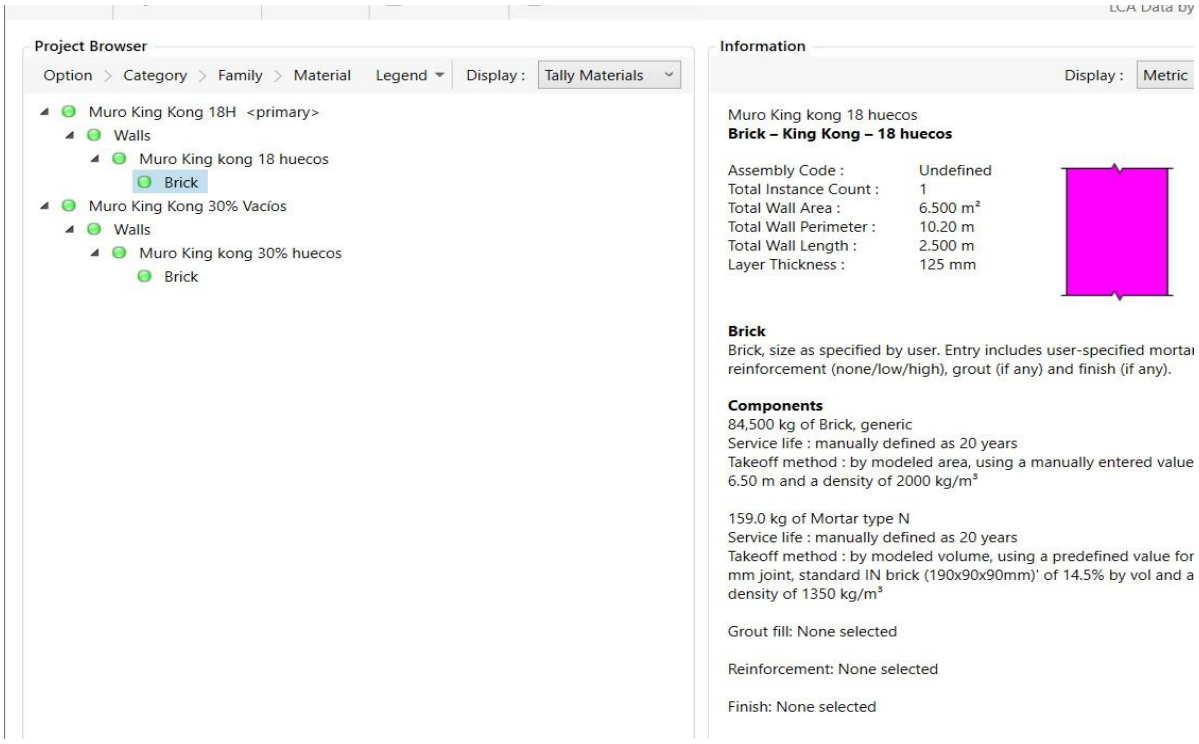


Figura 24. Configuración de los muros King Kong 18H y 30 % de vacíos en Tally LCA para la evaluación ambiental.

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis realizado mediante Tally LCA.

Tabla 16. Matriz de trazabilidad de la muestra: código, tipología, ensayos realizados y finalidad.

Código del espécimen	Tipología	Variación dimensional	Vacíos	Alabeo	Compresión	Absorción	Eflorescencia	Finalidad	N.° Tabla 11 / fila Jamovi
KK18-L1	KK18	—	X	X	X	—	—	Verificación normativa y ANCOVA	1 / 6
KK18-L2	KK18	—	X	X	X	—	—	Verificación normativa y ANCOVA	2 / 7
KK18-L3	KK18	—	X	X	X	—	—	Verificación normativa y ANCOVA	3 / 8
KK18-L4	KK18	—	X	X	X	—	—	Verificación normativa y ANCOVA	4 / 9
KK18-L5	KK18	—	X	X	X	—	—	Verificación normativa y ANCOVA	5 / 10
KK18-L6	KK18	—	X	X	—	—	—	Verificación normativa	—
KK18-L7	KK18	—	X	X	—	—	—	Verificación normativa	—
KK18-L8	KK18	—	X	X	—	—	—	Verificación normativa	—
KK18-L9	KK18	—	X	X	—	—	—	Verificación normativa	—
KK18-L10	KK18	—	X	X	—	—	—	Verificación normativa	—
KK18-AB1 a KK18-AB5	KK18	X	—	—	—	X	—	Verificación normativa	—
KK18-EF1 a KK18-EF5	KK18	X	—	—	—	—	Sumergida	Verificación normativa	—
KK18-EF6 a KK18-EF10	KK18	—	—	—	—	—	Testigo	Verificación normativa	—
KK30-L1	KK30	—	X	X	X	—	—	Verificación normativa y ANCOVA	6 / 1
KK30-L2	KK30	—	X	X	X	—	—	Verificación normativa y ANCOVA	7 / 2
KK30-L3	KK30	—	X	X	X	—	—	Verificación normativa y ANCOVA	8 / 3
KK30-L4	KK30	—	X	X	X	—	—	Verificación normativa y ANCOVA	9 / 4
KK30-L5	KK30	—	X	X	X	—	—	Verificación normativa y ANCOVA	10 / 5
KK30-L6	KK30	—	X	X	—	—	—	Verificación normativa	—
KK30-L7	KK30	—	X	X	—	—	—	Verificación normativa	—
KK30-L8	KK30	—	X	X	—	—	—	Verificación normativa	—
KK30-L9	KK30	—	X	X	—	—	—	Verificación normativa	—
KK30-L10	KK30	—	X	X	—	—	—	Verificación normativa	—
KK30-AB1 a KK30-AB5	KK30	X	—	—	—	X	—	Verificación normativa	—
KK30-EF1 a KK30-EF5	KK30	X	—	—	—	—	Sumergida	Verificación normativa	—
KK30-EF6 a KK30-EF10	KK30	—	—	—	—	—	Testigo	Verificación normativa	—

Nota: X: ensayo realizado. Cada código L es un solo ladrillo, aunque pase por varios ensayos. L1 a L5 de cada tipo (filas sombreadas) pasaron de vacíos y alabeo a compresión y son los 10 registros del ANCOVA, no ladrillos adicionales; sus dimensiones coinciden entre las fichas de vacíos y de compresión. La variación dimensional se midió en otras 10 unidades por tipo; después, 5 se destinaron a absorción y 5 a eflorescencia: AB1 a AB5 y EF1 a EF5 siguen la numeración de esas fichas. La ficha de eflorescencia registra, además, 5 testigos sin agua (EF6 a EF10). En total se ensayaron 25 unidades únicas por tipo (10 + 10 + 5), es decir, 50 unidades.

Fuente: Elaboración propia a partir del informe de laboratorio y de la matriz de datos de Jamovi.