

Artículo Científico

Análisis de datos de resistencia del concreto con Python 3.13.3: Evaluación estadística de la homogeneidad del hormigón

Concrete strength data analysis with Python 3.13.3: Statistical assessment of concrete homogeneity

Luis Patricio Juna Pozo¹ , Mayra Alejandra Tigre Sánchez² , Luis Stalin Jara Obregón³ ,

Wilfrido Damián Rodríguez Quinteros⁴ , Ruth Elizabeth Quito Guachamin⁵ 

¹ Universidad Central del Ecuador, lpjuna@uce.edu.ec, Quito - Ecuador

² Universidad Católica de Cuenca, mayra.tigre@ucacue.edu.ec, Cuenca - Ecuador

³ Universidad Católica de Cuenca, lsjaraob@ucacue.edu.ec, Cuenca - Ecuador

⁴ Universidad Católica de Cuenca, wilfrido.rodriguez@ucacue.edu.ec, Cuenca - Ecuador

⁵ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, ruthquito@modelamiento.com, Quito - Ecuador

Autor para correspondencia: junaluis@hotmail.com

RESUMEN

Este estudio analizó la resistencia superficial estimada del hormigón en un muro de contención de 0,80 m de altura, empleado como parte de la infraestructura de una tribuna deportiva en Quito, cuyo proceso constructivo es desconocido. El muro cumple la función estructural de retener cargas laterales del terreno y servir como apoyo secundario. Para evitar métodos destructivos, se aplicó el ensayo de esclerometría utilizando un esclerómetro digital Proceq Silver Schmidt, con 48 impactos distribuidos en orientaciones vertical y horizontal. El esquema de medición presentó la limitación de no incluir la base del muro, reduciendo la representatividad de la muestra. Los datos fueron procesados en Python 3.13.3 mediante estadísticos descriptivos, validación de normalidad y la aplicación de la prueba U de Mann-Whitney, adecuada para muestras independientes y de pequeña dimensión, evidenciándose diferencias significativas entre las dos orientaciones. Los resultados mostraron alta variabilidad en la resistencia estimada entre 89,38 kg/cm² y 256,97 kg/cm², lo que refleja falta de homogeneidad, esta condición junto con la baja altura del muro y la ausencia de información sobre cimentación y refuerzo, limita la solidez de las conclusiones, pero advierte que el elemento no cumple con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (210 kg/cm²).

Palabras clave: Resistencia del hormigón; Prueba U de Mann-Whitney; Variabilidad; Homogeneidad.

ABSTRACT

This study analyzed the estimated surface strength of concrete in a 0.80 m high retaining wall, used as part of the infrastructure of a sports tribune in Quito, whose construction process is unknown. The wall fulfills the structural function of resisting lateral soil loads and serving as secondary support. To avoid destructive methods, a rebound hammer test was carried out using a Proceq Silver Schmidt digital sclerometer, with 48 impacts distributed in vertical and horizontal orientations. The measurement scheme presented the limitation of not including the base of the wall, reducing the representativeness of the sample. The data were processed in Python 3.13.3 through descriptive statistics, normality validation, and the application of the Mann-Whitney U test, which is suitable for independent samples of small size, revealing significant differences between the two orientations. The results showed high variability in the estimated strength, ranging from 89.38 kg/cm² to 256.97 kg/cm², reflecting a lack of homogeneity. This condition, together with the low height of the wall and the absence of information regarding foundation and reinforcement, limits the robustness of the conclusions but warns that the element does not comply with the minimum compressive strength required by the Ecuadorian Construction Standard (210 kg/cm²).

Keywords: Concrete strength; Mann-Whitney U test; Variability; Homogeneity.

Derechos de Autor

Los originales publicados en las ediciones electrónicas bajo derechos de primera publicación de la revista son del Instituto Tecnológico Superior Universitario Rumiñahui, por ello, es necesario citar la procedencia en cualquier reproducción parcial o total. Todos los contenidos de la revista electrónica se distribuyen bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento- No Comercial-4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



Citas

Juna Pozo, L. P., Tigre Sánchez, M. A., Jara Obregón, L. S., Rodríguez Quinteros, W. D., & Quito Guachamin, R. E. (2026). Análisis de datos de resistencia del concreto con Python 3.13.3: Evaluación estadística de la homogeneidad del hormigón. *CONECTIVIDAD*, 7(1), 266-281. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v7i1.350>

1. INTRODUCCIÓN

Tras el terremoto ocurrido el 16 de abril de 2016 en la costa norte de Ecuador, con una magnitud de 7.8 Mw y epicentro entre las provincias de Manabí y Esmeraldas, se evidenció una vulnerabilidad crítica en edificaciones que no contaban con estudios previos de resistencia estructural ni protocolos de verificación para ampliaciones o cambios de uso. El evento dejó más de 660 víctimas mortales y generó pérdidas económicas superiores a los 3.350 millones de dólares, lo que impulsó la revisión de prácticas constructivas y de diagnóstico estructural en el país (Sánchez Cortez y Simbaña Tasiguano, 2024). En este contexto, los ensayos no destructivos (END), como la esclerometría, adquirieron relevancia como herramientas técnicas clave para evaluar la integridad del concreto en edificaciones existentes, especialmente cuando se pretende reutilizar elementos estructurales sin comprometer su estabilidad ni incurrir en métodos invasivos.

En los últimos años, se han documentado múltiples fallas estructurales en edificaciones existentes debido a ampliaciones no planificadas o cargas excesivas que superan la capacidad original de diseño constructivo, estas intervenciones realizadas sin estudios previos de resistencia ni diagnósticos técnicos, han generado riesgos significativos en la seguridad estructural.

De acuerdo con Işık et al. (2024), una proporción significativa de los colapsos en edificaciones de concreto armado ocurre durante la fase constructiva o en los primeros años de servicio, principalmente por deficiencias en el control de calidad y la ausencia de evaluaciones estructurales previas, estos autores señalan que muchas fallas se producen cuando las construcciones, diseñadas para un número limitado de niveles, son sobrecargadas con ampliaciones adicionales sin estudios técnicos que respalden su factibilidad, lo que incrementa el riesgo de pérdida de capacidad resistente y compromete la seguridad estructural.

A pesar de estos antecedentes, en muchos contextos latinoamericanos no existe un protocolo técnico estandarizado que exija la verificación estructural antes de realizar ampliaciones. Esta carencia normativa y práctica ha sido señalada como un factor crítico en el deterioro de edificaciones urbanas (Sadowski, 2022). En este escenario, los ensayos no destructivos (END) se consolidan como herramientas clave para evaluar la integridad del concreto in situ, permitiendo diagnósticos confiables sin comprometer la estructura original.

Los métodos END, como los ultrasonidos, georradar, esclerometría, termografía infrarroja, emisión acústica y técnicas basadas en inteligencia artificial, han evolucionado significativamente en los últimos años. Esta evolución se ha visto impulsada por el desarrollo de nuevas tecnologías, como sensores de alta precisión, drones y sistemas automatizados de adquisición de datos, que permiten realizar diagnósticos más rápidos, precisos y económicos. Investigaciones recientes han demostrado la aplicabilidad de estas técnicas en distintas fases del ciclo de vida de las estructuras, desde la construcción hasta la rehabilitación.

La importancia del presente trabajo surge de la exigencia de un proyecto constructivo en donde se pretende iniciar una tribuna para un campo de fútbol donde se quiere ejecutar una obra a partir de una existente, en este caso un murete de contención de aproximadamente 0.80m de alto por 0.50m de ancho y una longitud de 60m en la ciudad de Quito en el sector de la Liga Deportiva Barrial Puertas del Sol, se decide realizar pruebas de esclerometría, la norma ASTM C805/C805M-18 (ASTM INTERNATIONAL, 2018) recomienda al menos 10 impactos válidos en un espacio de 25mm. También se recomienda tomar de 3 a 6 puntos de medición en el elemento estructural y con aquello generar de 30 a 60 impactos, para las consideraciones mencionadas se realizó para esta investigación 4 puntos de medición con 48 impactos, que están dentro de lo recomendado por la ASTM.

Existen varias formas de análisis de datos para verificar las mediciones de la prueba de esclerometría, una de las más comunes es la estadística descriptiva, herramienta fundamental en el análisis de datos, permitiendo resumir, organizar y presentar la información de manera clara y comprensible. La estadística descriptiva permite obtener una visión general del comportamiento de los datos antes de aplicar modelos paramétricos o no paramétricos. En este trabajo para Arias (2023) es pertinente realizar la prueba U de Mann-Whitney, en estudios recientes, esta prueba es especialmente útil en contextos con muestras pequeñas y que se desee comparar sus medias para determinar si existe diferencias en los datos obtenidos.

Esta investigación tiene por compartir formas para fiscalizar o conocer las normas de acuerdo con ASTM (ASTM INTERNATIONAL, 2018) y ACI 228.1R-19, el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2016), sobre el ensayo de esclerometría donde se establece el uso del martillo de rebote para la evaluación de la uniformidad del hormigón in situ y su interpretación de los

resultados, según ACI Committee 228 (2020) son funciones de control en el estado de una obra civil, posiblemente ya construidas sin saber su elaboración o no tener algún antecedente certero de la elaboración del hormigón en muros, sin tener la necesidad de dañar su composición o resistencia, juntamente con un método estadístico no paramétricos para datos menores a 50 datos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio aplicó el ensayo esclerométrico ASTM C805 (ATSM INTERNATIONAL, 2018), para evaluar la resistencia superficial del hormigón y analizar su homogeneidad mediante herramientas estadísticas en Python 3.13.3. Se utilizaron librerías como pandas y scipy, aplicando la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para comparar dos muestras independientes (orientación vertical vs. horizontal) del mismo elemento construido, con el fin de detectar variaciones estructurales en los datos recolectados, para detectar variaciones en los datos recolectados (Hussain et al., 2023), se recomienda esta metodología que combina técnicas no destructivas y análisis estadístico computacional para validar la calidad del concreto a través de los datos obtenidos.

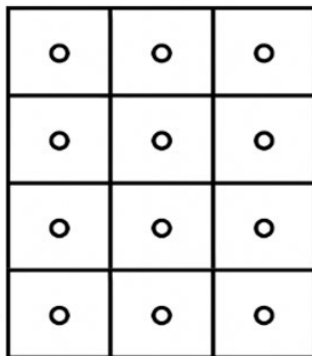
2.1. Ubicación y distribución de impactos

La estrategia para determinar las zonas de medición en el ensayo de esclerometría no responde a una disposición fija, sino que se adapta a las condiciones superficiales y a las dimensiones del elemento estructural en estudio. En estructuras de menor escala, como es el caso de este análisis, no se requiere un número elevado de ensayos esclerométricos, cada ensayo cuenta con 12 impactos (Figura 1.), este esquema se los dibuja con una tiza o marcador antes de aplicar el ensayo, siempre y cuando se cumpla con lo estipulado de al menos 10 impactos en la norma ASTM C805/C805M-18 (ASTM INTERNATIONAL, 2018).

El esquema de distribución de los puntos de impacto consideró mediciones en la superficie accesible del paramento del muro, tanto en orientación vertical como horizontal, pero no incluyó la base del elemento debido a restricciones de acceso. Esta omisión constituye una limitación metodológica, ya que las mediciones en la zona de arranque del muro habrían aportado mayor representatividad al muestreo y posiblemente modificado la validez estadística de la distribución obtenida. Tal restricción es habitual en estudios de campo donde las condiciones físicas impiden

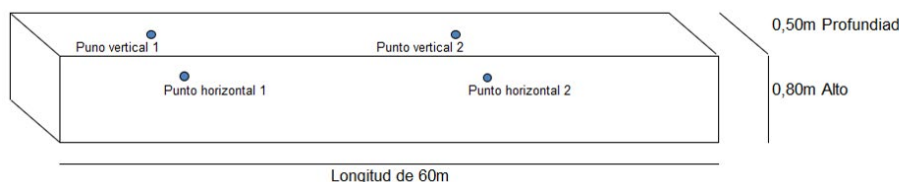
aplicar el ensayo en todas las áreas críticas del elemento (Sadowski & Stefaniuk, 2020).

Figura 1. Esquema dibujado con tiza para los impactos con el esclerómetro.



Según Akbar et al. (2024), la homogeneidad en la sección transversal del muro y en la calidad de los materiales es esencial para garantizar la estabilidad frente a cargas dinámicas y estáticas, para que un elemento estructural sea resistente, asimismo, la falta de uniformidad en el concreto y armado puede inducir mecanismos de falla por deslizamiento o volteo, por eso es pertinente no hacer tantos ensayos de esclerometría, si una parte del muro ya no tiene la misma consistencia, su trabajo como elemento estructural no es seguro por eso la selección de los puntos de ensayo se trata en lo posible de distribuirlos en zonas que sean lisas o no tengan porosidad, además, para lograr una caracterización más representativa del comportamiento del concreto, se ejecutan mediciones en dos orientaciones tanto vertical y horizontal (Figura 2.), sobre el mismo componente estructural, especialmente cuando se carece de información previa sobre su resistencia (si es o no concreto armado de acero) y se desea conservar intacta su condición física original, evitando cualquier intervención destructiva.

Figura 2. Ubicación de los ensayos de esclerometría en el muro.



Con el antecedente del número de ensayos y puntos de impacto, en este tipo de muestras relativamente cortas por grupo, se recomienda en la ciencia de datos el uso de una prueba no paramétrica como es la de U de Mann-Whitney para muestras independientes para analizar los resultados de cuatro ensayos esclerométricos con un total de 48 impactos, esta prueba permite

comparar dos grupos independientes sin requerir supuestos de normalidad, siendo especialmente útil en contextos de ingeniería civil donde las mediciones estructurales no siempre siguen distribuciones gaussianas (López et al., 2024).

2.2. Condiciones de medición sobre la superficie a ensayar

De acuerdo con lo establecido en la norma ASTM C805 y la NTE INEN 3121:2016-11, en el presente estudio, se optó por realizar doce impactos por zona de ensayo, ampliando el área de prueba a 150 mm, con el propósito de obtener una muestra más representativa. Se ejecutaron cuatro ensayos independientes con muestras de 24 impactos de forma horizontal y 24 de forma vertical, sumando un total de 48 impactos. Durante el procesamiento de los datos, se descartaron aquellos valores identificados como extremos o atípicos, con el fin de evitar distorsiones en el análisis estadístico. Aunque todos los puntos de ensayo pertenecen a un mismo elemento estructural (un muro de contención), se consideraron como muestras independientes debido a la variabilidad de cargas y condiciones que se presentan a lo largo del muro, lo cual puede influir significativamente en la respuesta del material al impacto (Figura 3.).

Figura 3. Condiciones de la superficie del muro



2.3. Tratamiento de los datos

Los valores obtenidos en el ensayo fueron registrados en una hoja en Excel y exportados Python 3.13.3 para posteriormente ser procesados, aplicando procedimientos de depuración para garantizar la calidad del análisis estadístico. En primer lugar, los datos extremos identificados como atípicos fueron descartados siguiendo criterios de dispersión y recomendación normativa, con el fin de evitar distorsiones en la interpretación de la resistencia. En total, se analizaron

48 impactos válidos distribuidos en orientaciones vertical y horizontal, agrupados como dos muestras independientes, esta organización posibilitó aplicar tanto estadísticos descriptivos como pruebas inferenciales, considerando que la variabilidad en la superficie del muro podía influir en la respuesta del material frente al impacto.

2.4. Características del instrumento

En esta investigación se empleó el esclerómetro digital Proceq Silver Schmidt Type N (SH01-007-1263) como herramienta de medición no destructiva para evaluar la resistencia del hormigón (Figura 4). Este dispositivo opera mediante la obtención del valor Q (Q-value), el cual representa una mejora respecto al valor de rebote tradicional (valor R), al estar menos influenciado por factores como la orientación del impacto o pérdidas internas por fricción. Una de las ventajas clave del modelo Silver Schmidt es que no requiere la aplicación de factores de corrección por la posición del equipo durante los ensayos, lo que contribuye a la precisión y repetibilidad de los resultados (Screening Eagle Technologies, 2020).

Figura 4. Esclerómetro Proceq Silver Schmidt.



Para obtener las mediciones en Mpa se usa la fórmula:

$$2,77e^{0,048Q} \quad (1)$$

Para convertir los valores obtenidos a unidades de resistencia mecánica, específicamente a megapascales (MPa), se utiliza la correlación proporcionada por el fabricante. Posteriormente, la conversión de estos resultados a kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²) se realiza mediante la constante de equivalencia:

$$1 \text{ MPa} = 10.197 \text{ kg/cm}^2$$

Esta metodología permite realizar inferencias sobre el estado mecánico del concreto sin comprometer la integridad del elemento estructural.

En resumen, para los trabajos de campo se usó:

- Tiza para señalar puntos de impacto.
- Flexómetro de 3m.
- Cinta métrica de 15m.
- Regla de 0.30m.
- Esclerómetro digital Proceq Silver Schmidt type N SH01-007-1263.
- El elemento estructural muro de contención de dimensiones de longitud de 60m, de alto 0.80 y 0.50m de profundidad.

2.5. Definición del Método Estadístico No Paramétrico

Como se presenta en la Tabla 1, las dos muestras analizadas corresponden a zonas independientes de un mismo elemento estructural. Teóricamente, al formar parte de una única unidad constructiva y suponiendo una adecuada ejecución del proceso constructivo, se esperaría que ambas presenten una resistencia mecánica homogénea. Esta homogeneidad es un indicativo de calidad y uniformidad del concreto, en concordancia con lo establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2014), la cual establece que el concreto estructural debe alcanzar una resistencia mínima de 210kg/cm² (NEC, 2014). La comparación de estas muestras permite, por tanto, verificar la consistencia del material y detectar posibles deficiencias que comprometan el desempeño estructural del elemento.

Tabla 1. Datos recopilados de la resistencia del hormigón en Kg/cm².

Ensayos	Posición		Zona del muro
	Vertical	Horizontal	
1	113,63	67,02	Derecha
2	103,23	73,77	Derecha
3	89,38	67,02	Derecha
4	93,78	58,03	Derecha
5	108,30	73,77	Derecha
6	113,63	70,31	Derecha
7	103,23	63,88	Derecha
8	103,23	63,88	Derecha
9	89,38	70,31	Derecha
10	89,38	60,88	Derecha
11	89,38	60,88	Derecha
12	93,78	63,88	Derecha
13	212,08	125,08	Izquierda
14	256,97	131,23	Izquierda
15	244,92	119,22	Izquierda
16	233,44	119,22	Izquierda
17	244,92	119,22	Izquierda
18	233,44	119,22	Izquierda
19	222,50	113,63	Izquierda
20	222,50	113,63	Izquierda
21	244,92	113,63	Izquierda
22	233,44	113,63	Izquierda
23	222,50	119,22	Izquierda
24	233,44	113,63	Izquierda

Con base en los datos previamente recopilados, se utilizó el software de código abierto Python

3.13.3 como herramienta estadística para la validación del supuesto de normalidad de las muestras, así como para la obtención de estadísticos descriptivos y la aplicación de la prueba no paramétrica seleccionada. Esta elección responde a la versatilidad y precisión que ofrece Python mediante sus bibliotecas especializadas (como SciPy y Pandas), permitiendo realizar análisis reproducibles, eficientes y adecuados para estudios donde se requiere evaluar el comportamiento estadístico de variables estructurales sin suponer distribuciones normales en los datos.

Validación de normalidad

Para saber si los datos de los impactos siguen o no, una distribución normal, se debe probar las siguientes hipótesis en la prueba de Shapiro Wilk para muestras menores a 50 datos, a continuación, se plantea las hipótesis:

- Ho: Los datos de resistencias del hormigón a través del ensayo esclerométrico medido en kg/cm², provienen de una distribución normal.
- Ha: Los datos de resistencias del hormigón a través del ensayo esclerométrico medido en kg/cm², no provienen de una distribución normal.

Criterio de decisión: si $p \leq 0,05$; se rechaza Ho (no normal)

Criterio de decisión: si $p > 0,05$; se acepta Ho (normalidad)

En la Figura 5, se observa un p-valor menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, es decir que los datos de resistencias del hormigón a través del ensayo esclerométrico medido en kg/cm², no provienen de una distribución normal.

Figura 5. Estadístico de normalidad de Shapiro-Wilk.

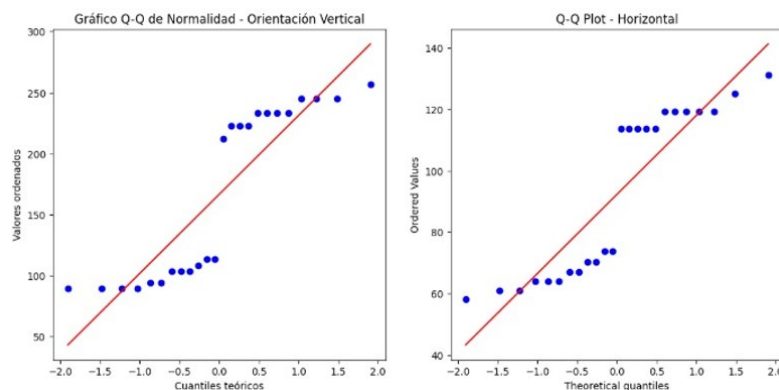
```

Columna: Vertical
Estadístico = 0.7655, p-valor = 0.0001
✗ Se rechaza H0: No parece normal

Columna: Horizontal
Estadístico = 0.7980, p-valor = 0.0003
✗ Se rechaza H0: No parece normal
    
```

El gráfico Q-Q plot (Figura 6.), evidencia una desviación marcada respecto a la línea de referencia en ambas orientaciones, lo que indica que los datos no siguen una distribución normal, este hallazgo coincide con la prueba de Shapiro-Wilk de p-valor menor 0,05 y justifica el empleo de métodos no paramétricos como la U de Mann-Whitney.

Figura 6. Gráficas Q-Q Plot de normalidad.



En consecuencia, dado que los datos no siguen una distribución normal, es pertinente utilizar la prueba U de Mann-Whitney como alternativa a la prueba t de Student (Chicco et. al., 2025). Esta prueba no paramétrica es especialmente útil cuando no se cumplen los supuestos de normalidad en los datos, permitiendo así comparar las distribuciones de dos grupos independientes sin depender de la distribución normal de las variables.

Prueba U de Mann Whitney

Para la toma de decisiones respecto a las hipótesis a probar, en el software Python 3.13.3 se pueden emplear dos enfoques para determinar si se acepta o se rechaza la hipótesis nula (H_0):

- Uso del estadístico Z: Si el valor del estadístico Z se encuentra dentro del intervalo de confianza correspondiente a un nivel de significancia de 0.05, es decir, $-1.96 < Z < 1.96$, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Uso del p-valor de la prueba U de Mann-Whitney: Si el p-valor resultante de la prueba es mayor que 0.05, también se acepta la hipótesis nula (H_0).

Adicionalmente, para obtener el estadístico Z estandarizado en la prueba U de Mann-Whitney, es necesario aplicar las siguientes fórmulas específicas, teniendo en cuenta los parámetros de la muestra y el tamaño de las mismas.

$U = \min(U_1, U_2)$, siendo U_1 y U_2 los valores estadísticos de U Mann-Whitney (Rodrigo, 2017).

- n_1 = tamaño de la muestra del grupo de impactos de forma vertical.
- n_2 = tamaño de la muestra del grupo de impactos de forma horizontal.
- R_1 = sumatorio de los rangos del grupo de impactos de forma vertical
- R_2 = sumatorio de los rangos del grupo de impactos de forma horizontal

Estadístico de la U de Mann-Whitney:

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1 \quad (3)$$

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_2 \quad (4)$$

Los n_1 y n_2 pertenece a los tamaños de cada muestra de los ensayos de esclerometría, en cambio R_1 y R_2 es la suma de las muestras de los datos 1 y 2.

Media:
$$E(U) = \mu_U = \frac{n_1 n_2}{2} \quad (5)$$

Desviación Estándar:
$$Des(U) = \sigma_U = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}} \quad (6)$$

Z-factor:
$$Z = \frac{U - \mu_U}{\sigma_U} \quad (7)$$

Activar WI

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta un análisis descriptivo de los datos, el cual constituye una etapa esencial para explorar y comprender la información de manera clara y accesible. Esta fase preliminar permite contextualizar los resultados y al mismo tiempo, sustenta la pertinencia de aplicar pruebas no paramétricas cuando los supuestos de normalidad no se cumplen. De acuerdo con Kwon et al. (2025), en estudios donde se combinan pruebas no destructivas y el análisis descriptivo detallado de los resultados es crucial para establecer la fiabilidad de las estimaciones in situ de resistencia del hormigón.

3.1. Análisis descriptivo de resultados

En la Tabla 2, los estadísticos descriptivos mostraron diferencias claras entre los impactos realizados en las dos orientaciones, en la orientación vertical, la resistencia promedio alcanzó 166,48 kg/cm², mientras que en la horizontal fue de 92,26 kg/cm² y la mediana confirma esta tendencia (162,85 kg/cm² frente a 93,70 kg/cm²), lo que evidencia que, en general, los valores verticales superan ampliamente a los horizontales.

En cuanto a la dispersión, la desviación estándar en los impactos verticales fue de 69,59 kg/cm², casi tres veces mayor a la observada en los horizontales (27,18 kg/cm²), reflejando una marcada heterogeneidad en el comportamiento del hormigón en la dirección vertical.

Los valores de los cuartiles refuerzan esta diferencia: el 25% de los datos verticales se ubicó en 100,87 kg/cm² y el 75% en 233,44 kg/cm², mientras que en la orientación horizontal el rango intermedio se situó entre 66,23 kg/cm² y 119,22 kg/cm², además, la resistencia mínima registrada

en los impactos verticales fue de 89,38 kg/cm² y la máxima de 256,97 kg/cm², frente a 58,03 y 131,23 kg/cm² en la orientación horizontal, estos resultados evidencian que el muro presenta sectores con resistencias muy bajas que comprometen su uniformidad estructural, condición crítica para su desempeño, de acuerdo con Miano et al. (2023), la dispersión elevada en ensayos no destructivos es un indicador de falta de homogeneidad en el concreto, con implicaciones directas en la confiabilidad estructural siendo éstas armadas o no con acero.

Tabla 2. Estadísticos Descriptivos Resistencias en kg/cm²

Estadísticos Descriptivos	Resistencias en kg/cm ²	
	Vertical	Horizontal
media	166,48	92,26
desviación estándar	69,59	27,18
min	89,38	58,03
25%	100,87	66,23
50%	162,85	93,70
75%	233,44	119,22
max	256,97	131,23
mediana	162,85	93,70

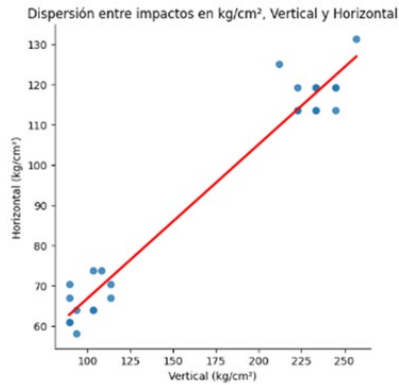
3.2. Dispersión de los datos y observaciones preliminares

La dispersión de los datos como se muestra en el análisis descriptivo, muestra un componente esencial en el análisis estadístico, ya que proporciona información sobre la variabilidad y la distribución de los datos alrededor de medidas centrales como la media o la mediana.

En la Figura 7, se observa la diferencia en las distribuciones de las resistencias del hormigón en kg/cm² entre los dos grupos puede tener implicaciones en el diseño y evaluación de materiales de construcción, y sugiere que las características de los ensayos en las condiciones “Vertical” y “Horizontal” son significativamente distintas. Este hallazgo invita a investigar más a fondo las razones de esta variabilidad, como diferencias en los métodos de ensayo, condiciones de aplicación o características del material.

Las observaciones evidencian una relación lineal positiva entre las resistencias en vertical y horizontal, caracterizada por una baja dispersión en torno a la línea de tendencia, particularmente en los valores altos, aunque con una ligera variabilidad en las mediciones de menor resistencia.

Figura 7. Gráfica dispersión de datos el ensayo esclerométrico.



3.3. Prueba de hipótesis: U de Mann Whitney

En segunda instancia tenemos la prueba de la U de Mann-Whitney la cual se hace el análisis de dos formas tanto del estadístico Z como del estadístico de la prueba no paramétrica:

Dado que el p-valor (0.00) es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0), lo que indica que existe una diferencia significativa entre las distribuciones de resistencia de hormigón de los grupos Vertical y Horizontal medidos mediante el ensayo esclerométrico en kg/cm^2 .

Tabla 3. Resultados del estadístico de prueba.

Estadístico U:	437.00
p-valor:	0.00

Este resultado sugiere que las resistencias de los dos grupos no siguen el mismo patrón o distribución, lo que podría estar asociado con factores que diferencian la resistencia en el elemento estructural en las condiciones de medición entre los dos grupos, por lo tanto, la decisión de la prueba es:

Se rechaza H_0 : Las distribuciones de resistencias del hormigón medido en kg/cm^2 por el ensayo esclerométrico son diferentes (diferencia significativa).

Confrontación con la NEC y evaluación estructural

A partir de los datos obtenidos mediante el ensayo esclerométrico, expresados en kg/cm^2 , se observa que el muro no presenta una distribución homogénea en términos estadísticos, lo cual evidencia variabilidad en la resistencia del hormigón a lo largo de su estructura. De acuerdo con la Secretaría de Riesgos del Ecuador (2015), la resistencia mínima especificada a la compresión del hormigón ($f'c$) para elementos estructurales como muros de contención es de 210kg/cm^2 .

Este valor constituye un requisito general para el hormigón normal y tiene como finalidad garantizar el cumplimiento de los estándares de seguridad y durabilidad establecidos por la normativa vigente, se sugiere no utilizar al muro como un soporte estructural.

4. CONCLUSIONES

La aplicación de la prueba U de Mann-Whitney resultó apropiada en este estudio debido a que los datos obtenidos no seguían una distribución normal; no obstante, en caso de que los datos hubieran cumplido los requisitos de normalidad, se habría podido utilizar la prueba t de Student para comparar la media de los resultados con el valor teórico de resistencia del hormigón de 210 kg/cm², la falta de homogeneidad estadística, sumada a la dispersión observada en los valores extremos (89,38–256,97 kg/cm²), sugiere que el muro no cumple con los requisitos mínimos de resistencia establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Este hallazgo resalta la importancia de realizar un número adecuado de mediciones con esclerómetro cuando se trate de estructuras de mayor dimensión, o de complementar con otros ensayos no destructivos (END) considerando las características de la estructura, a fin de obtener resultados más representativos y confiables (Kevadkar et al., 2025).

Finalmente, se concluye que la resistencia del hormigón en el muro no presenta uniformidad, lo que lo hace susceptible a fallas estructurales en las áreas con valores deficientes; en consecuencia, no se recomienda considerar este elemento como estructura de soporte, sin embargo, la investigación aporta al campo de los ensayos no destructivos al evidenciar que, en casos donde se desconoce la procedencia constructiva de una estructura y no se desea aplicar pruebas invasivas como la extracción de núcleos, la esclerometría combinada con análisis estadísticos no paramétricos como la prueba U de Mann-Whitney, puede ser una alternativa metodológica útil en proyectos de evaluación con muestras reducidas que no requieren cumplir los supuestos de normalidad.

Contribución de los Autores (CRediT): LPJP: Administración del proyecto, Investigación, Supervisión, Metodología. MATS: Adquisición de fondos, Redacción-revisión y edición. LSJO: Software, Recursos. WDRQ: Conceptualización, Validación, Visualización. REQ: Análisis formal, Curación de datos, Redacción-borrador original.

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en esta publicación.

REFERENCIAS

Akbar, M., Huali, P., Huang, J., Arshid, M. U., Khan, Q. Z., Guoqiang, O., & Ahmed, B. (2024).

- Seismic response comparison of various geogrid reinforced earth-retaining walls: Based on shaking table and 3D FE analysis. *Scientific Reports*, 14, 24168. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64203-4>
- American Concrete Institute Committee 228. (2020). In-place methods to estimate concrete strength. ACI. http://civilwares.free.fr/ACI/MCP04/2281r_03.PDF
- Arias, F. G. (2023). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (7.^a ed.). Episteme.
- ATSM INTERNACIONAL. (2018). *ASTM C805/C805M-18: Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*. West Conshohocken. (PA: ASTM Internacional) Recuperado el 06 de 05 de 2025, de <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/102443/2bcd8172f6454cc7995a00d186c4d312/ASTM-C805-C805M-18.pdf>
- Chicco, D., Sichenze, A., & Jurman, G. (2025). A simple guide to the use of Student's t-test, Mann-Whitney U test, Chi-squared test, and Kruskal-Wallis test in biostatistics. *BioData Mining*, 18, 56. <https://biodatamining.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13040-025-00465-6>
- Hussain, M., Mahmud, I., & Bari, S. (2023). pyHomogeneity: A Python Package for Homogeneity Test of Time Series Data. *Journal of Open Research Software*, 11(1). <https://doi.org/10.5334/jors.427>
- Işık, E., Avcil, F., Hadzima-Nyarko, M., İzol, R., Büyüksaraç, A., Arkan, E., . . . Özcan, Z. (2024). Seismic performance and failure mechanisms of reinforced concrete structures subject to the earthquakes in Türkiye. *Sustainability*, 16, 6473. <https://doi.org/10.3390/su16156473>
- Kevadkar, M. D., Hinge, G. A., Bhilare, S. A., & Parvez, K. (2025). New technique for evaluating concrete strength through non-destructive testing. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*. <https://doi.org/10.1007/s40030-025-00923-8>
- Kwon, S.-H., Lee, J.-S., & Ji, G.-B. (2025). Consideration on Application of Nondestructive Test to Estimate In-Situ Compressive Strength of Concrete: A Case Study. *International Journal of Concrete Structures and Materia*. <https://doi.org/10.1186/s40069-024-00752-2>

- López-Miguel, A., Cabello-Mendez, J. A., Moreno-Valdes, A., Perez-Quiroz, J. T., & Machorro-Lopez, J. M. (2024). Non-destructive testing of concrete materials from piers: Evaluating durability through a case study. *NDT*, 2(4), 532-548. <https://doi.org/10.3390/ndt2040033>
- Miano, A., Ebrahimian, H., Jalayer, F., & Prota, A. (2023). Reliability estimation of the compressive concrete strength based on non-destructive tests. *Sustainability*, 15(19), 14644. <https://doi.org/10.3390/su151914644>
- Norma Ecuatoriana de Construcción NEC. (2014). *Estructuras de hormigón armado*. Quito. NEC
- Norma Ecuatoriana de Construcción. (2016). *Hormigón Endurecido Determinación del número de rebote. Método de ensayo*. Quito.
- Rodrigo, J. A. (2017). *Test de Wilcoxon Mann Whitney como alternativa al t-test*. Obtenido de https://cienciadedatos.net/documentos/17_mann%E2%80%93whitney_u_test?utm_source=chatgpt.com
- Sadowski, Ł. (2022). Non-destructive testing for building evaluation. *Buildings*, 7, 12. <https://doi.org/10.3390/buildings12071030>
- Sadowski, L., & Stefaniuk, D. (2020). On the representativeness of non-destructive test results in concrete structures: Sampling strategies and methodological limitations. *Structural Concrete*. <https://doi.org/10.1002/suco.201900315>
- Sánchez Cortez, J., y Simbaña Tasiguano, M. (2024). Terremoto del 16 de abril de 2016 en Ecuador: Una visión general de los acontecimientos y lecciones aprendidas. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 8, 83-98. <https://doi.org/10.55467/reder.v8i2.159>
- Screening Eagle Technologies. (2020). *Silver Schmidt Operating Instructions*. Obtenido de https://media.screeningeagle.com/asset/Downloads/SilverSchmidt_Operating%20Instructions_English_high.pdf
- Secretaría de Riesgos Ecuador. (2015). *Guía práctica de diseño de viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Quito.