Horizonte Académico
Revista Multidisciplinaria
Recibido:09/10/2024 Aprobado:10/11/2024

DOI: https://doi.org/10.70208/3007.8245.v5.n1.66

Fabricación y comparación de ábacos obtenidos por el esclerómetro y el método sonreb para estimar la resistencia a compresión en hormigones convencionales para la ciudad de Oruro

Ing. Douglas G. Rios Sangüeza
https://orcid.org/0000-0003-0090-6278
douglasriossangueza@gmail.com
Investigador Independiente
Bolivia-Oruro

RESUMEN

El presente trabajo aborda la problemática del uso inadecuado del esclerómetro en Bolivia, destacando la falta de procedimientos que relacionen ensayos no destructivos con la resistencia a compresión del hormigón. También se cuestiona la aplicabilidad de modelos extranjeros, que no consideran las características locales del material. Se desarrolló una metodología para generar modelos predictivos adaptados a las condiciones locales mediante esclerometría y SonReb. Se fabricaron probetas cilíndricas y prismáticas con cinco diseños de hormigón (resistencias entre 70 y 350 kg/cm²) y se realizaron ensayos de compresión, ultrasonido y esclerometría. Los modelos obtenidos, individuales y combinados, basados en regresiones de tipo potencial, fueron comparados con referencias internacionales. Los resultados muestran que la combinación de métodos como el número de rebote y la velocidad de pulso ultrasónico mejora la precisión de las estimaciones al mitigar errores por heterogeneidad. Los modelos SonReb lograron coeficientes de determinación $r^2 \geq 90\%$ (máximo $r^2 = 0.9722$). Además, se diseñaron ábacos locales con factores de conversión de 0.95–1.05 para el esclerómetro y 0.97–1.03 para SonReb. Estas herramientas prácticas, rápidas y económicas optimizan la evaluación estructural en proyectos locales. En conclusión, se valida la importancia de adaptar métodos no destructivos a contextos locales, contribuyendo a evaluaciones más precisas y al desarrollo de infraestructura eficiente en Oruro.

Palabras claves: resistencia a compresión, ensayos no destructivos, esclerómetro, SonReb, correlación

Manufacture and comparison of abaci obtained by the sclerometer and the sonreb method to estimate the compressive strength in conventional concrete for the city of Oruro

ABSTRACT

This paper addresses the problem of the inappropriate use of sclerometers in Bolivia, highlighting the lack of procedures that relate non-destructive testing to the compressive strength of concrete. The applicability of foreign models, which do not consider the local characteristics of the material, is also questioned. A methodology was developed to generate predictive models adapted to local conditions using sclerometers and SonReb. Cylindrical and prismatic specimens were manufactured with five concrete designs (strengths between 70 and 350 kg/cm²) and compression, ultrasound and sclerometer tests were performed. The obtained models, individually and combined, based on potential-type regressions, were compared with international references. The results show that the combination of methods such as rebound number and ultrasonic pulse speed improves the accuracy of estimates by mitigating errors due to heterogeneity. The SonReb models achieved coefficients of determination $r^2 \geq 90\%$ (maximum $r^2 = 0.9722$). In addition, local abacuses were designed with conversion factors of 0.95–1.05 for the sclerometer and 0.97–1.03 for SonReb. These practical, fast and economical tools optimize structural assessment in local projects. In conclusion, the importance of adapting non-destructive methods to local contexts is validated, contributing to more accurate assessments and the development of efficient infrastructure in Oruro.

Keywords: compressive strength, non-destructive testing, sclerometer, SonReb, correlation

INTRODUCCIÓN

La presente investigación analiza la correlación entre la resistencia a la compresión del hormigón, la dureza superficial obtenida por el método esclerométrico y la velocidad de pulso medida por ultrasonido, considerando materiales específicos y condiciones de prueba propias de la ciudad de Oruro. Se busca así fabricar ábacos de alta confiabilidad para el método esclerométrico y el método SonReb mediante modelos de regresión, permitiendo compararlos entre sí y con las propuestas de los fabricantes.

Para este estudio se realizaron ensayos de esclerometría, ultrasonido y compresión en hormigones con resistencias específicas de 7 MPa, 14 MPa, 21 MPa, 30 MPa y 35 MPa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esclerómetro

Esclerómetro analógicos instrumento para ensayar la dureza superficial del hormigón se utilizaron 2 esclerómetros procedentes de la marca suiza Proceq y una de marca china HT-225

Ultrasonido

Es un instrumento digital el cual cuenta con dos transductores que hacen la lectura directa de la calidad del hormigón se utilizó uno de la marca Controls de procedencia Italiana.

Cemento

Se utilizó cemento Ecebol Portland IP - 40 para el diseño de probetas cilíndricas y cubos.

Agregados pétreos

Agregado fino. Arena de río de tamaño inferior a 4,75 mm. Utilizado como agregado fino. Se utilizó arena proveniente de la cantera Santa Ana, Oruro.

Agregado grueso. Grava de menos de 102 mm. Se utilizó agregado grueso proveniente del Río Paria, Oruro.

Métodos

Para obtener los modelos matemáticos de predicción que permitan determinar la resistencia a la compresión del hormigón mediante ensayos esclerométricos y ultrasónicos, se fabricaron 223 cilindros

normalizados de 10 × 20 cm, a los cuales se les proporcionó un curado estandarizado. Se determinó la resistencia a la compresión y se estableció la siguiente distribución: 18 muestras fueron ensayadas a los 7 días, otras 18 a los 21 días y 153 a los 28 días. Las 34 muestras restantes fueron destinadas al ensayo de ultrasonido. Es importante mencionar que se realizó el ensayo esclerométrico en todas las muestras con la finalidad de obtener una relación entre el índice esclerométrico y la resistencia a compresión. Adicionalmente, se fabricaron 5 cubos y 25 cilindros de hormigón simple, a los cuales se les proporcionó un curado normalizado. En los cubos y probetas, se realizaron los ensayos esclerométricos, ultrasónicos y de compresión con la finalidad de obtener una relación para el método SonReb entre el pulso ultrasónico, el índice de rebote y la resistencia a compresión del hormigón

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo de esclerometría

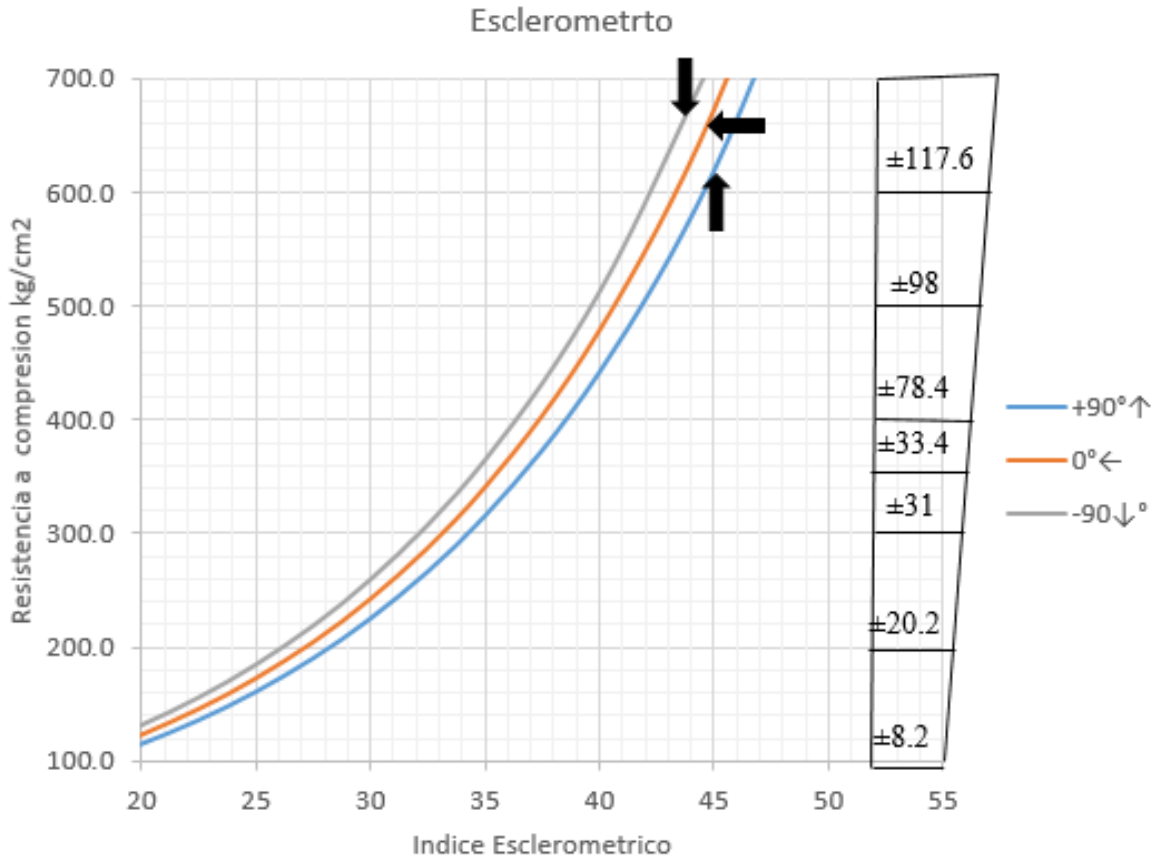
Para el análisis esclerométrico y la obtención de los ábacos, se utilizaron tres normas diferentes (ASTM, EN y JGJ), cada una con un esclerómetro, siguiendo sus respectivas directrices para la toma de datos y el análisis.

Los resultados presentados a continuación corresponden a aquellos que fueron analizados y aceptados, permitiendo la creación de los ábacos en las tres direcciones del esclerómetro. Para cada dirección, se incluyen las ecuaciones, las gráficas y las curvas de dispersión:

Ecuación en la dirección +90°↑	$y = 29.721 * e^{0.0674X}$.
Ecuación en la dirección 0°←	$y = 31.321 * e^{0.0681x}$
Ecuación en la dirección-90°↓	$y = 33.613 * e^{0.0681x}$

Curvas esclerométricas

Figura 1. Curvas esclerométricas +90°,0° y -90°



Fuente: Elaboración propia – Curvas esclerométricas.

Método SonReb

Para poder obtener la resistencia mediante el método combinado SonReb se hizo un análisis llamado regresión lineal múltiple.

Está dominado por la siguiente ecuación:

$$y = a * V^b * IE^c$$

Curvas del método combinado SonReb.

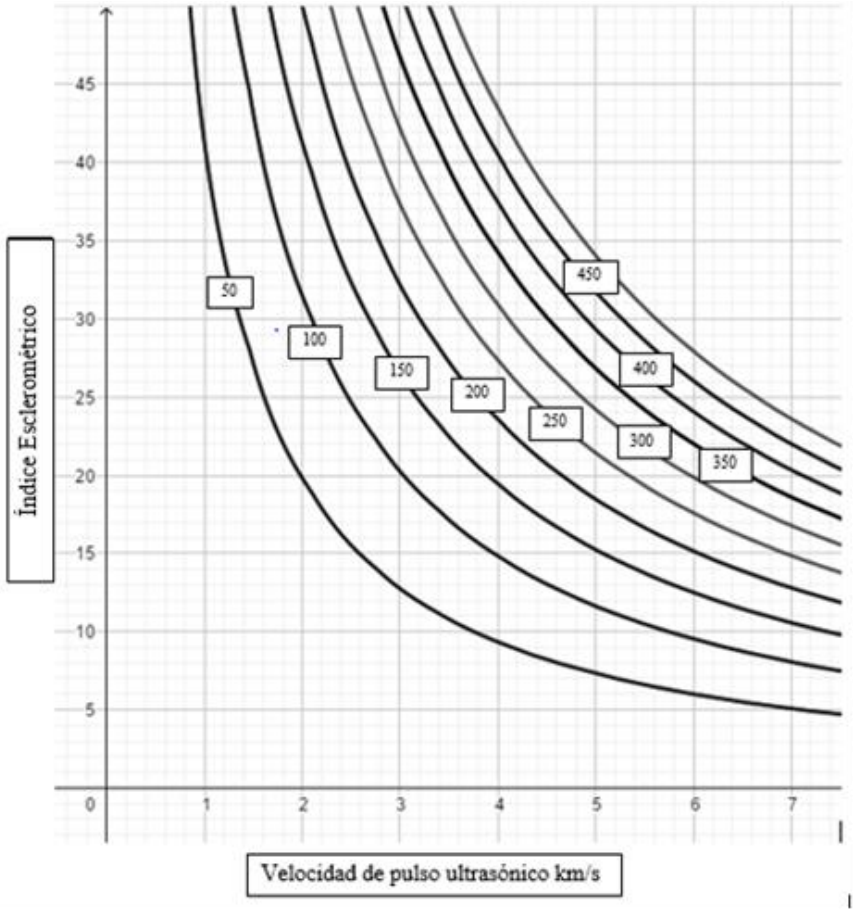
Ecuación del método SonReb en Kg/cm2

$$f´c = 0.000002306 * V^{1.6334} * IE^{1.4967}$$

V= Velocidad de pulso ultrasónico m/s.

F´c= resistencia a la compresión Kg/cm2.

Figura 2. Curvas de nivel del método combinado SonReb



Fuente: Elaboración propia – Curvas V vs IE.

Comparación entre el método esclerométrico y el método Sonreb

Ambos métodos no destructivos estiman la resistencia a la compresión in situ del hormigón, pero presentan diferencias significativas en su enfoque y en los resultados obtenidos. Mientras que el método esclerométrico se basa en el índice de rebote de la superficie, el SonReb combina la velocidad del pulso ultrasónico con el índice de rebote para una estimación más precisa de la resistencia.

Al comparar las ecuaciones de ambos métodos, notamos que, aunque ambos pueden estimar la resistencia con alta confiabilidad, las diferencias en sus aproximaciones sugieren que el SonReb podría ofrecer una evaluación más precisa bajo ciertas condiciones de la obra. Sin embargo, estudios previos (como los de Evangelista, A. C. J. 2002 y Cristofaro, M. T., Viti, S., & Tanganelli, M. 2020) han demostrado que el método esclerométrico es más eficiente en términos de tiempo y facilidad de uso, aunque con una menor precisión cuando se enfrenta a variaciones en la calidad del material.

Tabla 1. Análisis comparativo de ecuaciones método esclerométrico y SonReb

Análisis comparativo Esclerometria vs metodo SonReb									
Velocidad de pulso y esclerometria				Ecuaciones				Roturas	
Núcleo	Tiempo (µs)	Velocidad (m/s)	Promedio del EI	SonReb FNI	Esclerometria FNI	Resistencia en la prensa (kg/cm2)	SonReb corregido (kg/cm2)	esclerometria corregido (kg/cm2)	Resistencia calculada (kg/cm2)
Núcleo CH	53.5	3757.01		309.5					319.5
Núcleo CH	52.5	3828.57		319.2					319.5
Núcleo CH	53.8	3736.06	33.82	306.7	336.3	306.5	318.30	319.50	319.5
Núcleo CH	54	3722.22		304.9					319.5
Núcleo CH	54	3722.22		304.9					319.5
		3753.22		309.0	336.3				
Núcleo CR	58.4	3493.15		223.2					235.6
Núcleo CR	56.4	3617.02		236.3					235.6
Núcleo CR	61	3344.26	29.43	207.9	249.4	228.4	236.39	236.94	235.6
Núcleo CR	55.8	3655.91		240.4					235.6
Núcleo CR	55.8	3655.91		240.4					235.6
	Prom	3553.25		229.5	249.4				
				Fc	Fc				
				±3%	±5%				

Fuente. Elaboración propia

CONCLUSIONES

Con la investigación que se hizo en este trabajo de grado se puede llegar a concluir que los ábacos fabricados tanto para el método esclerométrico como para el método SonReb, con materiales de la ciudad de Oruro son muchos más confiables que los presentados por el fabricante aproximadamente en un 10%. Aunque ambos estudios cumplen con la función de estimar la resistencia del hormigón en sitio, determinar la uniformidad del hormigón y delimitar zonas de baja calidad con muy buena confiabilidad, el método que se destacó fue el método SonReb debido a que, al ser un método dependiente de dos variables muchas de las correcciones que se deben tomar en cuenta para el esclerómetro, en el método combinado llegan a ser despreciables debido al efecto de ambos equipos y llegando a ser mejor que el método esclerométrico.

Según las diferencias ya descritas con anterioridad entre las ecuaciones obtenidas en el presente trabajo y las obtenidas por el fabricante con respecto a la rotura a compresión, se pudieron sacar factores de conversión para los ábacos fabricados, en el caso del esclerómetro se determinó que la variación existentes es de alrededor de ±5% y para el método SonReb alrededor de ±3%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Badilla, V., & Zamora, J. L. (2015). CORRELACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS DE DETECCIÓN SUPERFICIAL DE ANOMALÍAS EN EL HORMIGÓN ARMADO. 2015, 8.

Borja, M. A. (2018). "CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA REAL DEL CONCRETO Y EL ENSAYO NO DESTRUCTIVO DE ESCLEROMETRÍA PARA MUESTRAS DE CONCRETO EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE" [MAESTRIA EN GERENCIA DE OBRAS Y CONSTRUCCIÓN]. UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO GUIZ GALLO".

Calle Ochoa Facundo. (2016). EVALUACIÓN CORRECTA DEL HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS ESCLEROMÉTRICOS [Tesis]. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES.

Câmara, E. (2006). AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS UTILIZADOS NA GRANDE FLORIANÓPOLIS ATRAVÉS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS. 212.

Concu, G., de Nicolo, B., Pani, L., Trulli, N., & Valdés, M. (2014). Prediction of Concrete Compressive Strength by Means of Combined Non-Destructive Testing. Advanced Materials Research, 894, 77-81. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.894.77

Cristofaro, M. T., Viti, S., & Tanganelli, M. (2020). New predictive models to evaluate concrete compressive strength using the SonReb method. Journal of Building Engineering, 27, 100962. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100962

De Almeida Racine. (2019). ANÁLISE DA CORRELAÇÃO DOS ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA E ULTRASSOM COM A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO. [Tesis]. UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CENTRO DE TECNOLOGIA ENGENHARIA CIVIL.

Delgado Tongo, R. T., & Arevalo Gonzalez, S. A. (2020). Determinación de la resistencia a la compresión y el índice de rebote por medio de ensayos destructivos y no destructivos en Tarapoto [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil]. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO.

Evangelista, A. C. J. (2002). AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO USANDO DIFERENTES ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS. 240.

Gomez, G. (1965). Determinacion del indice esclerometrico en Hormigones:Factores que afectan. 1965, 1, 8.

Masi, A., & Vona, M. (2009). ESTIMATION OF THE IN-SITU CONCRETE STRENGTH: PROVISIONS OF THE EUROPEAN AND ITALIAN SEISMIC CODES AND POSSIBLE IMPROVEMENTS. 12.

Mc Cormac, J. B. & Russell. (2011). Diseno de concreto reforzado. Alfaomega Grupo Editor. http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3213882

Melo, A. B. P. (2013). ESTUDO DA CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS DE ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS EM CONCRETO DA OBRA DO RESIDENCIAL CIDADE JARDIM EM FORTALEZA-CE. [Tesis]. UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CENTRO DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL.

Metta, G. (2020). Classificazione della vulnerabilit Degli edifici in uso al Ministero della difesa ai fini della valutazione del rischio sismico: (Codice AO-SGD-04). Centro militare di studi strategici.

Mohamad, G., Carmo, P. I. O. do, Oliveira, M. de J. D. de, & Temp, A. L. (2015). Métodos combinados para a avaliação da resistência de concretos. Matéria (Rio de Janeiro), 20(1), 83-99. https://doi.org/10.1590/S1517-707620150001.0011

Montoya, J. (2008). Hormigon Armado (15°). Editorial Gustavo Gili, SL, Barcelona,.

Navarro, C. A. P., & Martínez, R. A. P. (2021). Ajuste de la expresión de resistencia a compresión del hormigón en estructuras según la norma NC 1109. 2, 10.

ouza, D. J., Leme, L. B. P., & Medeiros, M. H. F. (2015). OBTENÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO DE VIADUTOS LOCALIZADOS NA REGIÃO DE CURITIBA POR MÉTODOS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTÍVEIS: ESCLEROMETRIA E ULTRASSOM. 21/08/2015, 18.

Rudeli, N., & Santilli, A. (2017). Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: Método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón. Obras y proyectos, 22, 6-16. https://doi.org/10.4067/S0718-28132017000200006

SAIF VALDEZ ISSAM ALFREDO. (2019). “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN CON DIFERENTES MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN” [Tesis]. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

Segarra Mayra, Miguitama Byron, Fierro Jessica, & Mogrovejo Daniel. (2017, septiembre 20). Implementación de curvas de calibración esclerométricas para hormigones convencionales de las hormigoneras más importantes del Austro. Congreso I+D+ingeniería, Cuenca Ecuador.

Siancas, D. R. (2020). “DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DEL PABELLON 3A DE LA I.E. 14787 VICTOR RAUL HAYA DE LA TORRE, USANDO LA DIAMANTINA, EL ESCLEROMETRO Y EL EQUIPO DE ULTRASONIDO.” [TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE: INGENIERO CIVIL]. UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE INGENIERA CIVIL.

Souza, D. J., Leme, L. B. P., & Medeiros, M. H. F. (2015). OBTENÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO DE VIADUTOS LOCALIZADOS NA REGIÃO DE CURITIBA POR MÉTODOS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTÍVEIS: ESCLEROMETRIA E ULTRASSOM. 21/08/2015, 18.

Valencia Elguera Gabriela & Ibarra Navarro Miguel Angel. (2013). ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR PATRONES DE CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO EN CONCRETO SIMPLE. UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU.

Vecca, C., & Lucero, R. (2001). PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE ESCLEROMETRÍA Y ULTRASONIDO9.pdf. 2001, 8.