

Implementación de curvas de calibración esclerométricas para hormigones convencionales de las hormigoneras más importantes del Austro

Mayra J. Segarra V.¹ , Byron Miguitama¹ , Jéssica Fierro¹ , Daniel E. Mogrovejo C.² 

¹ Estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril, Cuenca, Ecuador, 1010201.

² Profesor de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril, Cuenca, Ecuador, 1010201.

Autores para correspondencia: daniel.mogrovejo@ucuenca.edu.ec, mayjessenia17@gmail.com

Fecha de recepción: 15 de julio de 2017 - Fecha de aceptación: 20 de septiembre de 2017

ABSTRACT

One of the most used non-destructive test for infrastructure evaluation and pathology is the rebound hammer. Its advantages include a considerable reduction in field-work, time and money. Although, the use of the standardized reference curve provided by the manufacturer is the common practice for concrete evaluation when using the rebound hammer, it is well known that its use to estimate in-situ compressive strength is not reliable. To achieve the necessary precision, the equipment must be calibrated for a specific mix/design, using a statistical significant number of samples. The overall objective of this research was to obtain and implement sclerometric calibration curves for the most used concrete types provided by two of the more important ready-mix plants in the southern part of Ecuador. The mentioned curves were obtained by correlating the compressive strength with the rebound hammer index (taken right before the compressive test was made). During testing the influence of the sample's moisture content and the support/confinement conditions were analyzed. Results revealed that the moisture content in concrete specimens resulted in variations of 11.4%, decreasing the rebound indexes. This information was used to define correction factors for the calibration curves. Furthermore, it was found that the confinement conditions of the sample have no influence in the rebounds. Finally, by successfully obtaining the sclerometric calibration curves for the most used concrete types in the region, the goal of having a precise infrastructure evaluation is reached.

Keywords: Pathology, infrastructure evaluation, sclerometer, concrete strength, non-destructive testing (NDT), rebound hammer, calibration curves.

RESUMEN

El esclerómetro es uno de los ensayos no destructivos más empleados en la evaluación de infraestructuras. Sus ventajas abarcan una considerable reducción en mano de obra, tiempo y dinero. Aunque comúnmente se emplea la curva estandarizada por el fabricante, es bien sabido que para lograr la precisión adecuada en la evaluación se requiere calibración del equipo para cada mezcla específica. Tomando en cuenta que dicha calibración implica la realización de ensayos con hormigones reales en un número estadísticamente significativo de muestras, el objetivo de esta investigación es obtener las curvas de calibración para mezclas de dos de las hormigoneras más importantes del sur del país, mediante la correlación de los resultados del ensayo a compresión de las probetas de hormigón con los índices esclerométricos tomados previa ruptura de las muestras. Se ha analizado además la influencia de la humedad de las muestras y las condiciones de apoyo y confinamiento al momento del ensayo en el índice esclerométrico obtenido, demostrando así que la presencia de humedad en las muestras ensayadas presenta una variación del 11.4%, disminuyendo los valores del índice esclerométrico, dicha variación fue utilizada para encontrar factores de corrección para los resultados. Por otra parte, se determinó que la condición de apoyo de la muestra al momento del ensayo no presenta una

influencia estadísticamente significativa. Al obtener las curvas de calibración deseadas para los hormigones más utilizados en el país, la evaluación esclerométrica de los mismos, tanto en obra como en laboratorio, presenta ahora un grado de precisión adecuado y confiable.

Palabras clave: Evaluación, patología, esclerometría, resistencia del concreto, pruebas no destructivas (PND), martillo de rebote, curvas de calibración, esclerómetro.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo, funcionalidad, seguridad y servicio de toda obra de ingeniería civil depende en gran medida de la calidad de sus materiales. A medida que pasa el tiempo es inevitable la pérdida de desempeño debido al deterioro o envejecimiento de éstos. Según este deterioro avanza, los costos de mantenimiento o reparación incrementan considerablemente. Por ello, un punto clave para evaluar el desempeño de estructuras existentes es la evaluación de la condición del material de construcción.

Los materiales se emplean en función de la magnitud e importancia de la obra. Por tal, la mezcla de hormigón es diseñada para cumplir con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del concreto es una de las propiedades más empleadas para control de calidad debido a su importancia (Aydin & Saribiyik, 2010). Para ello deben fracturarse probetas cilíndricas de concreto bajo una carga de compresión normada. Sin embargo, en obras existentes no siempre es factible la extracción de núcleos para dicho ensayo, pues, además de ser costoso, implica la destrucción de estas. En su lugar se emplean métodos no destructivos (NDT por sus siglas en inglés), que realizados correctamente nos brindan resultados con una precisión adecuada. En 1940, el ingeniero Suizo Ernst Schmidt desarrolló un martillo de prueba de rebote en base al cual se han desarrollado versiones modernas (Breysse, Sirieix, & Lataste, 2012). En la actualidad, este equipo es popularmente conocido como esclerómetro, el cual es ampliamente usado debido a sus ventajas en obra, pues significa una considerable reducción en mano de obra, tiempo, daño a la infraestructura y coste. El ensayo se basa en el principio de que el rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie sobre la que choca, proporcionando una medida de la dureza relativa de esta zona (Aydin & Gökten, 1992).

Varios son los factores que influyen en los resultados proporcionados por el esclerómetro; los principales se deben a las características de cada mezcla (Breysse, 2012). La ejecución de ensayos ha mostrado que este puede entregar una mejor correlación a dispersión, si está calibrado para una mezcla específica. Factores como el tipo de cemento, contenido o tipo de agregado, textura de la superficie, condiciones de humedad, entre otras, muestran cambios significativos en los índices esclerométricos (Cortes, 1993).

El método recomendado es correlacionar las mediciones del equipo con ensayos destructivos llevados a cabo en muestras de núcleo, o en cubos/cilindros hechos de la misma mezcla que la estructura (Breysse, Klysz, Dérobert, Sirieix, & Lataste, 2008). Debido a la cantidad de ensayos necesarios para realizar dicha correlación no se han desarrollado curvas de calibración acordes a cada mezcla, al menos no para las plantas hormigoneras de la localidad. Por esta razón, al emplear ensayos esclerométricos para evaluación de infraestructura, se ven limitados a emplear las curvas normalizadas dadas por el fabricante, las cuales no siempre devuelven resultados lo suficientemente confiables como para evitar la extracción de núcleos. En la práctica, la esclerometría es más empleada en las zonas de extracción para control y calibración del equipo (Avid, Saad, & Sota, 2010). Además, se ha visto una gran dispersión de resultados al realizar curvas con datos de hormigones de características diferentes (Cortes, 1993), lo cual limita o modera considerablemente el uso del esclerómetro.

El objetivo de este estudio es generar curvas de calibración estadísticamente significativas para ser implementadas en el equipo esclerométrico para los tipos de hormigón más usados en el país, y comercializados por las dos hormigoneras más importantes de la región. El objetivo subsecuente es contar con un equipo de medición no destructivo que ofrezca una precisión suficiente para el análisis patológico tanto en campo como en laboratorio de los hormigones en mención.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en los laboratorios de materiales de dos hormigoneras de la localidad (cumpliendo con los estándares de seguridad y calidad), a las cuales, por tema de confidencialidad, nos referiremos como hormigonera 1 y 2. Se ensayaron probetas de hormigones de 210, 240 y 300 kg/cm² por ser los más usados en obra. El alcance de la investigación, la representatividad de la base de datos estudiada, y los métodos de análisis escogidos, garantizaron resultados estadísticamente significativos y confiables tanto de las resistencias reales de los hormigones como de los resultados de índices esclerométricos tomados. Es normal que en las hormigoneras se tome, de cada mezcla realizada, seis probetas de muestra para ensayar a los 3, 7 y 28 días. En función de la disponibilidad de probetas y acorde al calendario de rupturas que maneja cada hormigonera, se ensayaron un total de 140 probetas cilíndricas en la hormigonera 1 y 179 en la hormigonera 2, entre las cuales se encontraron probetas cuyos valores de resistencia e índices esclerométricos diferían de lo esperado. Por tanto, entre las dos hormigoneras, fueron descartadas un total de 23 probetas.

Tabla 1. Probetas ensayadas con el Esclerómetro empleadas para el desarrollo de curvas esclerométricas.

Tipo (kg/cm ²)	No de muestras	
	Hormigonera 1	Hormigonera 2
210	20	52
240	74	64
300	28	58

Todas las probetas ensayadas guardan una relación de 2:1 en sus dimensiones. En ambas hormigoneras se contó con probetas cilíndricas de 200x100 mm en laboratorio. Adicionalmente la hormigonera 1 nos proporcionó muestras de 300x150 mm, tomadas en obra, de estas últimas no se toman parejas, pues proceden de los camiones de mezclado tomados *in situ* al momento de la fundición.

El esclerómetro proporciona: un índice esclerométrico (Q), y un valor de resistencia a compresión del concreto relacionada. Este valor “Q” se obtiene del promedio de varios impactos, y dentro de una tolerancia definida (los valores obtenidos no deben diferir en más de 6 unidades (ASTM C805, 2013)). Para mejor control de los datos obtenidos se registraron y procesaron todos los valores “Q” de cada ensayo.

2.1. Estado de humedad y condiciones de apoyo y confinamiento de las muestras

Con la finalidad de determinar si existe una diferencia significativa entre el uso del esclerómetro *in situ* y en laboratorio, el ensayo se realizó en muestras en condiciones de apoyo fijo y libre (ver Fig. 1). Para la condición de apoyo fijo se empleó una entenalla de banco. Los ensayos esclerométricos fueron realizados de conformidad con las normas ASTM C805 (2013) e NTE INEN 3121 (2016). Según las cuales el ensayo ha de realizarse en probetas de 150mm de diámetro. Dado que en nuestro medio es frecuente el uso de probetas de menor diámetro, se realizaron 15 disparos a la muestra en lugar de 10, pero distribuidos de a 5 en el área superior, inferior y lateral.

Al momento del ensayo se tuvieron probetas parcialmente húmedas, lo cual se aprovechó para verificar el grado de influencia de este factor que no es posible controlar *in situ*. Este problema se presentó principalmente en la hormigonera 1, donde se ensayaron probetas parcialmente saturadas en la parte inferior al momento del ensayo, a las que se ha denominado como “probetas húmedas”. Estas probetas han dado en conjunto índices menores a los obtenidos en las partes superiores, donde la muestra era notoriamente seca. Dado que la humedad es uno de los factores que pueden influir significativamente en los resultados del ensayo (Grantham, 2003), se realizaron curvas de doble masa entre los promedios de los impactos dados en la parte superior e inferior con la finalidad de obtener un factor de corrección por humedad. Los análisis de doble masa ayudan a determinar la consistencia de

los datos, consideran que los valores tomados en diferentes puntos guardan una relación de proporcionalidad que puede representarse gráficamente (Ramírez, 2003).



Figura 1. Condiciones de apoyo de las probetas (a) fija (b) libre.

2.2. Obtención de Índices Q

Para la obtención de los índices esclerométricos de cada ensayo se descartaron manualmente aquellos datos que diferían más allá de lo estipulado en la norma ASTM C805 (2013) tras aplicar el factor de corrección por humedad en los ensayos que lo requerían. El ajuste fue manual dado que el equipo no descarta ningún dato para la obtención de los índices. Mediante regresiones exponenciales entre los índices esclerométricos del equipo y las resistencias reales obtenidas del ensayo a compresión, se obtuvieron las curvas esclerométricas calibradas para las mezclas de las hormigoneras 1 y 2 (Proceq SA, 2014).

3. RESULTADOS

De las probetas ensayadas 23 fueron descartadas, 18 en la hormigonera 1 y 5 en la hormigonera 2. Tras realizar el ensayo y aplicar el factor de corrección por humedad, 14 probetas (11 y 3 en cada hormigonera respectivamente) fueron descartadas pues no cumplían con lo estipulado por la normativa ASTM C805 (2013). El resto de las probetas presentaban índices esclerométricos fuera del rango esperado, según la Tabla 2. Los valores de resistencia en función del índice esclerométrico, presentados en dicha tabla, fueron determinados acordes a una desviación estándar de 3 en la hormigonera 2 y 4 en la hormigonera 1. En la hormigonera 2 se ensayaron únicamente probetas cilíndricas de 200x100 mm tomadas en laboratorio. Mientras que, en la hormigonera 1, del total de probetas ensayadas, 64 fueron de 300x150 mm tomadas en obra. No se hallaron diferencias significativas referentes al tamaño de las probetas.

Sin embargo, se observó que en probetas tomadas en obra la desviación estándar de las resistencias de la Tabla 2 llegaban a 4. Se observó que los valores de resistencia a compresión, a 28 días, dados por los índices esclerométricos, no alcanzan las resistencias esperadas. Esto, debido a que la curva empleada en el momento del ensayo fue la dada por el fabricante, mas no una acorde al tipo de mezcla.

Tabla 2. Valores de Resistencia a la compresión típicos según tipo de hormigón en función del Índice Esclerométrico obtenidos en el ensayo.

Tipo (kg/cm ²)	Días					
	3		7		28	
	Q	f'c (kg/cm ²)	Q	f'c (kg/cm ²)	Q	f'c (kg/cm ²)
210	21-26	60-85	26-30	85-105	28-32	95-120
240	23-27	70-90	26-33	85-130	30-35	105-150
300	27-29	90-100	30-37	105-165	36-40	160-195

Leyenda: Q = Índice esclerométrico; f'c: Resistencia a la compresión

3.1. Influencia del estado de humedad y condición de apoyo de la muestra

Mediante regresiones lineales cualitativas y cuantitativas, se determinó el grado de influencia de las condiciones de apoyo de la muestra en el momento del ensayo sobre la obtención de los índices “Q”. Entiéndase por condiciones de apoyo fija/libre como variables dicotómicas. Donde la hipótesis nula fue que no existen diferencias para dichas condiciones, mientras que la hipótesis alternativa es que si existen.

Tabla 3. Estadísticas de las regresiones lineales cualitativas según estado de la muestra.

	Coefficientes	Error típico	Probabilidad
Intercepción	30.9490	0.521	3.10E-172
Condición de Apoyo	0.046	0.736	0.950

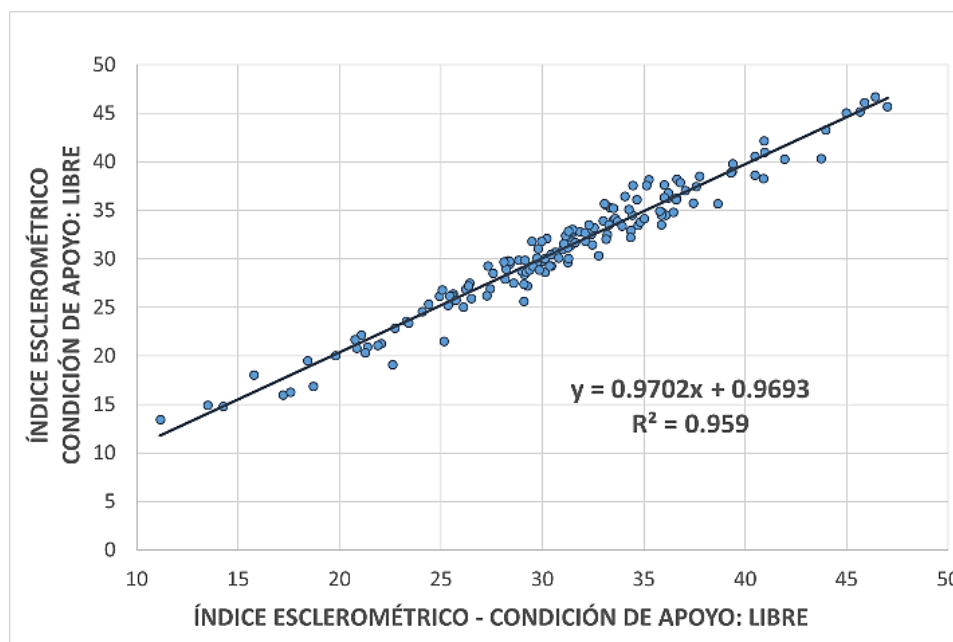


Figura 2. Influencia de la Condición de Apoyo sobre el Índice Esclerométrico “Q”.

Con la curva de doble masa de la Figura 2 se demostró que no existen diferencias estadísticamente significativas. El valor crítico F del análisis de varianza fue mayor a 0.05, por tanto, se rechaza la hipótesis alternativa concluyéndose que no representa una influencia significativa en la obtención del índice Q al momento del impacto (Ott & Longnecker, 2016).

Tabla 4. Estadísticas de las regresiones lineales cuantitativas según estado de la muestra.

R ²	Análisis de varianza	
	F	Valor crítico de F
0.958	0.0039	0.9504

Leyenda: R² = Coeficiente de determinación; F = Distribución F

Dado que un 84% de probetas ensayadas en la hormigonera 1 se encontraron parcialmente saturadas en la parte inferior al momento del ensayo, se determinó un factor de corrección por humedad para dichas probetas, como se muestra a continuación. Para dicha curva se descartaron 23 datos pues presentaban humedad en la zona inferior; sin embargo, daban índices mayores a los de la zona superior que se encontraba seca. Cuando se produce segregación de la mezcla, los áridos más gruesos tienden a depositarse en la zona inferior, que en este caso se encontraba húmeda, mientras que la parte superior y seca obviamente tendría menor resistencia.

La curva de doble masa entre los índices Q, obtenidos en la parte superior e inferior de los ensayos, nos proporcionó un factor de corrección de 11.4%. Tal como se esperaba, en la mayoría de los casos se obtuvo una corrección favorable de los “Q” por humedad, pues el coeficiente de determinación (R²) de 0.8785 nos muestra un buen ajuste del modelo.

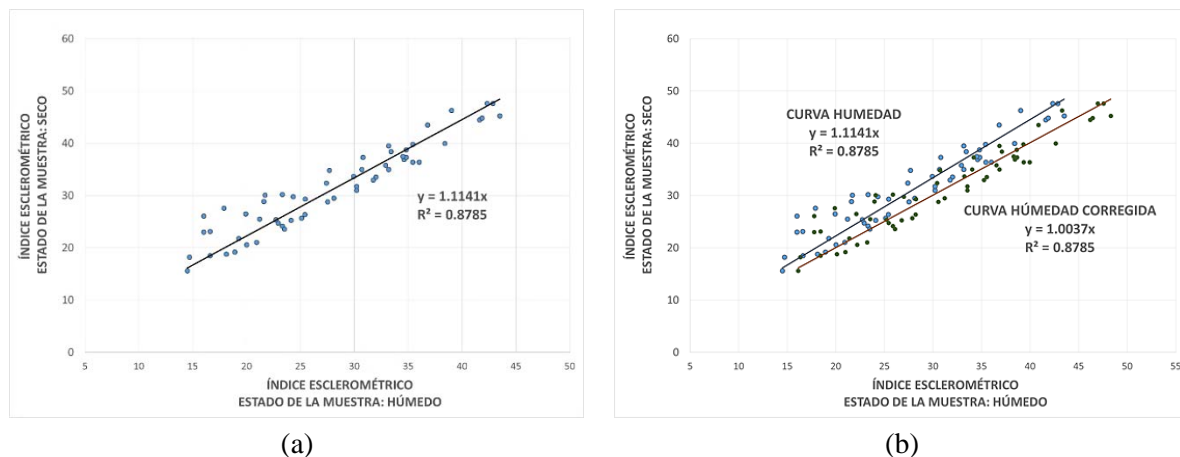


Figura 3. Influencia del estado de humedad (a) curva de doble masa y (b) curva de doble masa con la corrección por humedad.

3.2. Curvas de calibración

Finalmente, tras correlacionar los índices “Q” obtenidos del esclerómetro, con el valor del esfuerzo a compresión (f’c) obtenidos en laboratorio para cada probeta, se obtuvo ajustes exponenciales correspondientes a cada hormigonera (Proceq QA, 2014). En la Tabla 5 se muestran los resultados de las correlaciones. Donde la variable dependiente corresponde a la resistencia a compresión y la variable independiente al índice esclerométrico “Q”. Tanto los valores críticos F como los P-value correspondientes a las variables son mucho menores a 0.05, por lo tanto, el modelo como sus variables están bien explicados y son significativos en la determinación de la resistencia a compresión “f’c” (Ott & Longnecker, 2016).

Tabla 5. Resultados del Ajuste Exponencial para las hormigoneras 1 y 2.

Hormigonera		Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
1	ln(α)	1.391	0.075	18.509	7.13E-32
	β	0.051	0.0024	21.519	3.46E-38
2	ln(α)	1.749	0.0672	26.034	1.13E-54
	β	0.048	0.0022	22.280	6.78E-46

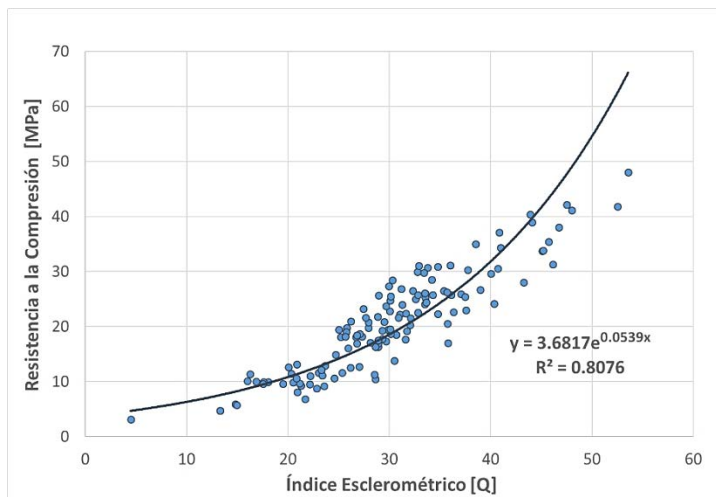
Las Ecuaciones obtenidas para las curvas de calibración serán de la forma:

$$y = \ln(\alpha)e^{\beta x} \tag{1}$$

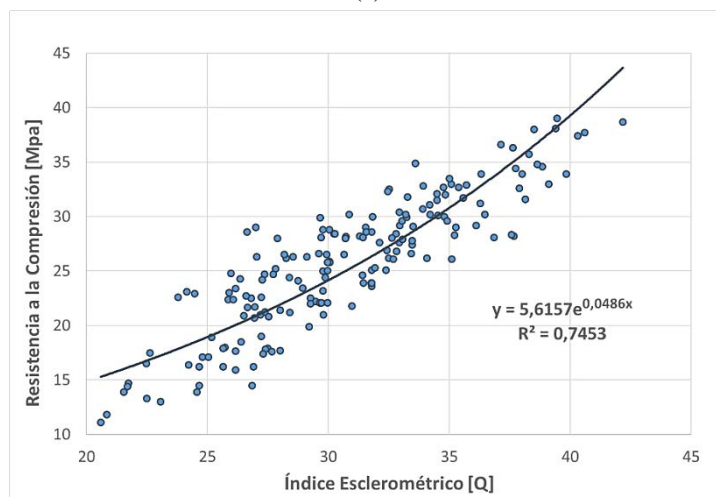
Por lo tanto:

$$\text{Hormigonera 1} \quad y = 3.6817e^{0,0539x} \tag{2}$$

$$\text{Hormigonera 2} \quad y = 5.6157e^{0,0486x} \tag{3}$$



(a)



(b)

Figura 4. Curvas de calibración esclerométrica: (a) hormigonera 1, (b) hormigonera 2.

Para ambas hormigoneras el modelo se encuentra explicado en un 80%. Para la hormigonera 1, R^2 de 0.8076; en tanto que, para la hormigonera 2, R^2 de 0.7453. El ajuste es excelente, considerando los factores externos e internos que estarán siempre presentes, entre estos, el tipo y categoría del cemento, la dosificación de la mezcla, tipo, granulometría, y tamaño máximo del árido empleado, tipo de aditivos, de ser el caso (Cianfrone & Facaoaru, 1979), sin olvidar la masa, compactación de la muestra, superficie, edad, tipo de hormigón, curado, carbonatación, humedad y temperatura (Grantham, 2003).

En función del número de muestras ensayadas se realizaron curvas de calibración por tipo de hormigón. Para aplicar el concepto de intervalo de confianza de 95% es necesario que exista un mínimo de 30 observaciones (Diez, Barr, & Cetinkaya-Rundel, 2015). En la hormigonera 1 no fue posible ensayar un número suficiente de muestras. Puesto que el tipo de hormigón más empleado en esta hormigonera es el de 240 kg/cm^2 , se realizó una curva de calibración únicamente para este tipo. A

continuación, se presentan las curvas de calibración según los tipos de hormigón obtenidas para las hormigoneras.

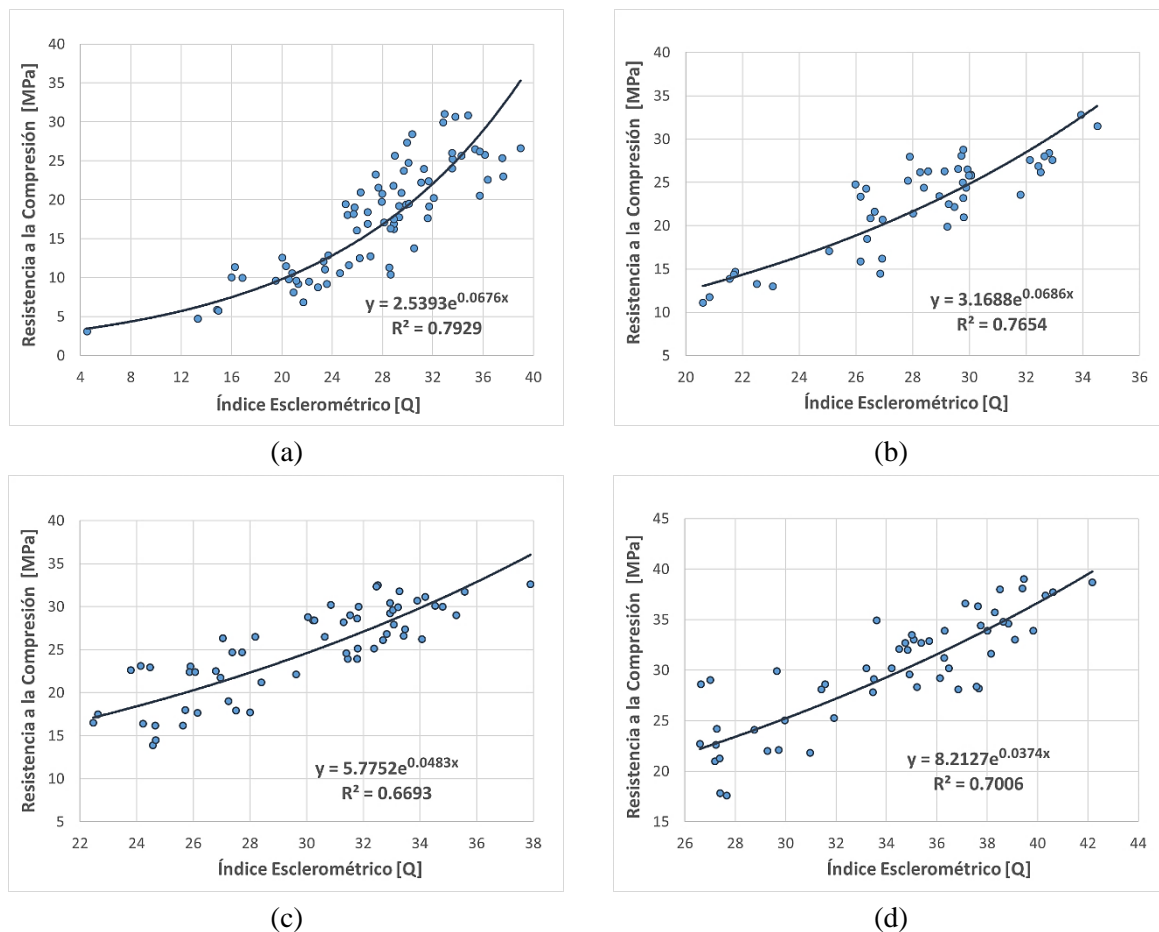


Figura 5. Curvas de calibración esclerométrica según tipo de hormigón: (a) 240 kg/cm² / hormigonera 1; (b) 210 kg/cm² / hormigonera 2; (c) 240 kg/cm² / hormigonera 2; (d) 300 kg/cm² / hormigonera 2.

4. DISCUSIÓN

El objetivo principal de esta investigación es el desarrollo de curvas de calibración para el tipo de mezcla de las dos hormigoneras estudiadas. Tras obtener las curvas se determinó el valor de f'_c para las probetas ensayadas, en función de los “Q” obtenidos con el esclerómetro. Al comparar los resultados, tomados con el equipo, con los valores reales de resistencia a la compresión, se evidenció una muy buena aproximación. Si bien existen diferencias en función del tipo de hormigón y los días a los cuales se realizó el ensayo, estas diferencias se encuentran en el orden de 1 a 5 MPa. En comparación con los datos obtenidos por el esclerómetro con la curva normalizada del fabricante, estas diferencias pueden ir desde 6 hasta 20 MPa. En la Figura 6 se puede apreciar una considerable diferencia entre la curva normalizada por el fabricante versus la curva calibrada obtenida según el tipo de mezcla. La humedad afecta la determinación del valor promedio del índice esclerométrico. Este problema se observó principalmente en la hormigonera 1, donde la mayor parte de las muestras a ensayar fueron retiradas de la piscina de curado, con poca anticipación al ensayo, y a pesar de emplear aire en el secado de las probetas, fue inevitable que permanecieran con un cierto grado de humedad.

La corrección por humedad permitió obtener índices Q más adecuados, de acuerdo con los parámetros presentados en la ASTM C805 (2013), dado que para una misma muestra los impactos individuales en las diferentes zonas ensayadas presentaban diferencias mayores a 6 unidades.

Empleando índices Q dados directamente por el esclerómetro, se obtuvieron desviaciones estándar por el orden de 4 a 5 unidades. Luego de las correcciones necesarias se verificó una desviación de alrededor de 2. De las curvas de doble masa para la condición de apoyo se obtuvieron valores de influencia bastante bajos. Los valores de probabilidad para las variables independientes no representan una influencia significativa en la obtención del índice Q. La bondad del ajuste depende mucho del tipo y número de días al cual se lleva a cabo el ensayo. Las curvas esclerométricas generadas, según el tipo, explican el modelo en un 70% a 80%.

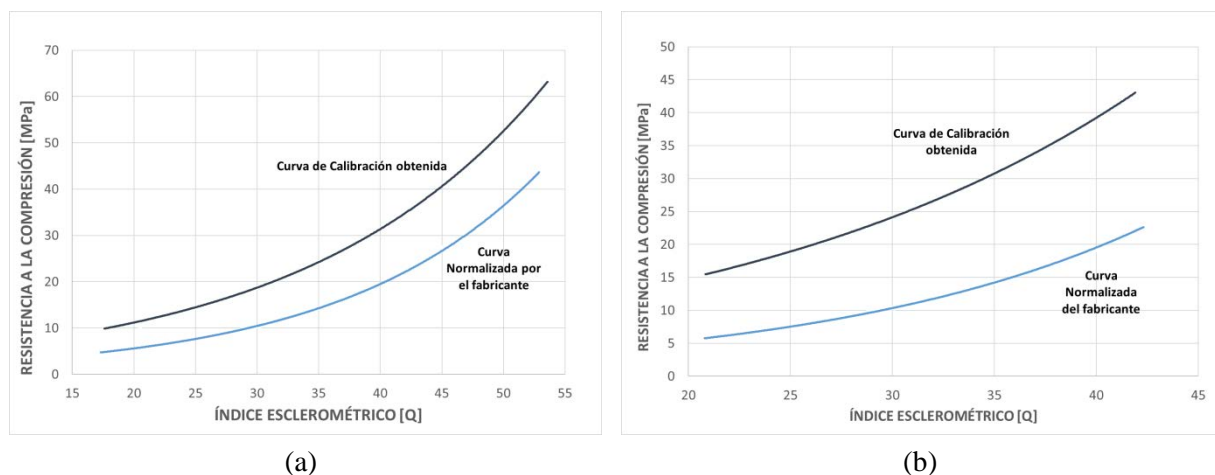


Figura 6. Comparación entre las curvas de calibración obtenidas y la curva normalizada del esclerómetro: (a) hormigonera 1, (b) hormigonera 2.

5. CONCLUSIONES

Se logró cumplir con el objetivo de encontrar e implementar curvas esclerométricas ajustadas a la realidad para los hormigones más utilizados por las dos hormigoneras más importantes del austro ecuatoriano, garantizando así la confiabilidad adecuada necesaria para los futuros ensayos de patología del hormigón.

Las curvas esclerométricas determinadas para cada hormigonera dieron coeficientes de determinación de 0.808 y 0.7753 para las hormigoneras 1 y 2, respectivamente. El modelo está bien explicado, sus variables son significativas en la obtención de la resistencia a compresión y generan variaciones considerablemente menores a comparación con la curva normalizada por el fabricante. En general no se encontraron variaciones significativas debido a la condición de apoyo de las muestras. Por tanto, el uso del esclerómetro *in situ* no debería presentar diferencias significativas con los obtenidos en laboratorio. En las probetas de 200x100 mm, al poseer un diámetro menor, fue inevitable repetir el disparo en el mismo sitio debido al limitado espacio, disminuyendo el valor de los índices esclerométricos registrados. Tras demostrar que la condición de apoyo no genera muestras significativas en la obtención de Q, se emplearon los datos correspondientes a muestras libres para la generación de las curvas calibradas. La diferencia entre las resistencias obtenidas por el esclerómetro sin calibrar con el ensayo de compresión simple real es considerable. Sin embargo, al comparar estos resultados de compresión simple real, con los obtenidos usando el esclerómetro y usando la curva normalizada encontrada en este estudio, se obtuvieron valores mucho más confiables. Además, es notoria la diferencia entre las curvas de calibración de las dos hormigoneras. Hemos demostrado que aun siendo de la misma localidad, al emplear mezclas propias, requieren una calibración del equipo que vaya acorde a la mezcla que emplean.

Las hipótesis se plantearon con la finalidad de determinar todos los posibles factores que reducen o alteran el valor real de resistencia del hormigón, de manera que tras el desarrollo de las curvas pueda emplearse este equipo en ensayos *in situ* con la calibración adecuada, obteniendo resultados de precisión adecuada.

6. RECOMENDACIONES

Es importante prestar atención al área ensayada y si esta presenta diferentes estados de humedad. De ser el caso, se recomienda corregir por humedad para evitar diferencias considerables entre los valores independientes de “Q”, por ensayo, pues alteraría el valor del índice esclerométrico. En el presente estudio los “Q” medios, entre la parte superior e inferior, diferían en más de 6 unidades y complicaron la determinación del promedio de este índice antes de ser corregidos.

REFERENCIAS

- ASTM C805. (2013). *Standard test method for rebound number of hardened concrete*. Washington, DC, US: ASTM International, W.
- Avid, F. A., Saad, J., Sota, J. (2010). *Estudio del hormigón de una estructura expuesta a la intemperie por quince años, construida en dos etapas*. VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, Tópico 2-Rehabilitación y refuerzos de estructuras, 8 p. Córdoba, Argentina.
- Ayday, C., Göktan, R. M. (1992). *Correlations between L- and N-type Schmidt hammer rebound values obtained during field testing*. Rock characterization: ISRM Symposium, EUROCK'92, Chester, UK, 47-50.
- Aydin, F., Saribiyik, M. (2010). Correlation between Schmidt Hammer and destructive compressions testing for concretes in existing buildings. *Scientific Research and Essays*, 5(13), 1644-1648.
- Breysse, D. (2012). Nondestructive evaluation of concrete strength: An historical review and a new perspective by combining NDT methods. *Construction and Building Materials*, 33, 139-163.
- Breysse, D., Klysz, G., Dérobert, X., Sirieix, C., Lataste, J. (2008). How to combine several nondestructive techniques for a better assessment of concrete structures. *Cement and Concrete Research*, 30(6), 783-793.
- Breysse, D., Sirieix, C., Lataste, J. (2012). Quality of concrete condition assessment using several nondestructive techniques. *Structure and Infrastructure Engineering*, 8(6), 545-555.
- Cianfrone, F., Facaoaru, I. (1979). Study on the introduction into Italy of the combined non-destructive method, for the determination of in situ concrete strength. *Matériaux et Construction*, 12(5), 413-424.
- Cortes, J. G. G. (1993). *Determinación del Índice esclerométrico en hormigones: factores que lo afectan*. Ingeniería Civil, UNAL, Bogota, Colombia. 8 p. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingevn/article/viewFile/21576/22582>
- Diez, D. M., Barr, C. D., Cetinkaya-Rundel, M. (2015). *OpenIntro Statistics* (3rd ed.), 436 p. Obtenido de openintro.org
- Grantham, M. (2003). Diagnosis, inspection, testing and repair of reinforced concrete structures. En: Newman, J., Choo, B. S. (Eds.), *Advanced Concrete Technology*, 2, 1-54.
- NTE INEN 3121. (2016). *Hormigón endurecido. Determinación del número de rebote. Método de ensayo*. Disponible en http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/nte_oficiales_nov_2016.pdf
- Ott, R. L., Longnecker, M. T. (2016). *An introduction to statistical methods and data analysis*. (7th ed.), 1163 p. Boston, MA: Cengage Learning.
- Proceq SA. (2014). *The SilverSchmidt reference curve. (820 341 30S)*. Disponible en <http://www.pcte.com.au/images/pdf/Silver%20Schmidt%20Hammer/The-SilverSchmidt-Reference-Curve.pdf>
- Ramírez, M. (2003). *Hidrología aplicada*. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.