



# Determinación de una relación entre el módulo de rotura y la resistencia a la flexión del hormigón hidráulico

Jorge Efraín Crespo Crespo <sup>1</sup>  Fausto David Quevedo Pesántez <sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador

✉ Correspondencia: [fausto.quevedo@ucacue.edu.ec](mailto:fausto.quevedo@ucacue.edu.ec)  + 593 984 200 750

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj620069>

**Resumen:** La investigación analiza la correlación entre en la resistencia a flexión y la compresiva del hormigón hidráulico. Sabiendo que se construye con una infinidad de materiales, se ha segmentado el universo tomando en cuenta que las propiedades mecánicas del hormigón deben determinarse en aquellos cuyos materiales constitutivos tienen un mínimo control de calidad, evitando la introducción de un sinnúmero de variables provenientes de múltiples combinaciones de áridos y cementos. La investigación se desarrolló realizando ensayos mecánicos de rotura en cilindros y vigas elaboradas con la misma mezcla y a la misma edad de tal forma que se obtengan datos de resistencia flexionante y compresiva para cada mezcla de prueba. Los ensayos se desarrollaron bajo los procedimientos establecidos en las normas ASTM C78 y ASTM C39. Cada mezcla de prueba fue elaborada con una distinta relación agua cemento, variando en 0.05 desde 0.35 hasta 0.60, tomando 6 muestras para cada tipo de ensayo (vigas y cilindros). La preparación y curado de las probetas se realizaron bajo estricto cumplimiento de la norma ASTM C192, dejando en curado hasta la fecha de la rotura. Los resultados de los ensayos se procesaron estadísticamente obteniéndose una nube de puntos con una tendencia marcada, el ajuste por mínimos cuadrados permitió obtener ecuaciones similares a las obtenidas por el ACI, aunque con ciertas diferencias que para efectos de diseño pueden considerarse significativas. Las ecuaciones permiten obtener valores más confiables según las características propias de los materiales locales.

**Palabras claves:** Hormigón, correlación, flexión, compresión.

**Determining a relationship between the modulus of rupture (mr) and the flexural strength (f'c) of hydraulic concrete.**

**Abstract:** The research analyzes the correlation between flexural strength and compressive strength of hydraulic concrete. Considering that construction involves a myriad of materials, the universe has been segmented, taking into account that the mechanical properties of concrete should be determined in those with constituent materials that have a minimum quality control, avoiding the introduction of countless variables arising from multiple combinations of aggregates and cements. The research was conducted by performing



Check for updates

**Cita:** Crespo Crespo, J. E., & Quevedo Pesántez, F. D. (2022). Determinación de una relación entre el módulo de rotura y la resistencia a la flexión del hormigón hidráulico. Green World Journal, 06(02), 079. <https://doi.org/10.53313/gwj62079>

Received: 06/junio /2023

Accepted: 25/julio /2023

Published: 27/julio /2023

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.  
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial  
[editor@greenworldjournal.com](mailto:editor@greenworldjournal.com)

**Editor's note:** CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2023 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.  
Creative Commons Attribution (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

mechanical rupture tests on cylinders and beams made with the same mixture and at the same age, in order to obtain flexural and compressive strength data for each test mixture. The tests were carried out following the procedures established in ASTM standards C78 and C39. Each test mixture was prepared with a different water–cement ratio, ranging from 0.35 to 0.60 in increments of 0.05, with 6 samples taken for each type of test (beams and cylinders). The preparation and curing of the specimens were carried out in strict compliance with ASTM standard C192, allowing them to cure until the date of rupture. The test results were statistically processed, resulting in a scatter plot with a clear trend. The least squares fit allowed obtaining equations similar to those obtained by the ACI, although with certain differences that can be considered significant for design purposes. These equations enable obtaining more reliable values according to the specific characteristics of the local materials.

**Keywords:** Concrete, correlation, bending, compression

## 1. Introducción

El hormigón es uno de los materiales de mayor uso en la construcción en la actualidad. La construcción de carreteras ha sido uno de los proyectos que mayor impulso ha tenido en los últimos años. El uso del hormigón hidráulico como alternativa para la elaboración de pavimentos de calles y carreteras ha generado muchas expectativas, especialmente por la durabilidad en relación a su símil de asfalto. Sin embargo, muchos proyectos viales construidos con hormigón han sufrido deterioro prematuro, llegando incluso en algunos tramos a su fracaso estructural [1].

El diseño de los pavimentos rígidos usa como parámetro principal el módulo de ruptura del hormigón (MR); sin embargo, el diseño de las mezclas está basado en resistencias compresivas ( $f'c$ ). Adicionalmente, el control de calidad durante el proceso de producción y construcción suele ser más práctico realizarlo en función de  $f'c$ . Establecer una correlación entre estos dos parámetros es necesario puesto que uno solo no define completamente las actividades de diseño y construcción simultáneamente [2].

Instituciones como el ACI o la AASHTO han propuesto ecuaciones que relacionan el módulo de ruptura y la resistencia a la compresión y estas han sido ampliamente difundidas en todo el mundo. No obstante, las mismas sugieren la realización de investigaciones en cada lugar, puesto que, variaciones de los áridos y cementos, pueden provocar cambios sustanciales en los valores; y, consecuentemente en el diseño [3].

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en losas de concreto, apoyadas directamente sobre una capa base o sub-base. La losa de concreto, debe tener una alta resistencia a la flexión y al desgaste, funcionando como una súper carpeta y base, simultáneamente. Por su alta rigidez y alto módulo elástico, tiene un comportamiento de elemento estructural de viga. Absorbe casi toda la totalidad de la carga de tráfico [1].

Para [2], el conocimiento de la correlación entre el MR y  $f'c$  es de vital importancia, a pesar que a mucha gente le parece intrascendente. “Es de importancia, en especial para los diseñadores de pavimento y los concreteros, pues si el factor k de correlación cambia, con poco que lo haga, cambia enormemente el comportamiento del pavimento y el número máximo de repeticiones de carga admisibles”.

Según la Guía para el diseño y Construcción de lotes de estacionamiento de hormigón American Concrete Institute [3], el diseño de pavimento usa la teoría basada en la resistencia a la flexión (módulo de rotura). La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada.

Las cargas aplicadas a los pavimentos de concreto producen esfuerzos tanto de flexión como de compresión en la losa; sin embargo, los esfuerzos de flexión son más críticos puesto que las cargas pesadas inducirán esfuerzos de flexión que se aproximarán a la resistencia a flexión, mientras que los esfuerzos de compresión permanecerán pequeños en relación con la resistencia a compresión. En consecuencia, la resistencia a la flexión o el M.R. del concreto es usada en el diseño de pavimentos para determinar el espesor; a pesar de ello, es más práctico el uso de pruebas de resistencia a compresión para el control de calidad en la obra puesto en los ensayos de flexión son altamente vulnerables a agentes externos. En proyectos grandes, una correlación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión debe ser desarrollada mediante pruebas de laboratorio sobre la mezcla específica de concreto a ser empleada [4].

Los ensayos de flexión son muy sensibles al manipuleo y procesos de curado. Las vigas suelen ser muy pesadas y con frecuencia se alteran al transportarse desde el campo hacia el laboratorio. Permitir el secado de una viga dará como resultado resistencias bajas y el curado debe ser cuidadosamente manejado para evitar la pérdida de agua. El cumplimiento de estos requerimientos en el lugar de trabajo es muy difícil trayendo como resultado valores de MR no confiables y generalmente bajos.

Algunas agencias estatales de vías han utilizado la resistencia a la flexión, pero ahora están cambiando a la resistencia a la compresión para el control de calidad. La resistencia a compresión ha sido el método preferido de aceptación del concreto y la PCA considera a este ensayo como el más conveniente y confiable para evaluación de la resistencia del concreto en obra. La flexión puede ser usada con propósitos de diseño [5].

Muchas investigaciones se han realizado en todo el mundo para obtener valores de correlación entre MR y  $f'_c$  y todos muestran un comportamiento similar pero los valores difieren a cada localidad. Esto debido a la heterogeneidad de la materia prima empleado en cada caso y provoca grandes divergencias en sus resultados [6].

Como objetivo, la presente investigación busca analizar la existencia, de la correlación ente el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto, usando agregados de río y cemento tipo HE, materiales que son usados por la mayoría de empresas de producción de hormigón premezclado y constructores, con estos resultados obtener ecuaciones que expresen la posible relación que podamos tener entre estas dos diferentes características del concreto.

## 2. Materiales y métodos

La metodología a aplicarse se basa en la realización de mezclas de concreto con diferentes relaciones agua cemento, teniendo en cuenta la granulometría de los áridos, características del cemento, para luego realizar las roturas de los cilindros y vigas de hormigón a través de una prensa hidráulica y obtener los diferentes resultados.

El momento en que se realicen las mezclas de prueba, se deberán realizar ensayos de flexión y compresión para poder establecer la correlación entre ellos. A medida que aumenta la resistencia a la compresión del concreto, también aumenta su resistencia a la flexión. La correlación entre estos no es lineal sino más bien parabólico. Al incrementarse la resistencia a compresión la resistencia a flexión aumenta también, pero en menor proporción.

La selección de la materia prima para la elaboración del estudio se realizó de acuerdo a las minas más utilizadas en la zona de estudio para la producción de hormigón prefabricado, estableciendo las presentadas a continuación:

**Tabla 1.** Identificación de marca y procedencia de materiales escogidos para la investigación.

Material	Marca/procedencia
Árido grueso 1	Mina Mariano Heredia, río Rircay
Árido grueso 2	Mina VIPESA, río Paute
Árido fino	Mina Mariano Heredia, río Rircay
Cemento	Cemento Portland Guapán, tipo HE

Se realizaron ensayos de laboratorio para determinar las características físicas y mecánicas de los áridos seleccionados, verificando que cumplan las especificaciones establecidas en las normas [7] o su equivalente [8]. Los áridos gruesos escogidos en ambos casos tienen un tamaño máximo nominal de 19 mm y son obtenidos mediante procesos de trituración mecánica. En el caso del cemento, las características se obtuvieron directamente de los informes de laboratorio elaborados por el departamento de control de calidad de Guapán para los cementos HE que se entregan a granel a los productores de hormigón.

### 2.1 Diseño y confección de las mezclas de prueba.

Luego de la caracterización de los materiales, se realizaron mezclas con diferentes relaciones agua cemento (A/C) empezando en 0.35 y variando 0.05 hasta llegar a 0.60. El proporcionamiento de los materiales se realizó mediante el método descrito por el comité ACI 211.1, considerando una consistencia media correspondiente a un asentamiento en cono de Abrams de  $7.5 \pm 2$  cm. De cada mezcla se confeccionaron 6 vigas y 6 cilindros para ser ensayados a la flexión y compresión respectivamente, siguiendo la siguiente programación de pruebas: dos a los 7 días, dos a los 14 días y dos a los 28. Las muestras fueron debidamente identificadas y sometidas a estrictas condiciones de curado hasta su fecha de rotura; que, al cumplirse, fueron sometidas a la rotura de manera simultánea, obteniéndose pares de datos de resistencia (MR y  $f'c$ ) correspondientes a una misma mezcla de prueba.

### 2.2 Ensayos de laboratorio.

Los ensayos se realizaron bajo procedimientos establecidos en las normas [9] o su equivalente [9], [10] o su equivalente [11]. Los resultados de los ensayos de resistencia se tabularon como pares ordenados en un sistema de coordenadas rectangulares en donde el eje vertical corresponde a la resistencia a la flexión y el horizontal para la compresión. El análisis se ha dividido agrupando los datos para cada tipo de árido grueso, obteniéndose conjuntos de puntos que marcan un patrón o tendencia específica. Mediante un análisis de mínimos cuadrados se obtiene una función que representa una línea de tendencia en el conjunto de puntos, así como los coeficientes de correlación para establecer el grado de ajuste a la línea de tendencia.

El módulo de rotura puede variar entre un 10 y 20% de  $f'c$  aproximadamente; sin embargo, el comportamiento de la curva de tendencia no es lineal y se asemeja a una parábola. El Comité Europeo recomienda usar la expresión  $MR = k(f'c)^{0.5}$  donde  $k$  varía entre 2.0 y 2.7 en unidades métricas y entre 7 y 12 para las unidades inglesas (PSI). Mínimas variaciones de este valor traen

consigo considerables variaciones del número de repeticiones de carga admisibles y consecuentemente influye en el espesor de la losa. En la práctica se recomienda para establecer con cierta precisión la correlación entre MR y  $f'c$ , es realizar ensayos de laboratorio de cilindros y vigas [12].

La razón por la cual se escogió un cemento HE, en lugar de un tipo GU o tipo IP que se expende en fundas en cualquier centro ferretero, es debido a que la investigación pretende emular de la mejor manera el hormigón que es empleado en la construcción de calles y carreteras, toda vez que el mezclado manual o en mezcladoras al pie de obra prácticamente se ha extinguido. En la Tabla 2 se resumen algunas características del cemento.

Tabla 2. Características del cemento Tipo HE usado.

Material:		Cemento Portland Puzolánico Tipo HE							
Requisitos Obligatorios según norma NTE INEN 2380 - 2011 o su equivalente ASTM C1157 - 2021									
Requisitos Químicos					Requisitos Físico				
Propiedad	Método	Unidad		Resultado	Propiedad	Método	Unidad	INEN 2380	Resultado
SiO <sub>2</sub>		%	N/A	<b>28.61</b>	Finura (blaine)	INEN 196	cm <sup>2</sup> /g	N/A	<b>4957</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		%	N/A	<b>6.12</b>	Retenido en 45µm (N°. 325)	INEN 957	%	N/A	<b>1.36</b>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		%	N/A	<b>2.99</b>	Expansión en Autoclave	INEN 200	%	0.8 máx	
CaO		%	N/A	<b>53.32</b>	Contracción en Autoclave	INEN 200	%	0.2 máx	
MgO	INEN 160	%	6.0 máx	<b>1.34</b>	Fraguado Inicial	INEN 158	minutos	45 - 420	<b>167.73</b>
SO <sub>3</sub>	INEN 160	%	4.0 máx	<b>2.46</b>	Contenido de aire en mortero	INEN 195	%	12 máx	
Pérdida por calcinación	INEN 160	%	5.0 máx	<b>1.59</b>	Contenido neto en la funda	INEN 1902	kg	49.5 - 50.5	
Residuo Insoluble		%	N/A						
Requisitos Opcionales					Resistencia a la Compresión				
Propiedad	Método	Unidad		Resultado	Propiedad	Método	Unidad	INEN 2380	Resultado
Expansión barra de mortero (14 días)	INEN 867	%	0.2	<b>N/D</b>	1 día	INEN 488	Mpa	12.0 mín	<b>17.21</b>
Expansión barra de mortero (8 semanas)	INEN 867	%	0.06	<b>N/D</b>	3 días	INEN 488	Mpa	24.0 mín	<b>25.64</b>
Resistencia a sulfatos. Expansión a 180 días	INEN 2503	%	0.10 máx	<b>N/D</b>	7 días	INEN 488	Mpa	N/A	<b>32.27</b>
					28 días	INEN 488	Mpa	N/A	<b>40.85</b>
<b>PUZOLANA: Requisitos físicos</b>									
					Retenido en 45µm (N°. 325)	INEN 957	%	20 máx	<b>17.9</b>
					Índice de actividad puzolánica	INEN 490	%	75 mín	<b>82.8</b>
El cemento puzolánico Tipo HE, <b>CUMPLE</b> con las especificaciones de la NTE INEN 2380 o su equivalente ASTM C1157 para cemento hidráulico compuesto.									

El árido fino seleccionado proviene de la zona del río Rircay, del cantón Santa Isabel. La arena del río Paute, tradicionalmente empleada durante mucho tiempo en las construcciones locales, cuyos requisitos granulométricos se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3. Granulometría del árido fino.

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL.	% PASA	NORMA INEN 872 - ASTM C33		CUMPLE NORMA
ISO	ASTM							
1/2"	12.5 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	<b>Cumple</b>
3/8"	9.5 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	<b>Cumple</b>
4	4.8 mm	12.40	0.89	0.89	99.11	95	100	<b>Cumple</b>
8	2.4 mm	115.40	8.30	9.19	90.81	80	100	<b>Cumple</b>
16	1.2 mm	223.20	16.04	25.23	74.77	50	85	<b>Cumple</b>
30	(590 µ)	278.80	20.04	45.27	54.73	25	60	<b>Cumple</b>
50	(297 µ)	345.50	24.84	70.11	29.89	10	30	<b>Cumple</b>
100	(149 µ)	284.50	20.45	90.56	9.44	2	10	<b>Cumple</b>
Fondo	Fondo	131.30	9.44	100.00	0.00			
<b>TOTAL:</b>		1391.10						
Peso de la muestra		1391.10						
% de pérdidas		0.03						
<b>Módulo de Finura</b>		<b>2.41</b>	<b>CUMPLE</b>					

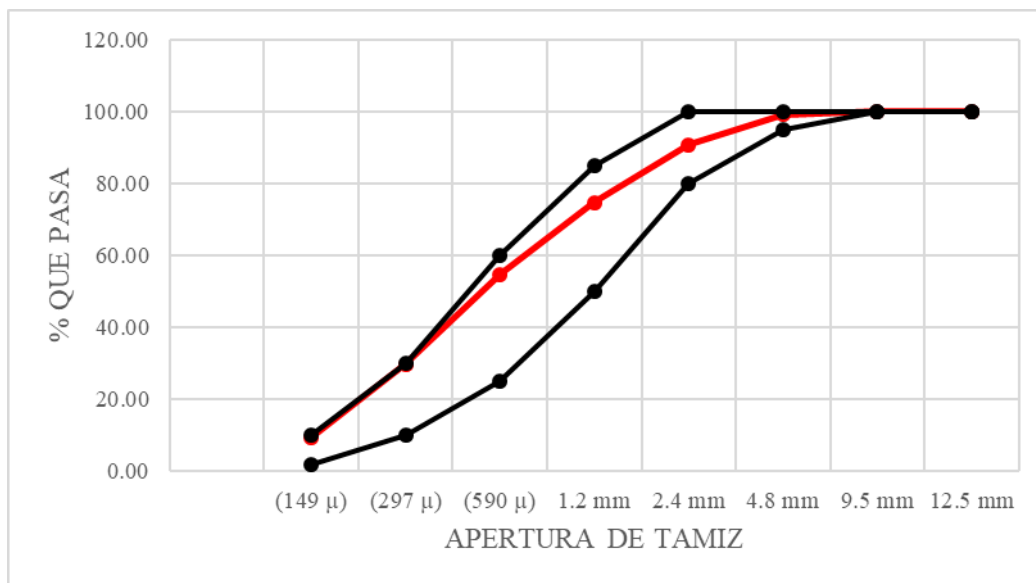


Figura 1. Curva Granulométrica del árido fino.

En cuanto al árido grueso, se obtuvieron materiales provenientes tanto del río Rircay, cuanto del río Paute. Las diferencias que se pudieron advertir entre los dos no fue notablemente marcada, excepto por la forma del árido que depende fundamentalmente de los procesos de trituración. Así, en el caso del árido de Paute su coeficiente volumétrico, obtenido mediante proceso establecido en la norma francesa AFNOR P 18301, es de 0.31, mientras que el correspondiente al de Rircay es de 0.22. La granulometría de ambos tipos de áridos cumple con condiciones granulométricas y de abrasión, de acuerdo a las especificaciones [13,14]

En cuanto a la densidad, el árido de Paute es ligeramente más denso que el del Río Rircay, aunque con diferencias menores al 3%. Las densidades se determinaron mediante el procedimiento descrito en la norma [15,16] y sus valores se muestran en la Tabla 4:

Tabla 4. Densidad relativa aparente áridos gruesos.

Mina	Procedencia	Densidad Relativa Aparente
Mariano Heredia	Rircay	2.69
Vipesa	Paute	

Con los materiales debidamente caracterizados, se realizó el diseño de las mezclas, basándose en el método de volúmenes absolutos del ACI 211.1, para cada una de las mezclas y áridos. Se calcularon las proporciones de los materiales sin contar con ningún tipo de aditivo y con una plasticidad media de  $7.5 \pm 2$  cm, ideal para logra una buena compactación sin llegar a mezclas exageradamente fluidas.

Tabla 5. Proporciones de las mezclas para las pruebas.

N°	Árido fino	Árido grueso	Asentamiento mm	A/C	Cemento kg/m <sup>3</sup> de H°	Árido Grueso kg/m <sup>3</sup> de H°	Árido fino kg/m <sup>3</sup> de H°	Agua kg/m <sup>3</sup> de H°
1	Rircay	Paute	75±2	0.35	571.43	922.01	564.87	200
2	Rircay	Paute	75±2	0.40	500.00	922.01	626.47	200

3	Rircay	Paute	75±2	0.45	444.44	922.01	674.39	200
4	Rircay	Paute	75±2	0.50	400.00	922.01	712.71	200
5	Rircay	Paute	75±2	0.55	363.64	922.01	744.07	200
6	Rircay	Paute	75±2	0.60	333.33	922.01	770.21	200
7	Rircay	Rircay	75±2	0.35	571.43	922.01	584.32	200
8	Rircay	Rircay	75±2	0.40	500.00	922.01	645.49	200
9	Rircay	Rircay	75±2	0.45	444.44	922.01	689.52	200
10	Rircay	Rircay	75±2	0.50	400.00	922.01	705.46	200
11	Rircay	Rircay	75±2	0.55	372.73	922.01	756.68	205
12	Rircay	Rircay	75±2	0.60	333.33	922.01	781.56	200

Con las mezclas realizadas según el diseño correspondiente, ajustadas según las condiciones de humedad de los áridos, se elaboraron 6 cilindros y 6 vigas para cada revoltura, de acuerdo a los descrito en la norma [17]. En el caso de las muestras cilíndricas, se emplearon moldes de 15 x 30 cm, llenados en 3 capas de igual altura y compactados manualmente con varilla de 5/8". Para las vigas, se usaron moldes de 15 x 15 x 60 cm, llenados en dos capas y compactados manualmente con varilla, aplicando 65 golpes por cada capa.

Las muestras, una vez elaboradas, fueron dejadas sobre una superficie horizontal, a la sombra, bajo cubierta y recubiertas con láminas de polietileno para evitar la pérdida superficial de humedad y durante el tiempo mínimo hasta poder ser desmoldadas y dejar en curado hasta la fecha de su rotura.

Una vez que las muestras alcanzaron la resistencia suficiente para ser desmoldadas, fueron depositadas en piletas con agua para garantizar su curado hasta la fecha de rotura.

Se tomaron temperaturas del agua a diferentes horas, advirtiéndose que esta varía según la hora del día y las condiciones meteorológicas, estableciéndose un rango entre 15 y 20°C. Para evitar distorsiones en la velocidad del desarrollo de las resistencias por bajas temperaturas, se usaron calentadores de agua eléctricos para garantizar la temperatura del agua del estanque dentro del rango que sugiere la norma; es decir, entre 21 y 25°C, según lo descrito en la norma [17].



**Figura 2.** Control de temperatura del agua de curado.

Una vez que las muestras alcanzaron la edad programada para el ensayo de rotura, fueron sacadas de la pileta, secadas superficialmente, pesadas y medidas. En el caso de las muestras



cilíndricas se realizó el refrentado con mortero de azufre, conforme a lo descrito en la norma [18,19].

En el caso de las muestras prismáticas, el ensayo de flexión no requiere de refrentado, aunque es necesario que las vigas se coloquen giradas 90° en relación a la posición en la que fueron elaboradas.



Figura 3. Refrentado de muestras.

La resistencia de las muestras se determinó mediante los ensayos descritos en las normas [9] y [10,11], para la determinación de su capacidad a compresión y flexión respectivamente. La prensa empleada para estos ensayos está provista de un sistema hidráulico accionado por un mecanismo electrónico, programado para cada tipo de ensayo y que permite que la velocidad de transmisión de carga se lo realice de acuerdo a la norma correspondiente.

En el caso del ensayo de flexión, se ha tomado muy en cuenta la recomendación de tener cuidado con las muestras en cuanto a la pérdida de humedad que podría provocar microgrietamiento en las probetas, volviéndose muy susceptibles al ensayo y alterar los resultados.



Figura 4. Rotura de muestras.

### 3. Resultados

Los datos obtenidos de las resistencias se ordenaron como pares ordenados de la forma ( $f'_c$ , MR), obteniéndose una nube de puntos con una cierta tendencia. Basándose en el método de



mínimos cuadrados se realizaron ajustes a distintos tipos de curvas y comparando el valor de correlación en cada caso, consiguiéndose el mejor ajuste en una curva de tipo exponencial.

En las siguientes gráficas se visualizan las tendencias de los datos correspondientes a los ensayos de rotura para los hormigones fabricados con áridos gruesos de Rircay y Paute respectivamente. Puede apreciarse en ambas gráficas que a medida que la resistencia a la compresión se incrementa, el módulo de rotura también, pero a una tasa menor.

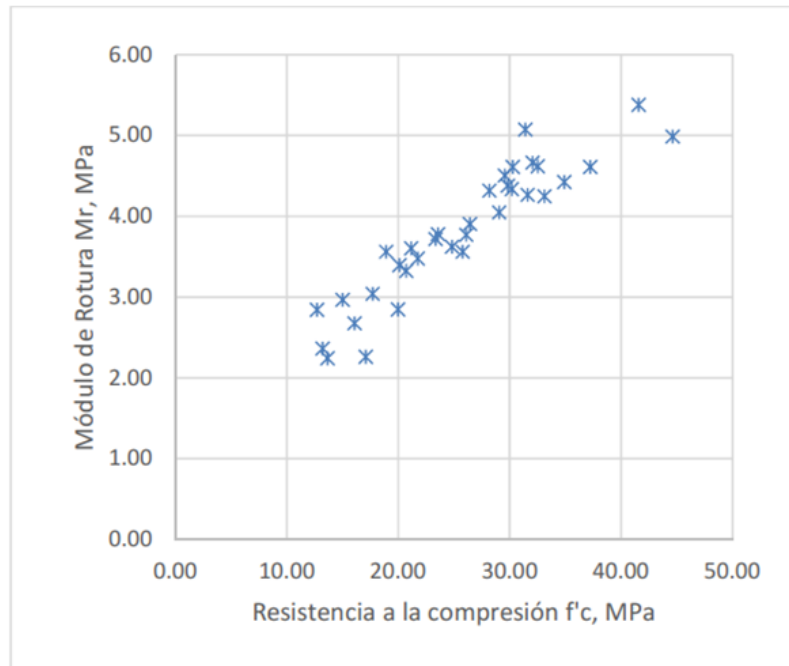


Figura 5. Gráfico de los ensayos de compresión y flexión de los hormigones fabricados con el árido grueso de Rircay.

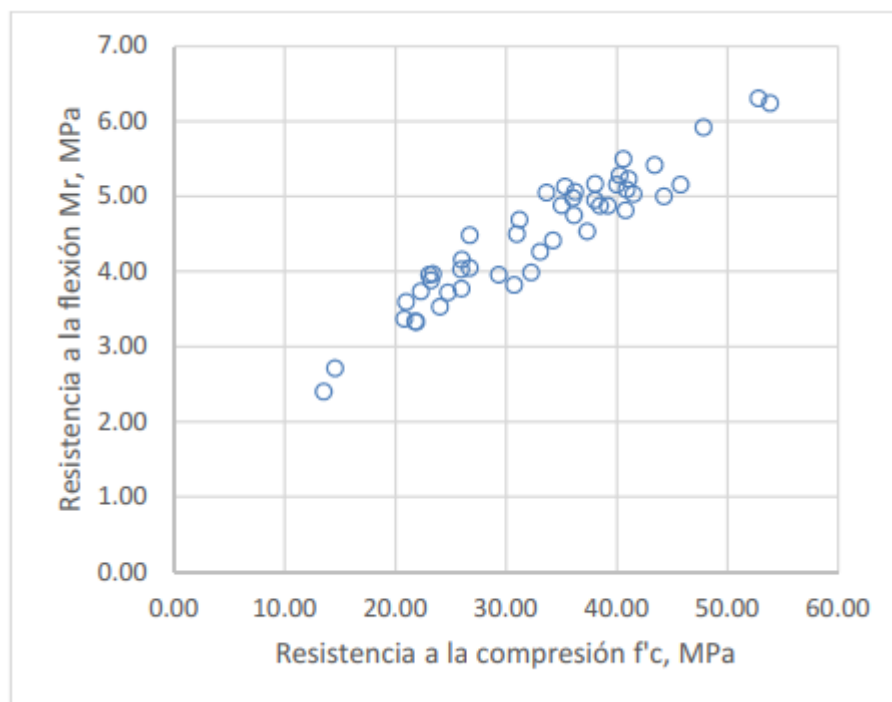


Figura 6. Gráfico de los ensayos de compresión y flexión de los hormigones fabricados con el árido grueso de Paute.

Al aplicar el criterio de ajuste lineal o no-lineal a curvas de tendencia, se obtuvieron las curvas que se muestran a continuación:

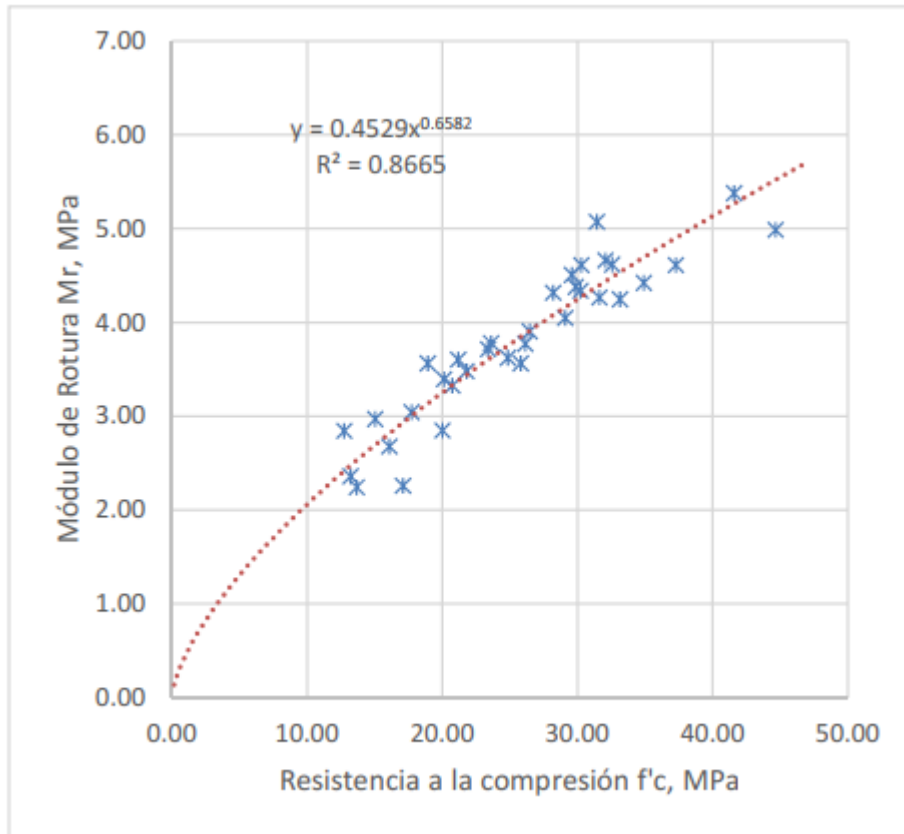


Figura 7. Función de ajuste para las mezclas con árido de Rircay.

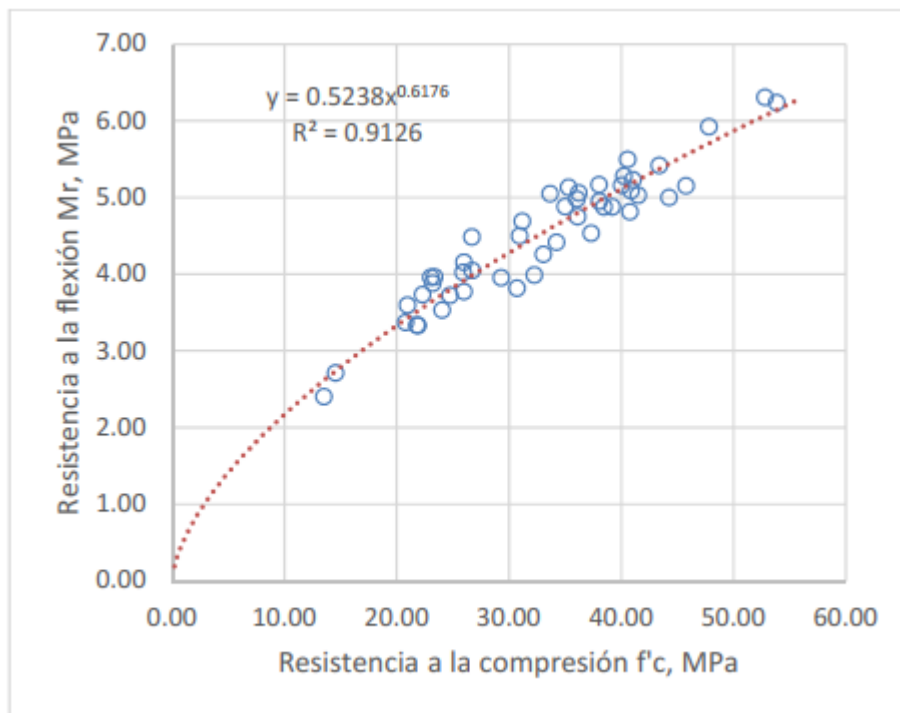


Figura 8. Función de ajuste para las mezclas con árido de Paute.

Al comparar las ecuaciones, se puede apreciar que ambas se ajustan a una curva de tipo exponencial de gran similitud entre sí. Por esta razón, se realizó una conjunción de datos con los

dos tipos de áridos, obteniéndose como resultado una curva con un muy buen coeficiente de correlación.

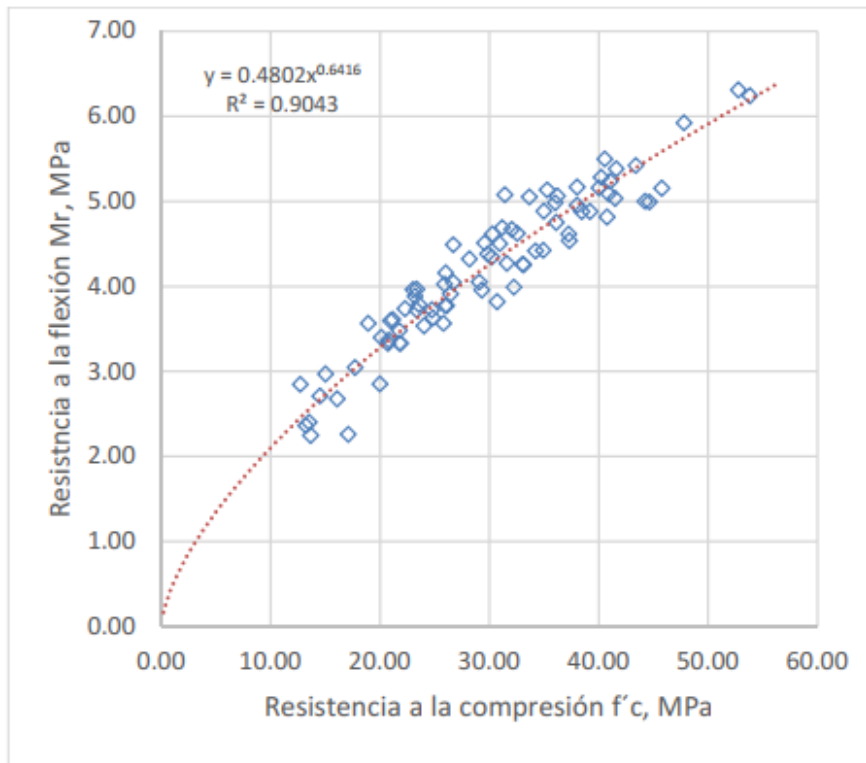


Figura 9. Función de ajuste para ambos casos.

Las ecuaciones de mejor ajuste para los diferentes casos son:

Tabla 6. Cuadro resumen de las ecuaciones de correlación.

Descripción	Ecuación	R2
Árido fino y árido grueso obtenidos de las minas de Santa Isabel. Mr y f'c en Mpa.	$M_r = 0.4529f'_c^{0.6582}$	0.867
Árido fino de VIPESA y árido fino de Santa Isabel. Mr y f'c en Mpa.	$M_r = 0.5238f'_c^{0.6176}$	0.913
Ecuación con los resultados combinados de ambas fuentes de materiales. Mr y f'c en Mpa.	$M_r = 0.4502f'_c^{0.6416}$	0.904

#### 4. Discusión

Teniendo en consideración que el diseño del hormigón va a depender mucho del elemento que se quiera fundir, se debe tener en cuenta las condiciones a las que vamos a probar el concreto, es decir, que al no existir una semejanza en la tasa de crecimiento de la resistencia a flexión como la de compresión, no podemos hacer una relación entre sí, se debe realizar las pruebas correspondientes para el diseño de hormigón pre establecido, lo que quiere decir que si

el diseño del concreto para una estructura como una edificación fue analizado a compresión, pues sus ensayos de calidad o resistencia debe ser para compresión, de igual manera si para una vía durante el diseño se consideró con un concreto a flexión, el mismo debe ser analizado y probado a flexión o en el caso que durante el diseño de la estructura de pavimento se consideró el hormigón a compresión, este debe ser netamente analizado para esta característica y no mezclar las diferentes consideraciones ya que no podremos tener una validez de la información obtenida durante los ensayos de laboratorio.

Otros autores como Supe & Gupta, manifiestan que la resistencia a la flexión (MR) es aproximadamente del 10 al 20 por ciento de la resistencia a la compresión, dependiendo del tipo, tamaño y volumen del agregado grueso utilizado. Sin embargo, la mejor correlación para materiales específicos se obtiene mediante pruebas de laboratorio para los materiales y el diseño de mezclas dados, dando validez a lo obtenido en esta investigación [5].

## 5. Conclusión

No existe una correlación lineal entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura del hormigón por lo que, no es correcto tomar el valor del segundo como una fracción del primero.

Las variaciones de los resultados de los dos tipos de áridos son pequeñas y su combinación de buenos resultados para la representación general de la correlación entre Mr y f'c para los hormigones fabricados con estos materiales.

Los resultados obtenidos en esta investigación corroboran las teorías desarrolladas por otros autores, demostrándose que la tasa de crecimiento de la resistencia a la compresión no es la misma que la de la flexión, descartando la posibilidad de una correlación lineal entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión, ratificando que esta correlación se ajusta mejor a una función de tipo exponencial de la forma  $M_r = a [f'c]^n$  de acuerdo a las ecuaciones.

**Contribución de autores:** conceptualización, J.C., D.Q.; metodología, J.C., D.Q.; software, J.C., D.Q.;

validación, J.C., D.Q.; análisis formal, J.C., D.Q.; investigación, J.C., D.Q.; recursos, J.C., D.Q.; curaduría de datos, J.C., D.Q.; redacción-revisión y edición, D.Q.; visualización, J.C., D.Q.; supervisión, J.C.; administración de proyectos, J.C., D.Q.; adquisición de fondos, J.C., D.Q.

**Financiamiento:** Los autores financiaron a integridad el estudio.

**Conflictos de interés:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias

1. Iñiguez, J.B. Análisis de esfuerzos en pavimentos de concreto tipo whitetopping: caso de estudio vía Biblián-Zhud. *Maskana* **2021**, *12*, 80–87.
2. Cubas Pérez, C.; Tafur Campos, N.N. Correlación entre el esfuerzo de compresión y el módulo de rotura en concretos autocompactantes, utilizando agregados de las canteras Tres Tomas y La Victoria de la región Lambayeque y su aplicación en pavimentos rígidos. **2020**.
3. Aflakisamani, M.; Mousa, S.; Mohamed, H.M.; Ahmed, E.A.; Benmokrane, B. Design and Testing of Lightweight Self-Consolidating Concrete Bridge-Deck Slabs Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer Bars. *ACI Struct. J.* **2023**, *120*.
4. Magnan, A.K.; Schipper, E.L.F.; Duvat, V.K.E. Frontiers in climate change adaptation science: advancing guidelines to design adaptation pathways. *Curr. Clim. Chang. Reports*

- 2020, 6, 166–177.
5. Hassan, A.; Galal, S.; Hassan, A.; Salman, A. Utilization of carbon nanotubes and steel fibers to improve the mechanical properties of concrete pavement. *Beni-Suef Univ. J. Basic Appl. Sci.* **2022**, *11*, 121.
  6. Landino, M.R. Un acercamiento a las técnicas pictóricas de las pinturas rupestres prehispánicas de La María, meseta central de la pagatonía, provincia de Santa Cruz. **2020**.
  7. INEN NTE INEN 872:2011. *Áridos para hormigón. Requisitos.*; 2011;
  8. Habib, A.; Yildirim, U.; Eren, O. Mechanical and dynamic properties of high strength concrete with well graded coarse and fine tire rubber. *Constr. Build. Mater.* **2020**, *246*, 118502.
  9. ASTM, C. 39/C39 M–10.(2010). Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. In Proceedings of the American Society for Testing and Materials; 2021.
  10. INEN INEN 2554, *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón.*; 2011;
  11. ASTM ASTM C78, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). **2022**.
  12. Yépez, L.L.; Herrera, A.D.; Aviña, J.G. Estado del desarrollo y aplicaciones de la tecnología del concreto. *Cienc. Nicolaita* **2022**.
  13. INEN INEN 2380, Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. **2011**.
  14. ASTM ASTM C1157, *Standard Performance Specification for Hydraulic Cement*, 2021;
  15. INEN INEN 857, Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. **2010**.
  16. ASTM ASTM C127, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. **2016**.
  17. ASTM ASTM C192, *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*, 2020;
  18. INEN INEN 2649, *Hormigón de cemento hidráulico. Refrentado de especímenes cilíndricos para la determinación de la resistencia a la compresión*; 2012;
  19. ASTM ASTM C617, Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens. **2016**.



© 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>