

Correlation between compression and flexure strength of concrete, applying accelerating additive at ages from 3 to 180 days

Hansel Leonardo Peralta Quiroz, Ing.¹; Hermes Roberto Mosqueira Ramírez Dr.²

¹ Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. hperaltaq_epg22@unc.edu.pe

² Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. hmosqueira@unc.edu.pe

Abstract– Concrete continues to be the most used material in civil constructions; in certain locations there are some conditions that make the use of chemical additives essential, such as accelerating additives; This additive is widely used, but its influence on resistance at ages after 28 days is unknown. Likewise, it is known that flexural resistance is a property directly related to compression resistance; However, it is unknown what correlation exists between these for a type of concrete and at different ages. This research presents the results of the study carried out to determine the correlation between the compressive and flexural strength of concrete f'_c 27,46 MPa, applying accelerator additive, in the city of Cajamarca. The evaluation was carried out by calculating the correlation between the results of flexural and compression resistance of standard concrete, concrete with 2,50% accelerating additive and concrete with 4,00% accelerating additive, at 6 ages of concrete in the hardened state (3, 7, 28, 60, 90 and 180 days). To determine the correlation, 30 standard cylindrical specimens and 18 beams were made for each treatment, tested in compression and flexion at ages of 3, 7, 28, 60, 90 and 180 days, with a total of 144 specimens. From the results, the correlation was calculated, concluding that there is a correlation between both resistances, with the resistances being exponentially greater over time.

Key word: Concrete, self-construction, compression resistance, superplasticizer additive, workability

Correlación entre la resistencia a compresión y flexión de concreto, aplicando aditivo acelerante en edades de 3 a 180 días

Hansel Leonardo Peralta Quiroz, Ing.¹; Hermes Roberto Mosqueira Ramírez Dr.²

¹ Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. hperaltaq_epg22@unc.edu.pe

² Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. hmosqueira@unc.edu.pe

Resumen– El concreto sigue siendo el material más empleado en las construcciones civiles, en ciertas localidades hay algunas condiciones que hacen indispensable el empleo de aditivos químicos, tal como el aditivo acelerante; este aditivo es muy empleado, pero se desconoce su influencia en resistencias en edades posteriores a los 28 días, así mismo, se conoce que la resistencia a flexión es una propiedad directamente relacionada a la resistencia a compresión; sin embargo, se desconoce cuál es la correlación que existe entre estas para un tipo de concreto y a distintas edades. Esta investigación expone los resultados del estudio realizado para determinar la correlación entre la resistencia a compresión y flexión de concreto $f'c$ 27,46 MPa, aplicando aditivo acelerante, en la ciudad de Cajamarca. La evaluación se realizó calculando la correlación existente entre los resultados de resistencia a flexión y compresión de concreto patrón, concreto con 2,50% de aditivo acelerante y concreto con 4,00% de aditivo acelerante, en 6 edades del concreto en estado endurecido (3, 7, 28, 60, 90 y 180 días). Para determinar la correlación se elaboraron 30 especímenes cilíndricos estándar y 18 vigas por cada tratamiento, ensayados a compresión y flexión en edades de 3, 7, 28, 60, 90 y 180 días, siendo un total de 144 especímenes. A partir de los resultados, se calculó la correlación, concluyendo que, existe una correlación entre ambas resistencias, siendo las resistencias exponencialmente mayores a través del tiempo.

Palabras clave: Concreto, resistencia a compresión, resistencia a flexión, aditivo acelerante, edad del concreto

I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación determinó la correlación existente entre la resistencia a compresión y flexión de concreto de $f'c$ de 27,46 MPa, empleando aditivo acelerante en dosificaciones de 2,50% y 4,00% de peso del cemento.

Se estudió el concreto diseñado para un $f'c$ de 27,46 MPa, con cemento Tipo I y con agregados de una cantera local de la ciudad de Cajamarca, los cuales cumplen con los requisitos especificados por normas técnicas para las propiedades físicas y mecánicas a emplear en diseño de mezclas de concreto, así mismo empleando agua potable, la cual cumple con requisitos establecidos para su uso en la elaboración de concreto.

Para esta investigación se consideró al concreto original como muestra patrón y dos tipos de concreto con diferentes dosificaciones de aditivo acelerante tipo C, según la ASTM C494; para lo cual se elaboraron especímenes cilíndricos estándar con lo que se determinó la resistencia a compresión y vigas para determinar la resistencia a flexión o también conocida como módulo de rotura, considerando edades de

ensayo, desde los 3 días hasta los 180 días, con lo que se determinó la correlación existente y al mismo tiempo la influencia que tiene el aditivo acelerante en el concreto a través del tiempo. [1]

El concreto sigue siendo uno de los materiales de construcción más empleados en el mundo y como tal, esto es observable en prácticamente cualquier obra civil existente y en proceso. Sin embargo, el concreto demanda de condiciones ideales para su elaboración, colocación, tiempos de fraguado y de curado; y las condiciones de obra siempre son distintas y no suelen ser las ideales. [2]

Un escenario típico son las construcciones en ubicaciones que presentan climas fríos (cuando la temperatura promedio es menos de 5°C en más de 3 días consecutivos) y hay presencia de lluvias intensas, frente a esta necesidad existen alternativas de solución tales como los aditivos químicos que se adicionan al concreto con el fin de mejorar algunas propiedades físicas y químicas, uno de estos, es el acelerante de fragua en el concreto, el cual genera un mayor calor de hidratación en el concreto, logrando menores tiempos de desencofrado y resistencias a compresión más elevadas en edades tempranas del concreto en estado endurecido. [3]

Otra de las situaciones que provocan un escenario con condiciones no ideales para la elaboración del concreto es la demanda de menores tiempos de desencofrado, en casos como la fabricación de elementos prefabricados, pretensados, postensados, o cuando es imperioso elaborar elementos estructurales que demandan grandes volúmenes de concreto como en buzones, tubos, alcantarillados, pavimentos, etc. En estos contextos también se hace indispensable un fraguado y curado más rápido del concreto, a lo que se hace uso del aditivo acelerante de fraguado. [4]

Como tal se conoce que el aditivo acelerante de fraguado evita que las temperaturas frías disminuyan el calor de hidratación y así prolongue el tiempo de fraguado del concreto, incrementando el desarrollo de las resistencias tempranas. Este concepto ha sido desarrollado en muchas investigaciones en el Perú y Latinoamérica, estudiando el desarrollo de las resistencias en edades tempranas como 1 a 7 días, por el contrario, edades posteriores a los 7 o 28 días han sido muy poco observadas, con lo que se planteó en esta investigación el estudio del comportamiento de resistencias mecánicas como la compresión y flexión desde edades de 3 o 7 días, hasta edades posteriores a los 28 días, como los 60, 90 y 180 días, con el fin de complementar y observar el comportamiento de estas resistencias cuando el concreto

realmente se encuentra funcionando estructuralmente de acuerdo a su vida útil. [3]

La resistencia a compresión es la propiedad más representativa del concreto, pero en casos como el diseño de pavimentos rígidos se considera la resistencia a flexión o módulo de rotura como la propiedad representativa de diseño, por lo que se hace indispensable su cálculo mediante ensayos de laboratorio, el módulo de rotura se relación directamente a la resistencia de compresión; sin embargo, esta relación no es necesariamente constante en diferentes condiciones, esta relación presenta diferencias significativas en relación a su edad. Frente a lo cual para un diseño de mezcla de concreto empleando cemento Tipo I y con agregados de río de una cantera local se determinó la correlación existente entre estas resistencias y las diferentes edades, haciendo uso también de aditivo acelerante Tipo G. [5]

El aditivo acelerante es muy conocido y empleado en numerosas construcciones, pero aún existe desconfianza en considerable parte del sector construcción sobre cómo el aditivo acelerante influye en las resistencias en edades posteriores a los 28 días. También se desconoce la relación que existe entre la resistencia a compresión y flexión, siendo la segunda una propiedad importante en el diseño de pavimentos rígidos, donde es común al mismo tiempo emplear este tipo de aditivo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio tiene un diseño experimental cuantitativo de nivel correlacional con corte transversal, porque se generó la interacción de las variables independientes: la dosificación del aditivo acelerante y la edad del concreto, con las variables dependientes: resistencia a compresión y flexión del concreto. Determinando la correlación existente entre las dos variables dependientes a partir de las variables independientes. El método de investigación tiene enfoque cuantitativo, con el propósito de medir las variables del estudio a través de técnicas e instrumentos de normas.

A. Materiales:

- Agregado grueso
- Agregado fino
- Cemento Tipo I
- Agua
- Sikacem Acelerante PE

B. Tratamientos en estudio:

- Tratamiento 1: es el concreto patrón, son especímenes cilíndricos estándar y vigas de concreto, sin modificar la dosificación original de diseño.
- Tratamiento 2: es el concreto que tiene aditivo acelerante en proporción de 2,50% del peso del cemento.
- Tratamiento 3: es el concreto que tiene aditivo acelerante en proporción de 4,00% del peso del cemento.

Los 03 tratamientos fueron estudiados en 06 edades del concreto en estado endurecido: 3, 7, 28, 60, 90 y 180 días.

C. Muestra:

Se tuvo como población de estudio al conjunto de especímenes de concreto de $f'c$ 27,47 MPa con cemento Tipo I, de las cuales se tomaron como muestra un total de 90 especímenes cilíndricos estándar de concreto de 6x12 pulgadas y 54 vigas de concreto con en moldes rectangulares de dimensiones de 6x6x20 pulgadas.

El tipo de muestro para el estudio fue no probabilístico, por criterio del investigador, considerando las unidades experimentales necesarias de acuerdo a la Norma Técnica Peruana 339.034 [6], y también se tomó en cuenta el criterio de determinación de tamaño de la muestra por Martínez [7], considerando un error del 8% y un coeficiente de variación máximo del 7%, cumpliendo esos criterios tenemos la muestra.

TABLA I
CANTIDAD DE ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN.

Edad de ensayo	Cantidad de Especímenes de Concreto					
	Compresión			Flexión		
	Patrón	2,50% aditivo	4,00% aditivo	Patrón	2,50% aditivo	4,00% aditivo
3 días	5	5	5	3	3	3
7 días	5	5	5	3	3	3
28 días	5	5	5	3	3	3
60 días	5	5	5	3	3	3
90 días	5	5	5	3	3	3
180 días	5	5	5	3	3	3
Sub Total	30	30	30	18	18	18
TOTAL	144					

D. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Para el análisis de los agregados empleados y el ensayo de los especímenes de concreto se utilizaron las siguientes normas técnicas:

- Peso Unitario Suelto (NTP 400.017, NTP 400.037)
- Peso Unitario Compactado (NTP 400.017, NTP 400.037)
- Peso Específico y Absorción (%) (NTP 400.021)
- Contenido de Humedad (%) (NTP 339.185)
- Material más fino que pasa el tamiz N°200 (NTP 400.018)
- Ensayo de abrasión (NTP 400.019)
- Análisis granulométrico de agregado grueso (NTP 400.012)
- Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio (NTP 339.183)
- Ensayo normalizado para la resistencia a compresión del concreto, en muestras cilíndricas (NTP 339.034)
- Ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo (NTP 339.078 2012)

E. Técnicas de recopilación y tratamiento de información:

En este estudio se utilizó una Ficha de Toma y Recolección de datos para el recojo de información en los ensayos de laboratorio correspondientes, con el objetivo de registrar información tal como la fecha de muestreo, fecha de ensayo, dosificación, asentamiento, dimensiones de los especímenes, peso, altura, carga máxima o carga de rotura, excentricidad de la línea de falla y el tipo de falla.

Para el procesamiento de la información cuantitativa de la investigación se aplicó un análisis de varianza, conocido como ANOVA, de un factor al tratarse de tres tratamientos con dos variables dependientes y la edad como variable independiente. Así mismo se determinó la correlación existente entre estas variables, con el análisis de la Correlación de Pearson con un nivel de confianza del 95%. Para este procesamiento se hizo uso del software Minitab 18, este programa nos da gráficas de:

- *Gráfica de matriz*

Esta gráfica proporciona un análisis de la correlación entre las variables estudiadas, generando ajustes de regresión aproximados con funciones lineales, cuadráticas y cúbicas para el análisis del modelo, aplicando también un suavizador para las 6 edades en estudio, mediante la Correlación de Pearson con una confiabilidad del 95%, generando el factor de correlación.

- *Gráfica de línea ajustada*

Esta gráfica proporciona un resumen gráfico de la correlación establecida entre las dos variables. Permitiendo comparar de manera sencilla la forma, trazando gráficas lineales, cuadráticas y cúbicas que se ajusten al modelo. Finalmente determinando la correlación ajustada establece una ecuación de regresión para estas dos variables.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de los datos recogidos en la Ficha de Toma y Recolección de datos y posteriormente procesados en el software Minitab 18 se muestran en las siguientes gráficas:

3.1. Promedio de las resistencias a compresión y flexión del concreto patrón

TABLA II
RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DEL CONCRETO PATRÓN.

Edad	Resistencia a compresión (MPa)	Resistencia a flexión (MPa)
3 días	20,15	3,29
7 días	27,69	3,71
28 días	34,01	3,33
60 días	39,94	3,72
90 días	40,04	4,47
180 días	43,52	4,92

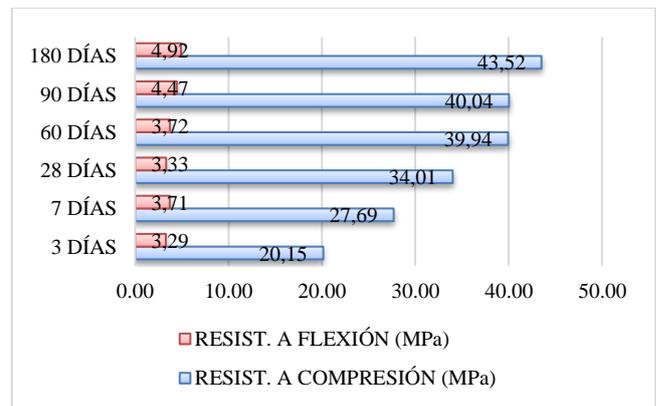


Fig. 1 Gráfica de las resistencias del concreto patrón

En la Tabla II y la Fig. 1 se observa los resultados promedio de la resistencia a compresión y flexión del concreto patrón, donde se visualiza un incremento constante de la resistencia a compresión a través del tiempo, mientras que en la resistencia a flexión hay una disminución en la resistencia a los 28 días, sin embargo, esta resistencia sigue incrementando hasta los 180 días; además se observa que a los 180 días el concreto patrón alcanza un 158,49% de su resistencia de diseño.

3.2. Promedio de las resistencias a compresión y flexión del concreto con 2,50% de aditivo acelerante

TABLA III
RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DEL CONCRETO CON 2,50% DE ADITIVO ACELERANTE

Edad	Resistencia a compresión (MPa)	Resistencia a flexión (MPa)
3 días	21,17	3,41
7 días	27,17	3,60
28 días	32,95	3,29
60 días	38,64	3,95
90 días	38,54	4,61
180 días	40,47	5,03

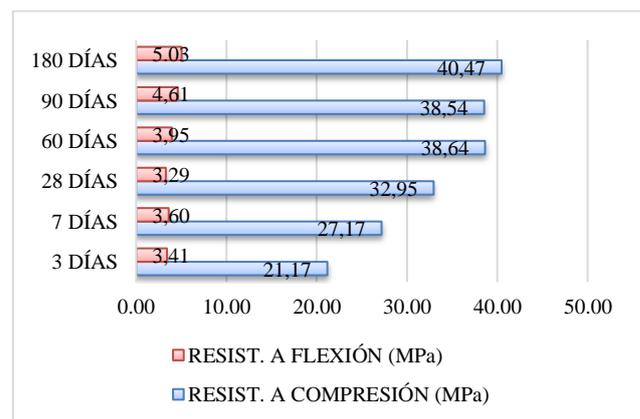


Fig. 2 Gráfica de las resistencias del concreto con 2,50% de aditivo acelerante

En la Tabla III y la Fig. 2 se observa los resultados promedio de la resistencia a compresión y flexión del concreto con 2,50% de aditivo acelerante, donde se visualiza un incremento constante de la resistencia a compresión a través del tiempo, mientras que en la resistencia a flexión hay una disminución en la resistencia a los 28 días, sin embargo,

esta resistencia sigue incrementando hasta los 180 días; además se observa que a los 180 días el concreto patrón alcanza un 147,38% de su resistencia de diseño.

3.3. Promedio de las resistencias a compresión y flexión del concreto con 4,00% de aditivo acelerante

TABLA IV
RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DEL CONCRETO CON 4,00% DE ADITIVO ACELERANTE

Edad	Resistencia a compresión (MPa)	Resistencia a flexión (MPa)
3 días	21,42	3,46
7 días	25,29	3,47
28 días	30,57	3,45
60 días	34,41	3,90
90 días	36,31	4,42
180 días	38,64	4,72

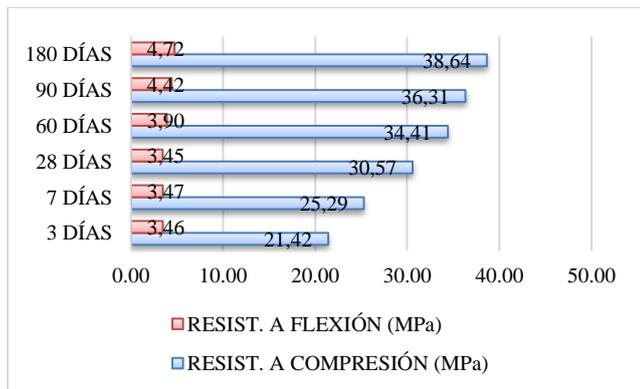


Fig. 3 Gráfica de las resistencias del concreto con 4,00% de aditivo acelerante

En la Tabla IV y la Fig. 3 se observa los resultados promedio de la resistencia a compresión y flexión del concreto con 4,00% de aditivo acelerante, donde se visualiza un incremento constante de la resistencia a compresión a través del tiempo, mientras que en la resistencia a flexión hay una disminución en la resistencia a los 28 días, sin embargo, esta resistencia sigue incrementando hasta los 180 días; además se observa que a los 180 días el concreto patrón alcanza un 140,71% de su resistencia de diseño.

De las Tablas 2, 3 y 4 se observa que el incremento de la resistencia a compresión es mayor a través del tiempo en el concreto patrón, solo siendo superada por el concreto con aditivo acelerante en la edad de 3 días. Mientras que en la resistencia a flexión el concreto con 2,50% de aditivo acelerante es el que muestra un mayor incremento a través del tiempo.

De las Fig. 1, 2 y 3 se visualiza que existe una relación directa entre la resistencia a compresión y flexión de los tres tratamientos de concreto.

3.4. Correlación del concreto patrón

3.4.1. Gráfica de matriz de Resistencia a compresión vs Resistencia a Flexión para el concreto patrón

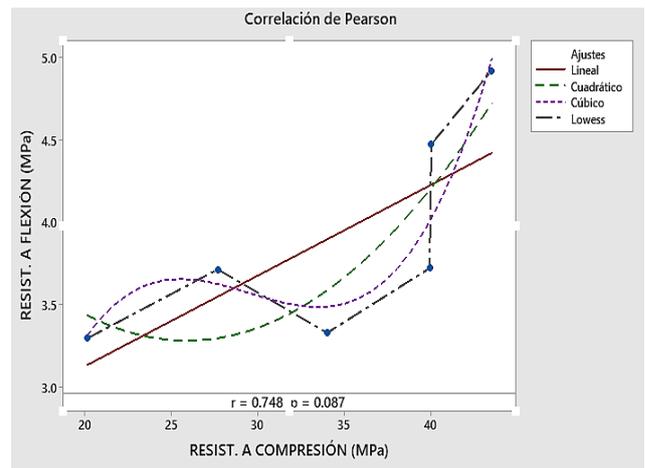


Fig. 4 Gráfica de matriz de correlación de Pearson para el concreto patrón

Método:

Tipo de correlación Pearson

Filas utilizadas 6

ρ : correlación en parejas de Pearson

TABLA V
FACTOR DE CORRELACIÓN

	Resist. a compresión (MPa)
Resistencia a flexión (MPa)	0,748

TABLA VI
CORRELACIONES EN PAREJAS DE PEARSON

Muestra 1	Muestra 2	Correlación	IC de 95% para ρ	Valor p
Resistencia a flexión (MPa)	Resistencia a compresión (MPa)	0,748	(-0,162, 0,970)	0,087

En la Fig. 4 se visualiza la correlación de Pearson, trazadas también ajustes de gráfica lineal, cuadrática y cúbica aproximadas para esta correlación, mostrando también una gráfica suavizada.

En las Tablas V y VI, muestran datos obtenidos de la correlación de Pearson, siendo el factor de correlación 0,748, superior a 0 y aproximado a 1, lo cual es un índice de que existe una correlación entre estas dos variables para un intervalo de confianza del 95%.

3.4.2. Gráfica de línea ajustada

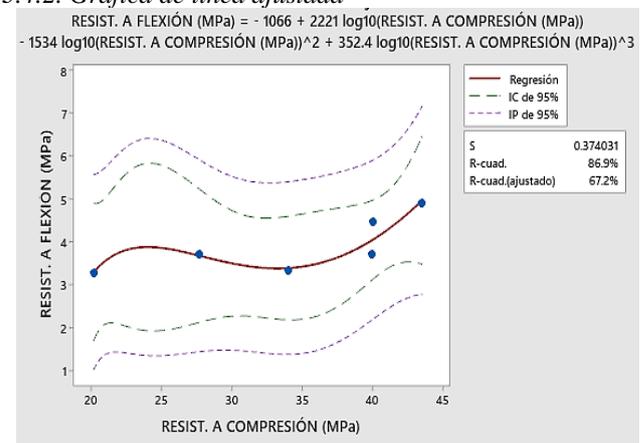


Fig. 5 Gráfica de línea ajustada para el concreto patrón

La ecuación de regresión es:

$$\text{Resistencia a flexión (MPa)} = -1066 + 2221 \log_{10}(\text{resistencia a compresión (MPa)}) - 1534 \log_{10}(\text{resistencia a compresión (MPa)})^2 + 352,4 \log_{10}(\text{resistencia a compresión (MPa)})^3 \quad (1)$$

TABLA VII
RESUMEN DEL MODELO

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,374031	86,87%	67,18%

En la Fig. 5 y la Tabla VII se observa la gráfica de línea ajustada generada para la correlación entre la resistencia a compresión y flexión para el concreto patrón a través de las 6 edades, definida por la ecuación (1). Considerando un R-cuadrado ajustado del 67,18%.

3.5. Correlación del concreto con 2,50% de aditivo acelerante

3.5.1. Gráfica de matriz de Resistencia a compresión vs Resistencia a Flexión para el concreto con 2,50% de aditivo

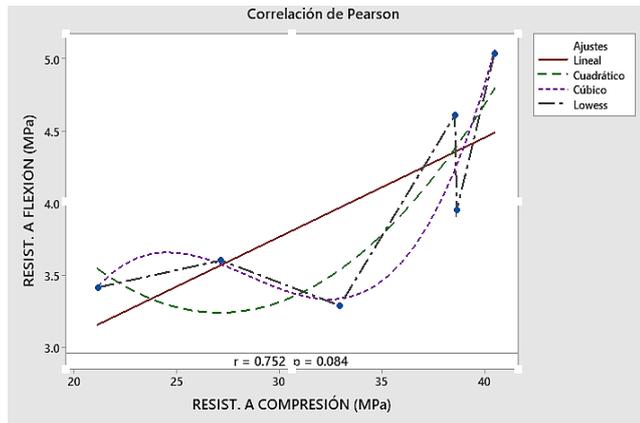


Fig. 6 Gráfica de matriz de correlación de Pearson para el concreto con 2,50% de aditivo acelerante

Método

Tipo de correlación: Pearson
Filas utilizadas: 6
 ρ : correlación en parejas de Pearson

TABLA VIII
FACTOR DE CORRELACIÓN

	Resistencia a compresión (MPa)
Resistencia a flexión (MPa)	0,752

TABLA IX
CORRELACIONES EN PAREJAS DE PEARSON

Muestra 1	Muestra 2	Correlación	IC de 95% para ρ	Valor p
Resistencia a flexión (MPa)	Resistencia a compresión (MPa)	0,752	(-0,152, 0,971)	0,084

En la Fig. 6 se visualiza la correlación de Pearson, trazadas también ajustes de gráfica lineal, cuadrática y cúbica aproximadas para esta correlación, mostrando también una gráfica suavizada.

En las Tablas VIII y IX, muestran datos obtenidos de la correlación de Pearson, siendo el factor de correlación 0,752, superior a 0 y aproximado a 1, lo cual es un índice de que existe una correlación entre estas dos variables para un intervalo de confianza del 95%.

3.5.2. Gráfica de línea ajustada

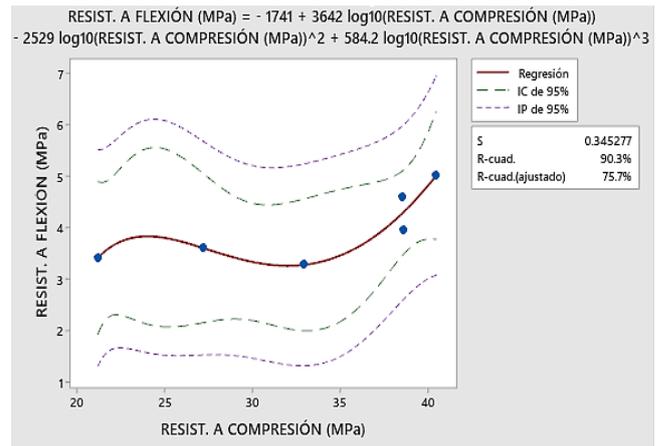


Fig. 7 Gráfica de matriz de correlación de Pearson para el concreto con 2,50% de aditivo acelerante

La ecuación de regresión es:

$$\text{Resistencia a flexión (MPa)} = -1741 + 3642 \log_{10}(\text{resistencia a compresión (MPa)}) - 2529 \log_{10}(\text{resistencia a compresión (MPa)})^2 + 584,2 \log_{10}(\text{resistencia a compresión (MPa)})^3 \quad (2)$$

TABLA X
Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,345277	90,27%	75,69%

En la Fig. 7 y la Tabla X se observa la gráfica de línea ajustada generada para la correlación entre la resistencia a compresión y flexión para el concreto patrón a través de las 6 edades, definida por la ecuación (2). Considerando un R-cuadrado ajustado del 75,69%.

3.6. Correlación del concreto con 4,00% de aditivo acelerante

3.6.1. Gráfica de matriz de Resistencia a compresión vs Resistencia a Flexión para el concreto con 4,00% de aditivo

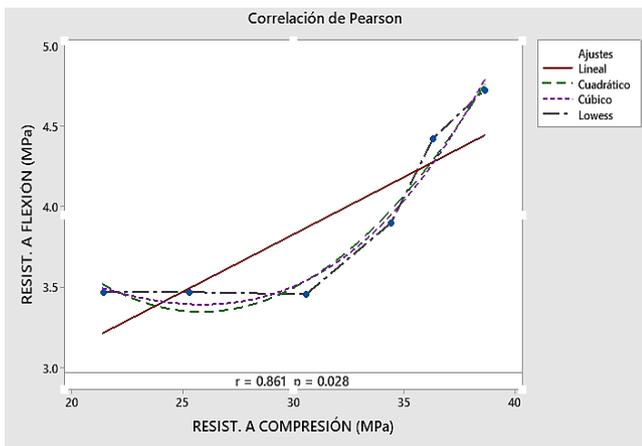


Fig. 8 Gráfica de matriz de correlación de Pearson para el concreto con 4,00% de aditivo acelerante

Método

Tipo de correlación Pearson

Filas utilizadas 6

ρ: correlación en parejas de Pearson

TABLA XI
FACTOR DE CORRELACIÓN

	Resistencia a compresión (MPa)	a
Resistencia a flexión (MPa)	0,861	

TABLA XII
CORRELACIONES EN PAREJAS DE PEARSON

Muestra 1	Muestra 2	Correlación	IC de 95% para p	Valor p
Resistencia a flexión (MPa)	Resistencia a compresión (MPa)	0,861	(0,164, 0,985)	0,028

En la Fig. 8 se visualiza la correlación de Pearson, trazadas también ajustes de gráfica lineal, cuadrática y cúbica aproximadas para esta correlación, mostrando también una gráfica suavizada.

En las Tablas XI y XII, muestran datos obtenidos de la correlación de Pearson, siendo el factor de correlación 0,861, superior a 0 y aproximado a 1, lo cual es un índice de que existe una correlación entre estas dos variables para un intervalo de confianza del 95%.

3.6.2. Gráfica de línea ajustada

$$\text{RESIST. A FLEXIÓN (MPa)} = -506,0 + 1106 \log_{10}(\text{RESIST. A COMPRESIÓN (MPa)}) - 799,6 \log_{10}(\text{RESIST. A COMPRESIÓN (MPa)})^2 + 192,5 \log_{10}(\text{RESIST. A COMPRESIÓN (MPa)})^3$$

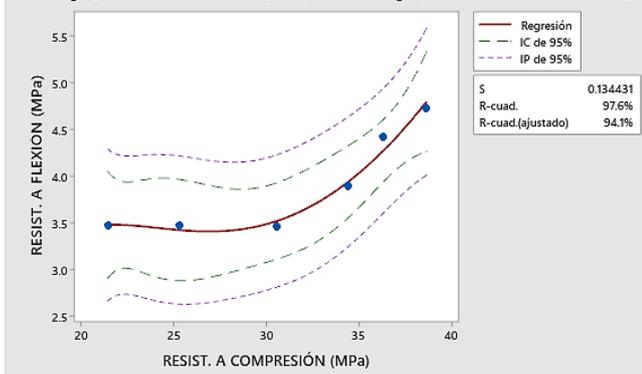


Fig. 9 Gráfica de matriz de correlación de Pearson para el concreto con 4,00% de aditivo acelerante

La ecuación de regresión es:

$$\text{Resistencia a flexión (MPa)} = -506,0 + 1106 \log_{10}(\text{resistencia a compresión (MPa)}) - 799,6 \log_{10}(\text{resistencia a compresión (MPa)})^2 + 192,5 \log_{10}(\text{resistencia a compresión (MPa)})^3 \quad (3)$$

Tabla XIII
RESUMEN DEL MODELO

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,134431	97,64%	94,10%

En la Fig. 9 y la Tabla XIII se observa la gráfica de línea ajustada generada para la correlación entre la resistencia a compresión y flexión para el concreto patrón a través de las 6 edades, definida por la ecuación (3). Considerando un R-cuadrado ajustado del 94,10%.

IV. CONCLUSIONES

- En el concreto patrón, concreto con 2,50% de aditivo acelerante y concreto con 4,00% de aditivo acelerante existe una correlación entre la resistencia a compresión y flexión.
- El factor de correlación en el concreto patrón es de 0,748.
- El factor de correlación en el concreto con 2,50% de aditivo acelerante es de 0,752.
- El factor de correlación en el concreto con 4,00% de aditivo acelerante es de 0,861.
- El concreto patrón es el que muestra un mayor incremento en la resistencia a compresión a lo largo del tiempo, mostrando un incremento del 58,49% a los 180 días, respecto al f'_c de diseño.
- El concreto con 2,50% de aditivo acelerante es el que muestra un mayor incremento en la resistencia a flexión a lo largo del tiempo, mostrando un incremento del 52,89% respecto a la resistencia a flexión a los 28 días registrada.

REFERENCIAS

- [1] ASTM International, "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete," ASTM C494/C494M-19, West Conshohocken, PA, 2019.
- [2] D. Jaimes Estupiñan, J. García Caballero, y J. Rondón Peñaranda, "Importancia del concreto en el campo de la construcción," *Revista Formación Estratégica* [en línea], vol. 01, no. 2, 2020. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/558704982/18-Texto-del-articulo-25-1-10-20210722>.
- [3] D. Reyes y T. Terrel, *Estudio del Efecto del Aditivo Acelerante sobre el Concreto, Relacionado a su Resistencia a Compresión, Temperatura Ambiente de 0°C*, Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil, Univ. César Vallejo, 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/47849>
- [4] H. Castellón y K. De la Ossa, *Estudio comparativo de la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cementos tipo I y tipo III, modificados con aditivos acelerantes y retardantes*, Proyecto de Grado, Univ. de Cartagena, 2013. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.57799/11227/7656>
- [5] M. H. Cárdenas Murillo, L. S. Hernández Melgar, H. W. Padilla Sierra, C. M. Pavón Castro, y A. M. Silva Flores, "Relación de la resistencia a la compresión y el módulo de ruptura del concreto hidráulico," *Revista de Ciencia y Tecnología Innovare*, Univ. Tecnológica Centroamericana

(UNITEC), 2013. Disponible en:
<https://www.unitec.edu/innovare/published/volume-2/number-2/2213-relacion-de-la-resistencia-a-la-compresion-y-modulo-de-ruptura-del-concreto-hidraulico.pdf>

- [6] Instituto Nacional de Calidad (INACAL), *NTP 339.034: Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*, 5ª ed., Lima, Perú, 2021. Disponible en: <https://servicios.inacal.gob.pe>
- [7] R. Martínez Lebrusant, *Evaluación de la resistencia a compresión in-situ en estructuras*, S5E, Madrid, España, 2012. Disponible en: <https://docplayer.es/28801032-Evaluacion-de-la-resistencia-a-compresion-in-situ-en-estructuras.html>