

LINEAR REGRESSION OF CONCRETE MIX DESIGN COMPONENTS FOR STRENGTHS BETWEEN 250 AND 280 kg/cm² BY APPLYING THE ACI METHOD AND THE PORRERO METHOD

REGRESIÓN LINEAL DE LOS COMPONENTES DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PARA RESISTENCIAS ENTRE 250 Y 280 kg/cm² AL APLICAR EL MÉTODO ACI Y MÉTODO PORRERO

José Antonio, Martínez González¹; Mariana, Suárez Pereira²

Recibido: 12/02/2025; Evaluado: 15/05/2026; Aprobado: 16/06/2026

DOI: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica272.3>

ABSTRACT

This research is an exploratory correlational study that aims to determine the linear regression of the components of concrete mix designs—water, cement, fine aggregate, and coarse aggregate—in undergraduate theses from the Civil Engineering program at the University Centroccidental Lisandro Alvarado in Barquisimeto, Venezuela. These theses employed the ACI Method and the Porrero Method for compressive strengths between 24,517 and 27,459 MPa (250 and 280 kg/cm²), with a nominal maximum aggregate size of 1 inch, slumps up to 6 inches, Portland cement type I or CPCA1, and natural sand. A total of 276 theses were reviewed, of which 74 met the established scope. The descriptive statistical analysis showed low to intermediate dispersions with a downward trend, leading to the conclusion that the regressions of both methods are linear. The ACI Method model has an explanatory power of 84,8%, and the Porrero Method 55,1%; however, neither model met the assumption of normality.

Keywords: *linear regression; ACI Method; Porrero Method; concrete mix design*

RESUMEN

El presente trabajo de investigación es un estudio de tipo exploratorio correlacional que tiene como finalidad determinar la regresión lineal de los componentes de diseños de mezclas de concreto, en trabajos de grado realizados en la carrera de ingeniería civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Venezuela; que emplearon el Método ACI y el Método de Porrero para resistencias a la compresión entre 24,517 y 27,459 MPa (250 y 280 kg/cm²) con tamaño máximo nominal de 1 pulgada, asentamientos hasta 6 pulgadas, cemento Portland tipo I o tipo CPCA1 y arena natural. Se revisaron 276 trabajos de grado de las cuales 74 cumplieron con el alcance establecido. El análisis estadístico descriptivo mostró dispersiones bajas e intermedias con tendencia hacia la baja, de tal forma se concluyó que las regresiones de ambos Métodos son lineales. El modelo del Método ACI posee un poder de explicación del 84,8% y el Método Porrero del 55,1%, sin embargo, ambos modelos no cumplieron con el supuesto de normalidad.

Palabras clave: *regresión lineal; Método ACI; Método de Porrero; diseño mezcla concreto*

¹Mariana, Suárez Pereira. Ingeniero Civil. Docente investigadora de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (ROR:03qgg3111). Venezuela. Correo: marianasuarez@ucla.edu.ve ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4187-8066>

²José Antonio, Martínez González. Estudiante de ingeniería civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (ROR:03qgg3111). Venezuela. Correo: renacerjose@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5015-0115>

1. INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados en la industria de la construcción debido a su versatilidad y resistencia. Sin embargo, la variabilidad en la calidad de los componentes que se utilizan en su mezcla puede afectar significativamente sus propiedades mecánicas, especialmente su resistencia a la compresión. En este contexto, la determinación precisa de la mezcla de componentes es crucial para garantizar que el concreto alcance las resistencias deseadas, que en este caso se sitúan entre 24,517 y 27,459 MPa (250 y 280 kg/cm²).

En Barquisimeto, Venezuela, se realizan tomas de muestras y pruebas de cada vez que se va ejecutar una construcción con este material, muchas de ellas se ejecutan en el Decanato de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, pero la variabilidad de los componentes y la falta de control de calidad en las empresas que ofrecen concreto premezclado, hacen que en ocasiones se presenten deficiencias en la resistencia.

Es por ello, que resulta ideal el diseño de un modelo estadístico a partir de una Regresión Lineal capaz de predecir los resultados deseados en diseños de mezclas de concreto en sustitución a los procesos de cálculos comunes, asumiendo que no haya margen de error. Es una herramienta que busca mejorar los Métodos de diseño y beneficia al ingeniero civil en la eficiencia de su trabajo tanto en ambientes privados y públicos, además de renovar las opciones en el ámbito construcción.

Si bien la dosificación y la resistencia del concreto se determinan tradicionalmente mediante modelos determinísticos como los propuestos por el American Concrete Institute (ACI) [1] o el Manual del Concreto Estructural (Método de Porrero) [2], y su resistencia real se establece a través de ensayos de laboratorio. Es factible desarrollar un modelo de Regresión Lineal que prediga la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, es decir, su resistencia final, utilizando como sustento una base de datos de mezclas patrón, el cual es el objetivo del presente estudio.

2. DESARROLLO

2.1. Método ACI

El Método se basa en calcular los volúmenes absolutos ocupados por los ingredientes del concreto siguiendo una secuencia lógica adaptada a las características de los materiales disponibles. En éste, se establece la resistencia requerida y se fija la relación agua/cemento de tal forma que se asegure la durabilidad y la resistencia. Se utiliza para concreto de peso normal y requiere conocer la resistencia, el tamaño máximo del agregado, la máxima relación agua-cemento, el contenido de cemento, los aditivos y el contenido de aire [1].

Los datos de entrada relacionados a los materiales para la determinación de las proporciones de los mismos son:

- La granulometría
- Módulo de finura
- Tamaño máximo nominal del agregado grueso (AG)
- Densidad aparente de la grava y la arena
- Máximo porcentaje de absorción de los agregados
- Masa unitaria compacta de la grava
- Masa unitaria suelta de la grava y arena
- Humedad de los agregados en el momento de efectuar las mezclas de prueba
- Densidad y masa unitaria suelta y seca del cemento.

Los datos requeridos de la obra son la resistencia de diseño, asentamiento y separación entre barras de refuerzo.

2.2. Manual del Concreto Estructural o Método de Porrero

El presente Método ha sido probado por ensayos prácticos como empíricos que demuestran su confiabilidad, teniendo un control de calidad y tomando en cuenta las variables ambientales que pueden incidir en las mezclas de concreto. Este Método toma en consideración:

- Límites de granulometría
- Ley de triangulación
- Ley de Abrams

Su validez es para concretos con asentamientos entre 1" y 6", con un rango de resistencia a la compresión entre 180 y 430 kg/cm² [2].

2.3. Métodos de Predicción: Regresión Lineal

Los Métodos de predicción estadística son técnicas que utilizan datos históricos para hacer predicciones sobre el futuro. Entre algunos de ellos, se tiene el Método de Regresión Lineal. Se utiliza para determinar la relación entre variables y predecir el valor de una variable dependiente. Puede ser simple entre una variable dependiente y una independiente, o múltiple donde hay una variable dependiente y múltiples variables independientes, también puede ser lineal y no lineal, pero depende de los datos a investigar.

3. METODOLOGÍA

En la investigación predomina un diseño correlacional no experimental, en la que se miden dos o más variables y establecen una relación estadística. La población es constituida por todos los trabajos de grado ejecutados en el Decanato de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto; referidos a estudios relacionados al uso del concreto con [3]:

- Los Métodos de diseño de mezcla tanto del Método ACI como, del Manual de Concreto Estructural (Método de Porrero) de resistencias entre 24,517 y 27,459 MPa (250 y 280 kg/cm²) [1, 2]
- Hasta 6" de asentamiento
- Piedra picada 1", arena natural de río, cemento Portland y tipo CPCA1.

Las variables consideradas para la selección de los trabajos son:

- Variable dependiente: resistencia del concreto expresada en kg/cm² a los 28 días (R28)
- Variables independientes: cantidad de cemento expresada en kg; cantidad de agua expresada en L; cantidad de Agregado Fino (AF) expresada en kg; y cantidad de Agregado Grueso (AG) expresada en kg

No se tomaron en cuenta, en el muestreo, aquellos diseños provenientes de empresas de concreto premezclado, ni aquellos que contienen aditivos adicionales, ya que en este estudio no estuvo previsto su uso. La conformación de la muestra se realizó mediante un muestreo probabilístico aleatorio simple con remplazamiento, donde el tamaño de la población es desconocido y para el que todos los elementos tienen la misma posibilidad de ser escogidos. El tamaño de la muestra a utilizar se calculó con un Método aproximado, que corresponde usar cuando se desconoce el tamaño de la población, de la siguiente manera:

$$n = \left(\frac{Z_{\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{pq}}{e} \right)^2 \quad (1)$$

Se asumió una proporción de 50%, debido a que, en una distribución Binomial con probabilidades de éxito y fracaso, p y q respectivamente, el tamaño muestral n se maximiza cuando p = q = 0,5. El error de estimación "e", generalmente fluctúa entre 0,04 y 0,06, según la teoría del muestreo. Se tomó 0,05 como criterio del investigador y con un nivel de confianza del 95 % obteniéndose un valor de 96. Sin embargo, considerando la disponibilidad de trabajos especiales de grado, la muestra comprende un subconjunto seleccionado de la población, eligiéndose 52 datos del Método ACI y Manual de Concreto Estructural un total de 33 datos por componente de cada diseño de mezcla.

Se aplicó regresión y correlación múltiple a través de un Modelo Probabilístico, el cual explica el comportamiento de cada una de las variables introducidas en la investigación y mencionadas anteriormente de diseños de mezclas de concreto convencional por el Método ACI y Manual de Concreto Estructural. Así mismo, se realizó un análisis de regresión múltiple donde se obtuvieron los ajustes del modelo, el análisis de varianza o ANOVA, la sección de los coeficientes de la regresión o del modelo, por último, se analizó la validez de éste a través de 5 supuestos: Linealidad, Independencia, Homocedasticidad, Normalidad y, No

Colinealidad.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Método del ACI para el Diseño de Mezcla de Concreto Convencional

En la Tabla 1, se exponen los datos registrados en los trabajos de grado seleccionados,

conformando la muestra para el Método ACI y consta de un total de 33 datos por componente. Las variables independientes agua, cemento, AF y AG, y como variable dependiente la resistencia del concreto a los 28 días (R28) y las Figuras de la 1 a la 4 los diagramas de dispersión de resistencia con respecto a sus componentes agua, cemento, AF y AG.

Tabla 1. Datos por variable registrados para el Método ACI. Fuente: los autores

#	R28 (kg/cm ²)	Agua (L)	Cemento (kg)	AF (kg)	AG (kg)
1	246,62	194,68	324,47	976,07	863,60
2	274,78	194,68	353,96	950,79	863,60
3	236,19	195,00	314,52	1032,02	824,95
4	231,13	205,00	341,67	910,72	769,17
5	228,4	194,50	313,71	905,84	911,11
6	246,62	195,00	325,00	952,62	885,00
7	236,19	195,00	314,52	779,21	1013,83
8	246,6	195,00	325,00	979,26	826,34
9	221,35	195,00	300,00	795,3	1010,8
10	306,15	194,74	386,00	782,23	991,89
11	236,19	205,00	330,64	1071,00	854,93
12	246,62	195,00	325,00	979,26	826,34
13	236,19	195,00	314,52	759,52	965,09
14	246,6	195,00	325,00	979,26	826,34
15	236,19	195,92	316,00	846,6	1016,48
16	246,62	195,00	325,00	978,53	826,34
17	246,62	195,00	300,00	952,65	877,91
18	246,62	224,96	325,00	963,02	894,76
19	257,52	195,00	336,21	920,11	847,85
20	268,9	200,00	357,00	924,00	856,00
21	257,52	180,00	310,34	1094,73	789,93
22	246,62	194,68	324,47	976,07	863,6
23	236,00	195,92	316,00	785,04	962,96
24	246,62	195,00	325,00	775,06	1010,8
25	236,19	195,00	314,52	766,08	989,87
26	246,62	195,00	325,00	952,62	885,00
27	221,35	195,00	300,00	1005,5	874,50
28	236,19	195,00	314,52	828,60	1040,00
29	221,35	221,42	300,00	997,32	875,00
30	246,62	195,00	325,00	979,26	826,34
31	236,87	195,00	315,00	1072,48	735,22
32	271,64	196,40	317,30	985,00	868,80
33	346,10	226,58	477,15	827,03	827,03

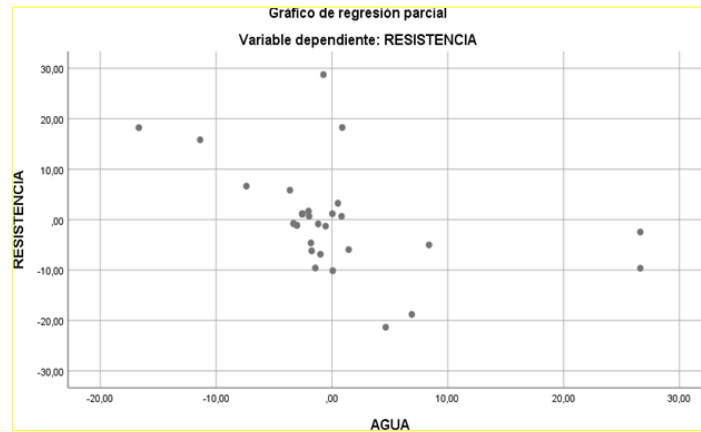


Figura 1. *Dispersión Parcial Resistencia vs Agua. Método ACI. Fuente: los autores*

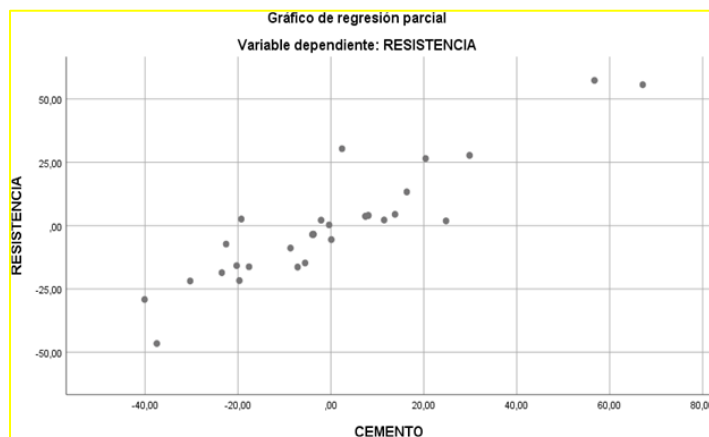


Figura 2. *Dispersión Parcial Resistencia vs Cemento. Método ACI. Fuente: los autores*

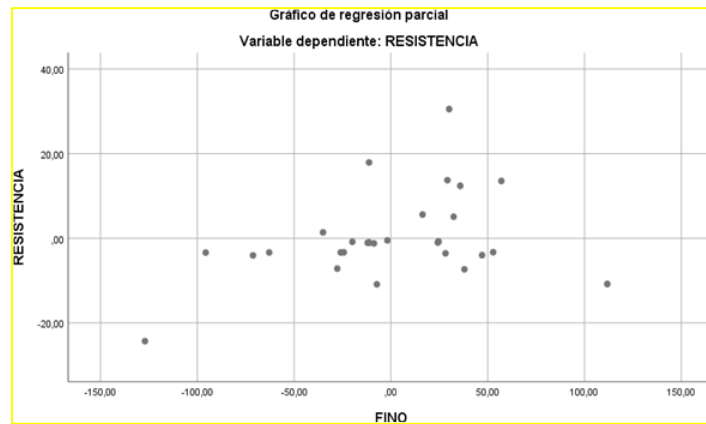


Figura 3. *Dispersión Parcial Resistencia vs Agregado Fino. Método ACI. Fuente: los autores*

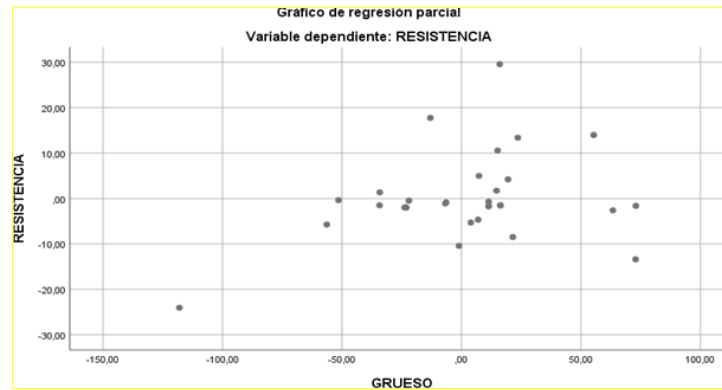


Figura 4. Dispersión Parcial Resistencia vs Agregado Grueso. Método ACI. Fuente: los autores

Al analizar la Tabla 2 de mayor a menor los valores de media de cada una de las variables independientes, la variable con mayor valor de media son AF y AG, lo que significa que tienen un mayor aporte cuantitativo en los diseños de mezclas de concreto. Las variables cemento y agua tienen un menor aporte cuantitativo, debido a que el cemento es un aglomerante que une los agregados, siendo el

agua un hidratante. Ambas variables deben tener proporciones menores a los agregados debido a que su uso en exceso puede provocar consecuencias negativas en su resistencia, durabilidad y calidad, incluso en los Métodos de diseños de mezcla existen parámetros como la relación agua-cemento, para tener un control de estas variables de estudio.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos para el Método ACI. Fuente: los autores

	Media	Desviación Típica	N	Coefficiente de Variación
Resistencia	248,243	24,3408	33	0,098
Agua	198,015	9,2657	33	0,047
Cemento	327,804	31,929	33	0,097
AF	923,721	97,0901	33	0,105
AG	887,921	78,8697	33	0,089

Siguiendo con el análisis, el valor de media aritmética de la variable dependiente resistencia de 24,344 MPa (248,243 kg/cm²), era de esperarse, debido a que está condicionado a valores teóricos entre 24,517 y 27,459 MPa (250 y 280 kg/cm²), este valor también puede indicar que la mayoría de datos de la muestra son acondicionados a resistencias de diseño de 24,517 MPa (250 kg/cm²). Con respecto al coeficiente de variación, todos tienen un valor menor a 0,10, lo que indica dispersiones bajas para estas variables, mientras que para la variable AF es de 0,105 lo que cual indica una dispersión media. En general, mientras menos dispersión exista en la muestra de todos estos valores, es mejor al momento del planteamiento del modelo probabilístico para este trabajo de

investigación.

Los valores explicados anteriormente, pueden deberse a que el Método ACI utiliza Métodos y controles de diseño, y también los datos muestrales provienen de mezclas de concreto hechas en condiciones controladas en laboratorios.

Las correlaciones observadas en la Tabla 3 son bajas cercanas a cero, teniendo entonces una débil relación entre ellas, esto puede ser debido que el cemento es un aglomerante que puede actuar directamente en ambos agregados, pero sin participación del agua no aporta significativamente. Y entre AF y AG se tiene un valor de -0,809, indicando una correlación alta y negativa entre sí, esto puede deberse a que son agregados que van de la

mano, una óptima cantidad de arena y de piedra pueden mejorar la resistencia, durabilidad y trabajabilidad del concreto por lo

tanto en los diseños de mezcla hay factores que relacionan a ambos agregados.

Tabla 3. Correlación de Pearson para el Método del ACI. Fuente: los autores

	R28	Agua	Cemento	AF	AG
Resistencia	1,000	0,277	0,906	-0,133	-0,141
Agua	0,277	1,000	0,467	-0,044	-0,091
Cemento	0,906	0,467	1,000	-0,212	-0,155
AF	-0,133	-0,044	-0,212	1,00	-0,809
AG	-0,141	-0,091	-0,155	-0,809	1,000

En la Tabla 4, se observa un valor de coeficiente de correlación múltiple R de 0,931, indica una alta correlación lineal positiva entre las variables independientes y la variable dependiente debido a que se acerca a 1, por lo tanto, el modelo de regresión planteado cumple su función predictiva. El coeficiente de determinación (R^2) de 0,867, significa que

el modelo explica 86,7% de la variación del valor alrededor de la media de la variable dependiente (resistencia) que es explicado por la variación de las variables independientes (agua, cemento, AF, AG) y la variación no explicada restante del 13,3% sería causadas por otras variables y por la aleatoriedad en la toma de los datos de la muestra.

Tabla 4. Resumen del Modelo para el Método del ACI. Fuente: los autores

R	R^2	R^2 ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
0,931 ^a	0,867	0,848	9,49577	1,861

Nota:

a. Predictores: (Constante), agua, cemento, AF, AG

b. Variable dependiente: Resistencia

El coeficiente R^2 ajustado, con 0,848, quiere decir que el modelo proporciona un 84,8% de precisión en cuanto a la capacidad predictiva y poder explicación. El error estándar de la estimación con 9,49577, es un valor bajo, indica que los valores observados se

encuentran más cercanos a los valores predichos, lo que significa que el modelo es más preciso en sus predicciones. El coeficiente Durbin-Watson se explica en la sección de los supuestos más adelante.

Tabla 5. ANOVA para el Método ACI. Fuente: los autores

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	16434,387	4	4108,597	45,565	0,000 ^b
Residuo	2524,748	28	90,170		
Total	18959,135	32			

Nota:

a. Predictores: (Constante), agua, cemento, AF, AG

b. Variable dependiente: Resistencia

En la Tabla 5 representando el análisis ANOVA, se observa el estadístico F con

45,565 nos permite valorar que, si existe relación lineal significativa entre la variable dependiente y el conjunto de variables

independientes del modelo, mientras sea mayor a uno y sea un valor alto significa que hay más diferencias y por tanto una relación más fuerte entre las variables, la significación del valor F con un valor de 0,000, siguiendo un nivel de confianza del 95%, este valor debe ser menor a 0,05 (5%).

En el análisis de varianza se plantea la hipótesis nula, de que los coeficientes de regresión son iguales a cero y la hipótesis alternativa de que al menos uno de ellos es diferente de cero. Por tanto, la significación de F es 0,000 menor que 0,05, y se rechaza la hipótesis nula afirmando que el modelo es significativo.

En la Tabla 6, se observa el coeficiente B, este posee una constante de -55,228, este indica que cuando las variables independientes son 0, la resistencia tiene un valor de -55,228, lo que en la realidad no es lógico, debido a que una resistencia no puede tener un valor negativo,

aunque para efectos de practicidad se puede decir que una resistencia negativa se toma como nula. Para agua, B es -0,528, lo que indica que es inversamente proporcional a la resistencia y que por cada unidad de agua que se agrega en el diseño de mezcla disminuye la resistencia -0,528 kg/cm².

Para cemento, B es 0,838 lo que indica que es directamente proporcional a la resistencia y que por cada unidad de cemento que se agrega al diseño de mezcla aumenta la resistencia 0,838 kg/cm². Para AF, B es 0,072 lo que indica que es directamente proporcional a la resistencia y que por cada unidad que se agrega al diseño de mezcla aumenta la resistencia 0,072 kg/cm². Para AG, B es 0,075 significando que es directamente proporcional a la resistencia y que por cada unidad que se agrega al diseño de mezcla aumenta 0,075 kg/cm².

Tabla 6. Coeficientes para el Método ACI. Fuente: los autores

Coeficientes no estandarizados			Coeficientes estandarizados		
B		Desv. Error	Beta	t	Sig.
Constante	-55,228	88,028		-0,627	0,535
Agua	-0,528	0,206	-0,201	-2,567	0,016
Cemento	0,838	0,072	1,099	11,561	0,000
AF	0,072	0,036	0,288	1,991	0,056
AG	0,075	0,044	0,244	1,709	0,099
Nota:					
a. Variable dependiente: Resistencia					

Por consiguiente, tomando en cuenta los valores de los coeficientes B, se genera el modelo probabilístico para este estudio:

$$\text{Resistencia} = -55,228 - 0,528 * \text{agua} + 0,838 * \text{cemento} + 0,07 * \text{AF} + 0,075 * \text{AG} \quad (1)$$

Continuando con el análisis, la desviación del error para la constante del modelo es de 88,028, esto indica que si este valor se aleja mucho de 0 existe la posibilidad que sea un valor nulo en el modelo. Agua posee una desviación de 0,206, para cemento es 0,072, para AF es 0,036 y para AG es 0,044, siendo estos valores cercanos a 0, indicando que es poca la diferencia entre el valor real de la

variable dependiente y el valor que predice el modelo de regresión.

En el mismo sentido, se puede observar el valor Beta, indica la influencia de cada variable independiente en el modelo, y que estas pueden estar asociadas a la resistencia por orden de importancia, en otras palabras, que el cemento con 1,099, el AF con 0,288 y el AG con 0,244 tienen mayor influencia sobre la resistencia del concreto mientras que el agua con -0,201 puede influir menos e incluso de manera inversa. Sin embargo, todas las variables independientes van de la mano para generar una buena Resistencia del concreto.

Igualmente se puede apreciar en la Tabla 7, la significación del estadístico t, se expone que existe la hipótesis nula de que los coeficientes que acompañan a cada una de las variables independientes son iguales a cero y la hipótesis alternativa de que estos coeficientes son diferentes de cero, para este estudio se tiene un nivel de confianza del 95%, y se rechaza la hipótesis nula cuando la significación es menor a 0,05. En el caso de la constante del modelo, tiene una significación de 0,535, y se acepta la hipótesis nula de que la constante no es significativa.

En el caso de AF con 0,056 y AG con 0,0996, también se acepta la hipótesis nula debido a que son mayores a 0,05, sin embargo, en la realidad no es viable que exista una mezcla de concreto sin sus agregados, por lo tanto, no se pueden obviar del modelo. En el caso de agua con 0,016 y cemento con 0,000, sus valores son menores a 0,05, se rechaza la hipótesis nula y si aportan información al modelo.

Por otra parte, todo análisis de regresión lineal múltiple queda supeditado al cumplimiento de los 5 supuestos mencionados anteriormente: 2 de ellos se basan en las variables independientes del modelo que son Linealidad y No Colinealidad; y tres de ellos basados en los errores o residuos que son Independencia, Homocedasticidad y Normalidad. Estos garantizan la validez y confiabilidad del modelo probabilístico planteado en esta

investigación. Al cumplirse estos supuestos, se aseguran conclusiones precisas, consistentes y generalizables los cuales son condiciones necesarias para que los Métodos estadísticos funcionen correctamente y produzcan resultados válidos.

Linealidad

Este supuesto se comprueba de manera gráfica observando los diagramas de dispersión, en las Figuras 1 a la 4, mostraron una tendencia lineal para las variables, verificando que este supuesto se cumple. Sin embargo, la Figura 1 algunos valores salen de la linealidad, pero se puede observar que cumple en la mayoría de los casos.

Independencia

Implica que los errores en la medición de las variables explicativas sean independientes entre sí. Se consideran independientes si el estadístico Durbin Watson se encuentra entre 1,5 y 2,5. En la Tabla 4, se observa el estadístico Durbin-Watson de 1,861, que se encuentra entre 1,5 y 2,5 verificando la independencia de los errores.

Homocedasticidad

Implica que los errores tengan varianza constante. Este supuesto se verifica gráficamente con la representación de la dispersión de Valor Predicho Estandarizado vs Valor Residuos Estandarizados (Figura 5).

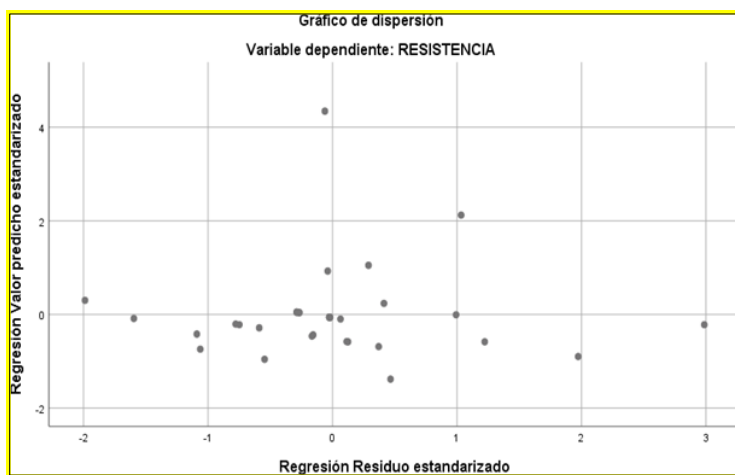


Figura 5. Valor Predicho Estandarizado vs Regresión de Residuo Estandarizado. Método ACI. Fuente: los autores

Según la Figura 5, se puede observar que se distribuyen los valores de forma aleatoria y no siguen un patrón específico, por lo tanto, se cumple el supuesto de homocedasticidad.

Adicionalmente, se puede corroborar de manera analítica, mediante el estadístico de Levene, tomando Resistencia como variable dependiente y agua, cemento, AF y AG como variables independientes.

Tabla 7. Homogeneidad de Varianza para el Método ACI. Fuente: los autores

Estadístico de Levene			gl1	gl2	Sig.
Resistencia	Se basa en la media	10,432	4	17	0,000

La prueba de Levene expone que la hipótesis nula explica que existe heterocedasticidad en los residuos y la hipótesis alternativa explica que existe homocedasticidad en los residuos, para un nivel de confianza del 95%, se rechaza la hipótesis nula cuando la significación es menor a 0,05. Por lo tanto, si se observa la Tabla 7, el estadístico de Levene con 10,432 y su significación basada en la media de 0,000

menor a 0,05, lo que demuestra que se rechaza la hipótesis nula y se comprueba la homocedasticidad.

Normalidad

Este supuesto se verifica gráficamente mediante el Histograma de los residuos a continuación.

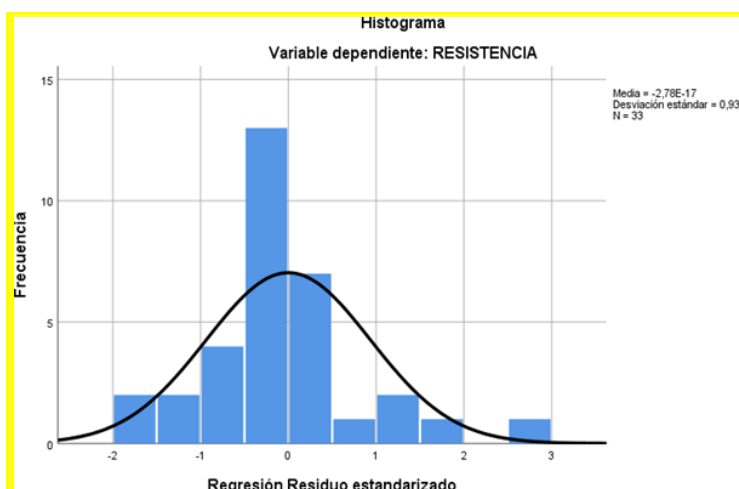


Figura 6. Histograma de Normalidad. Método ACI. Fuente: los autores

Se puede apreciar en la Figura 6, el diagrama que se traza sobre el histograma de color negro, obedece a una distribución de probabilidad normal, sin embargo, existen picos que sobresalen de la curva. Otro Método gráfico para verificar este supuesto es mediante el gráfico P-P de normalidad, que se muestra a continuación.

En la Figura 7, se puede ver como los valores sobresalen de la línea, pero buscan alinearse a ella, por esta razón se verifica de manera analítica este supuesto mediante la prueba de

Kolmogorov-Smirnov a los Residuos Estandarizados, que plantea la hipótesis nula de que sus valores siguen una distribución normal versus la hipótesis alternativa de que no siguen una distribución normal, a través de la significación fijada desde el principio de 0,05, que al ser menor la distribución no es normal. En la Tabla 8, se observa que la significación de 0,012 es menor que 0,05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se comprueba que no hay una distribución normal de los residuos, por lo que no se cumple este supuesto.

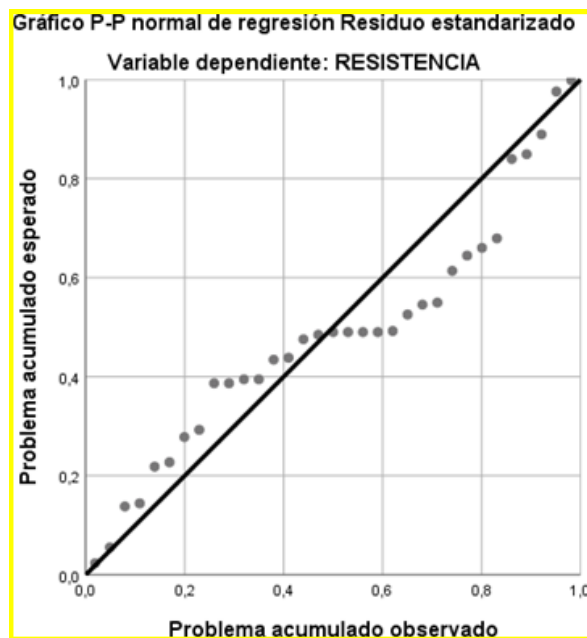


Figura 7. Gráfico P-P Normal de Residuo Estandarizado. Método ACI. Fuente: los autores

Tabla 8. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el Método ACI. Fuente: los autores

N=33		Residuos Estandarizados
Parámetros normales ^{a,b}	Media	0,0000000
	Desv.	0,93541435
	Desviación	
Máximas diferencias extremas	Absoluto	0,174
	Positivo	0,174
	Negativo	-0,137
Estadístico de prueba		0,174
Sig. asintótica(bilateral)		0,012 ^c
Nota:		
a. La distribución de prueba es normal.		
b. Se calcula a partir de datos.		
c. Corrección de significación de Lilliefors.		

No Colinealidad

Para comprobar de manera analítica este supuesto, se utilizan los estadísticos de Colinealidad Tolerancia y VIF, en la Tabla 9, se observan que los valores de tolerancia para todas las variables independientes

introducidas en el modelo son mayores a 0,10. De igual manera, todos los valores de VIF son menores a 10 en todos los casos, por lo tanto, se verifica que se cumple este supuesto.

Tabla 9. Estadísticos de Colinealidad para el Método ACI. Fuente: los autores

	Tolerancia	VIF
Agua	0,775	1,291
Cemento	0,527	1,899
AF	0,228	4,395
AG	0,233	4,287
Nota:		
a. Variable dependiente: Resistencia		

4.2. Método de Porrero para el Diseño de Mezcla de Concreto Convencional

En la Tabla 10, se exponen los datos registrados los cuales conforman la muestra de

los datos del Método Porrero, y consta de un total de 52 datos por componente, las variables independientes agua, cemento, AF y AG, y como variable independiente la resistencia del concreto a los 28 días (R28).

Tabla 10. Datos por variable registrados para el Método Porrero. Fuente: los autores

#	R28 (kg/cm ²)	Agua (l)	Cemento (kg)	AF (kg)	AG (kg)
1	246,62	185,32	318,42	936,26	936,26
2	306,15	260,00	420,00	940,00	820,00
3	274,78	203,00	369,00	810,00	950,00
4	281,39	189,00	385,00	802,12	980,37
5	246,62	193,00	331,00	913,00	895,00
6	293,2	206,00	396,00	895,00	827,00
7	306,15	208,57	417,13	809,46	876,92
8	274,78	202,69	368,52	837,51	907,31
9	246,62	197,46	329,10	860,61	932,33
10	293,2	221,59	426,44	823,93	823,93
11	241,35	183,00	300,00	936,84	936,84
12	274,78	204,30	369,00	893,00	893,00
13	286,92	204,95	386,7	948,31	777,61
14	306,15	208,50	417,13	876,00	808,00
15	246,62	198,00	329,00	896,00	896,00
16	274,78	202,00	368,00	873,50	873,5
17	306,15	208,00	417,00	844,00	844,00
18	293,20	214,00	411,00	826,00	894,00
19	246,62	210,00	350,00	890,39	854,77
20	306,15	193,30	374,30	1007,9	782,60
21	293,2	206,10	396,40	776,56	952,97
22	246,62	193,26	297,33	952,50	952,50
23	274,78	202,69	368,52	768,35	972,76
24	306,15	193,30	374,33	1007,9	782,60
25	221,35	210,50	350,00	969,00	691,00
26	306,15	188,30	384,29	1080,80	713,05
27	274,78	216,27	393,22	833,38	902,88
28	280,79	207,00	383,2	965,26	758,41
29	274,78	194,06	352,83	843,67	951,37
30	306,15	199,00	398,00	948,00	776,00
31	246,62	250,00	340,00	980,00	860,00
32	286,92	178,71	340,00	1025,00	839,00
33	293,20	177,20	340,00	1160,00	710,00
34	280,79	185,20	340,00	1160,00	710,00
35	236,19	235,24	376,5	1110,00	740,00
36	306,15	184,24	365,00	1015,00	830,00
37	299,6	163,75	320,00	1221,3	735,00
38	246,62	178,00	297,00	863,00	1013,00
39	299,60	222,57	422,00	815,60	831,03
40	306,15	196,00	400,00	1008,00	730,00

41	293,20	208,00	400,00	870,00	870,00
42	246,62	210,00	350,00	1046,76	697,84
43	293,20	193,95	383,93	885,67	885,67
44	293,20	208,76	401,46	745,53	988,27
45	257,52	213,43	367,98	784,53	1039,96
46	245,00	205,70	316,46	967,98	893,52
47	275,00	226,00	361,00	799,00	976,00
48	282,95	209,00	418,00	901,47	799,41
49	273,50	207,50	460,00	851,01	817,64
50	276,97	206,65	397,40	737,71	1018,74
51	246,62	182,60	368,52	1066,82	772,52
52	299,60	246,72	422,00	1119,36	562,64

A continuación, los diagramas de dispersión de resistencia con respecto a sus componentes

agua, cemento, AF, AG.

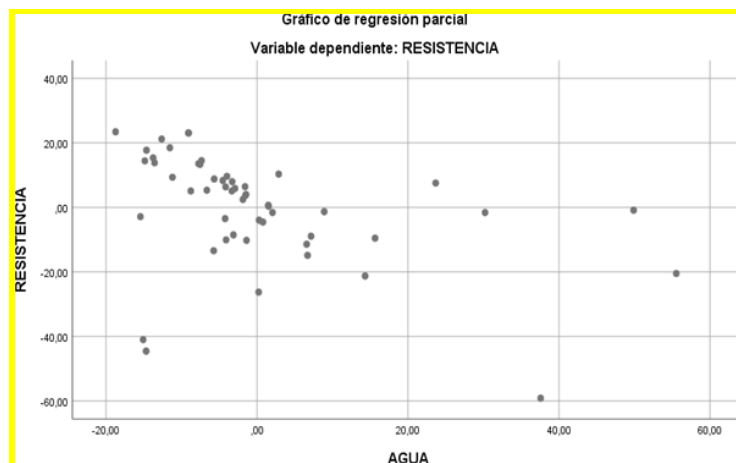


Figura 8. Dispersión Parcial Resistencia vs Agua. Método Porrero. Fuente: los autores

En la Figura 8, se observa que hay una tendencia lineal negativa entre las variables resistencia y agua. Mientras que en la Figura

9, se observa que hay una tendencia lineal positiva entre las variables resistencia y cemento.

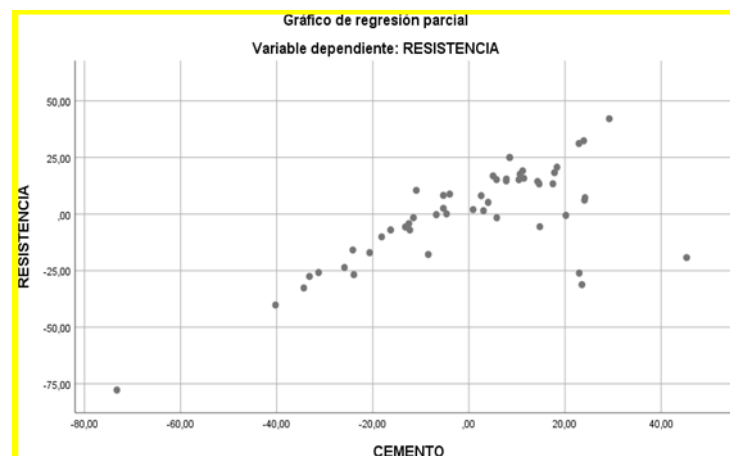


Figura 9. Dispersión Parcial Resistencia vs Cemento. Método Porrero. Fuente: los autores

En la Figura 10, se observa que hay una

tendencia lineal positiva entre las variables

resistencia y AF, mientras que, en la Figura 11, se observa que hay una correlación lineal, esto

no va con tendencia positiva entre las variables resistencia y AG.

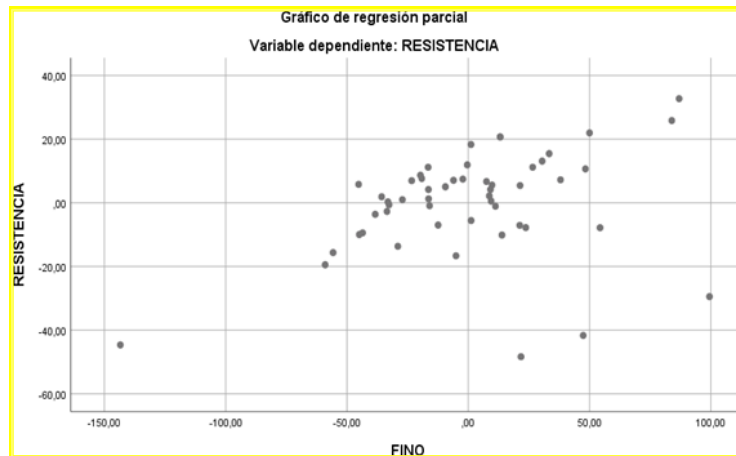


Figura 10. *Dispersión Parcial Resistencia vs AF. Método Porrero. Fuente: los autores*

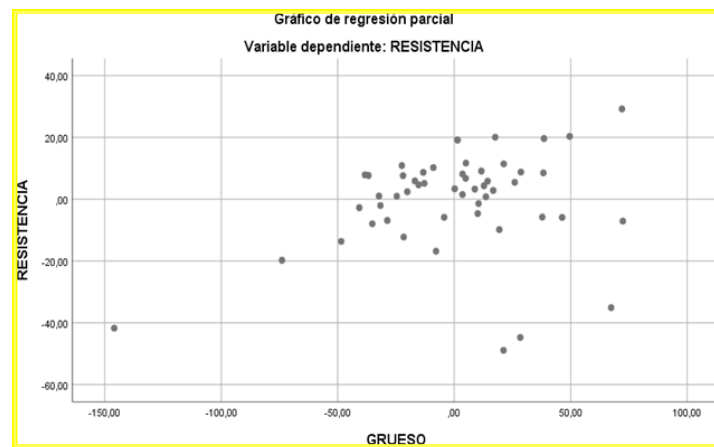


Figura 11. *Dispersión Parcial Resistencia vs AG. Método Porrero. Fuente: los autores*

A continuación, se presenta la Tabla 11 de estadísticos descriptivos.

Tabla 11. *Estadísticos Descriptivos N= 52 para el Método Porrero. Fuente: los autores*

	Media	Desviación	CV
Resistencia	277,3500	23,89513	0,0861
Agua	203,6996	18,12814	0,0889
Cemento	372,4637	37,18951	0,0998
AF	921,1344	113,60963	0,1233
AG	851,6004	100,14226	0,1175

Analizando de mayor a menor los valores de media de cada una de las variables independientes descritos en dicha tabla, las variables con mayor valor de media son AF y AG, lo que significa que tienen un mayor aporte cuantitativo en los diseños de mezclas de concreto. Las variables cemento y agua tienen un menor aporte cuantitativo, debido a

que el cemento es un aglomerante que une los AF y AG, siendo el agua un hidratante del cemento, ambas variables deben tener proporciones menores a los agregados debido a que su uso en exceso puede provocar consecuencias negativas en su resistencia, durabilidad y calidad, incluso en los Métodos de diseños de mezcla existen parámetros como

la relación agua-cemento, para tener un control de estas variables de estudio.

Siguiendo con el análisis, el valor de media aritmética de la variable dependiente resistencia de 27,199 MPa (277,35 kg/cm²) era de esperarse, debido a que está condicionado a valores teóricos entre 24,517 y 27,459 MPa (250 y 280 kg/cm²). Los valores de media y desviación generan un coeficiente de variación (CV), que se obtiene de dividir la desviación entre la media, este valor ayuda a analizar la tendencia de dispersión. En el caso de resistencia con 0,0861, agua 0,0889 y cemento 0,0998 tienen un valor menor a 0,10, lo que indica una dispersión baja. Por otro lado, AG

con 0,1175 y AF con 0,1175 indica una dispersión media.

En general, mientras menos dispersión exista en la muestra de todos estos valores, es mejor al momento del planteamiento del modelo probabilístico para este trabajo de investigación. Los valores explicados anteriormente, puede deberse a que el Método Porrero utiliza Métodos y controles de diseño, y también los datos muestrales provienen de mezclas de concreto hechas en condiciones controladas en laboratorios. A continuación, se presenta la Tabla 12 Matriz de Correlación de cada una de las variables.

Tabla 12. Correlación de Pearson para el Método Porrero. Fuente: los autores

		Agua	Cemento	AF	AG
Resistencia	1,000	0,013	0,638	0,000	-0,243
Agua	0,013	1,000	0,494	-0,236	-0,096
Cemento	0,638	0,494	1,000	-0,312	-0,221
AF	0,000	-0,236	-0,312	1,000	-0,785
AG	-0,243	-0,096	-0,221	-0,785	1,000

El valor de la correlación de Pearson de resistencia con respecto al agua es de 0,013 indicando una correlación baja, significa que hay poca relación entre estas variables, esto puede ser debido a que el agua es un hidratante del cemento y que esta se va evaporando en el transcurso del tiempo en el proceso de fraguado. con respecto al cemento tiene un valor 0,638 indicando es cercano a 1, es decir, su correlación es media, significa que hay una relación media entre estas variables, debido a que el cemento es un aglomerante y que a mayor cantidad de cemento se use en una mezcla de concreto mejor se unifican sus agregados y esto eleva su resistencia.

Con respecto al AF es de 0,00 siendo una correlación nula, y no hay relación entre las variables, y con respecto al AG de -0,243 tiene baja relación con la resistencia, esto puede deberse a que los agregados necesitan ayuda del cemento para unificarse y aportar de manera significativa a la resistencia.

En el mismo orden de ideas, la correlación entre agua y cemento es de 0,494 siendo una correlación media, esto puede ser a que existe

una relación agua con los diseños de mezcla. Entre agua y AF y con AG ambos con valores cercanos a cero, lo que significa que casi no hay correlación entre ellas, esto puede deberse a que el agua tiene su mayor aporte en la hidratación del cemento.

Entre cemento, AF y AG las correlaciones son bajas cercanas a 0 cero, esto puede ser debido que el cemento es un aglomerante que puede actuar directamente en ambos agregados, pero sin participación del agua no aporta significativamente.

Entre AF y AG indica una correlación alta y negativa entre sí, esto puede deberse a que son agregados que van de la mano, una óptima cantidad de arena y de piedra pueden mejorar la resistencia, durabilidad y trabajabilidad del concreto por lo tanto en los diseños de mezcla hay factores que relacionan a ambos agregados.

A continuación, se presenta la Tabla 13 de Resumen del Modelo, que ofrece una medida general del comportamiento de todas las variables introducidas.

Tabla 13. *Resumen del Modelo para el Método Porrero. Fuente: los autores*

R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin- Watson
0,766 ^a	0,586	0,551	16,01355	1,952

Nota:
 a. Predictores: (Constante), agua, cemento, AF, AG
 b. Variable dependiente: Resistencia

En la Tabla 13, se observa un valor de coeficiente de correlación múltiple R de 0,766 indica una alta correlación lineal positiva entre las variables independientes y la variable dependiente debido a que se acerca a 1, por lo tanto, el modelo de regresión planteado cumple su función predictiva. El coeficiente de determinación R² de 0,586, significa que el modelo explica 58,6% de la variación del valor alrededor de la media de la variable dependiente que es explicado por la variación de las variables independientes, y la variación no explicada restante del 41,4% sería causada

por otras variables y por la aleatoriedad en la toma de los datos de la muestra.

El R² ajustado, con 0,551, quiere decir que el modelo proporciona un 55,1% de precisión en cuanto a la capacidad predictiva y poder de explicación. El error estándar de la estimación con 16,01355, es un valor bajo, indica que los valores observados se encuentran más cercanos a los valores predichos, lo que significa que el modelo es más preciso en sus predicciones. A continuación, se presenta la Tabla 14 de análisis de varianza ANOVA.

Tabla 14. *ANOVA para el Método Porrero. Fuente: los autores*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	17067,454	4	4266,863	16,639	0,000 ^b
Residuo	12052,382	47	256,434		
Total	29119,836	51			

Nota:
 a. Predictores: (Constante), agua, cemento, AF, AG
 b. Variable dependiente: Resistencia

Se observa el estadístico F con 16,639 permite valorar que, si existe relación lineal significativa entre la variable dependiente y el conjunto de variables independientes del modelo, mientras sea mayor a uno y sea un valor alto significa que hay más diferencias y por tanto una relación más fuerte entre las variables, y si la significación del valor F con un valor de 0,000, siguiendo un nivel de confianza del 95%, este valor debe ser menor a 0,05 (5%).

En el análisis de varianza se plantea la hipótesis nula, de que los coeficientes de regresión son iguales a cero y la hipótesis alternativa de que al menos uno de ellos es diferente de cero. Por tanto, la significación de

F es 0,000 menor que 0,05, y se rechaza la hipótesis nula afirmando que el modelo es significativo.

En la Tabla 15, se observa el coeficiente B, posee una constante de -103,192, este indica que cuando las variables independientes son 0, la resistencia tiene un valor de -103,192, lo que en la realidad no es viable, debido a que una resistencia no puede tener un valor negativo, aunque para efectos de practicidad se puede decir que una resistencia negativa se puede tomar como nula. Para agua, B es -0,449, lo que indica que es inversamente proporcional a la resistencia y que por cada unidad de agua que se agrega en el diseño de mezcla disminuye la resistencia -0,449 kg/cm².

Para cemento, es 0,704 lo que indica que es directamente proporcional a la resistencia y que por cada unidad de cemento que se agrega al diseño de mezcla aumenta la resistencia 0,704 kg/cm². Para AF, es 0,129 lo que indica que es directamente proporcional a la resistencia y que por cada unidad que se

agrega al diseño de mezcla aumenta la resistencia 0,129 kg/cm². Para AG, es 0,107 lo que indica que es directamente proporcional a la resistencia y que por cada unidad de que se agrega al diseño de mezcla aumenta 0,107 kg/cm².

Tabla 15. Coeficientes para el Método Porrero. Fuente: los autores

Coeficientes no estandarizados			Coeficientes estandarizados		
B	Desv. Error		Beta	t	Sig.
Constante	-103,192	138,651		-0,744	0,460
Agua	-0,449	0,146	-0,341	-3,079	0,003
Cemento	0,704	0,105	1,096	6,694	0,000
AF	0,129	0,055	0,613	2,347	0,023
AG	0,107	0,060	0,447	1,768	0,083

Nota:

a. Variable dependiente: Resistencia

Por consiguiente, tomando en cuenta los valores de los ecoeficientes B, se genera el modelo probabilístico para este estudio:

$$\text{Resistencia} = -103,192 - 0,449 * \text{agua} + 0,704 * \text{cemento} + 0,129 * \text{AF} + 0,107 * \text{AG} \quad (2)$$

Continuando con el análisis, la desviación del error para la constante del modelo es de 138,651, esto indica que si este valor se aleja mucho de 0 existe la posibilidad que sea un valor nulo en el modelo. agua posee una desviación de 0,146, para cemento es 0,105, para AF es 0,055 y para AG es 0,060, siendo estos valores cercanos a 0, indicando que es poca la diferencia entre el valor real de la variable dependiente y el valor que predice el modelo de regresión.

En el mismo sentido, se puede observar el valor Beta, indica la influencia de cada variable independiente en el modelo, y que estas pueden estar asociadas a la resistencia por orden de importancia, en otras palabras, que el cemento con 1,096, el AF con 0,613 y el AG con 0,447 tienen influencia positiva sobre la resistencia del concreto. Mientras que el agua con -0,341 puede influir menos e incluso de manera inversa. Sin embargo, todas las variables independientes van de la mano

para generar una buena resistencia del concreto.

En la misma Tabla 15, la significación del estadístico t expone que existe la hipótesis nula de que los coeficientes que acompañan a cada una de las variables independientes son iguales a cero y la hipótesis alternativa de que estos coeficientes son diferentes de cero, para este estudio se tiene un nivel de confianza del 95%, y se rechaza la hipótesis nula cuando la significación es menor a 0,05. En el caso de la constante del modelo, tiene una significación de 0,46, y se acepta la hipótesis nula de que la constante no es significativa.

En el caso de AG con 0,083, también se acepta la hipótesis nula debido a que es mayor a 0,05, sin embargo, en la realidad no es lógico que exista una mezcla de concreto sin agregados grueso, por lo tanto, no se puede obviar del modelo. En el caso de agua con 0,003, cemento con 0,000 y AF con 0,023, son menores a 0,05, se rechaza la hipótesis nula y si aportan información al modelo.

Por otra parte, los supuestos de Linealidad y No Colinealidad y tres de ellos basados en los errores o residuos que son los supuestos de Independencia, Homocedasticidad y Normalidad se comprueban de manera gráfica o analítica a continuación:

Linealidad

Este supuesto se comprueba de manera gráfica observando los diagramas de dispersión, en las Figuras de la 12 a la 14 presentados anteriormente, mostrando una tendencia lineal para las variables, verificando que este supuesto se cumple. Sin embargo, en el grafico N°8 algunos valores salen de la linealidad, pero se puede observar que cumple en la mayoría de los casos.

Independencia

El supuesto de la independencia de los errores implica que los errores en la medición de las

variables explicativas sean independientes entre sí. Se consideran independientes si el estadístico Durbin Watson se encuentra entre 1,5 y 2,5. En la Tabla 16, se observa el estadístico Durbin-Watson verificando la independencia de los errores, puesto que 1,952 se encuentra entre 1,5 y 2,5.

Homocedasticidad

Este supuesto implica que los errores tengan varianza constante, verificable gráficamente con la representación de la dispersión de Valor Predicho Estandarizado vs Valor Residuos Estandarizados a continuación.

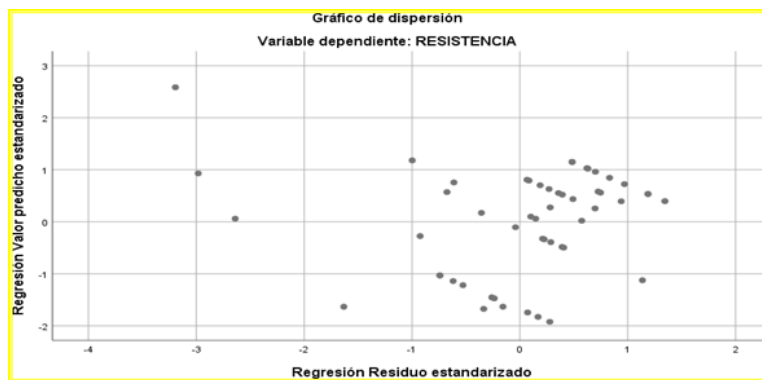


Figura 12. Valor Predicho Estandarizado vs Regresión de Residuo Estandarizado. Método Porrero. Fuente: los autores

Según la Figura 12, se puede observar que se distribuyen los valores de forma aleatoria y no siguen un patrón específico, por lo tanto, se cumple el supuesto de homocedasticidad.

Normalidad

Este supuesto se verifica mediante el

Histograma de los Residuos, donde se puede apreciar en la Figura 13, el diagrama que se traza sobre el histograma de color negro, simuladamente obedece a una distribución de probabilidad normal, sin embargo, existen picos que sobresalen de la curva de normalidad.

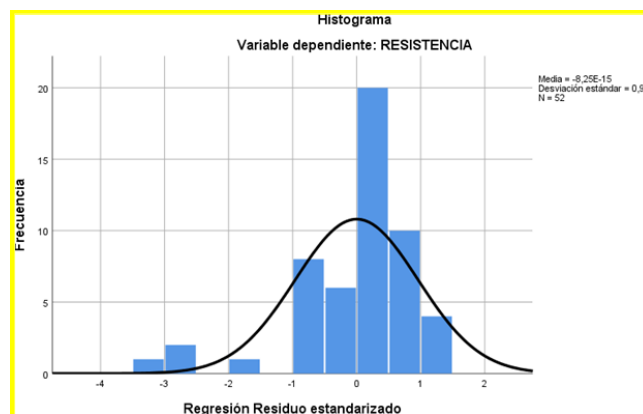


Figura 13. Histograma de Normalidad. Método Porrero. Fuente: los autores

Otro Método para verificar este supuesto es mediante el grafico P-P de normalidad, que se

muestra a continuación (Figura 14). Se puede ver como los valores sobresalen de la línea,

pero buscan alinearse a ella, por esta razón se verifica de manera analítica este supuesto mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov a los Residuos Estandarizados (Tabla 14) que plantea la hipótesis nula de que sus valores

siguen una distribución normal versus la hipótesis alternativa de que no siguen una distribución normal, a través de la significación fijada desde el principio de 0,05, que al ser menor la distribución no es normal.

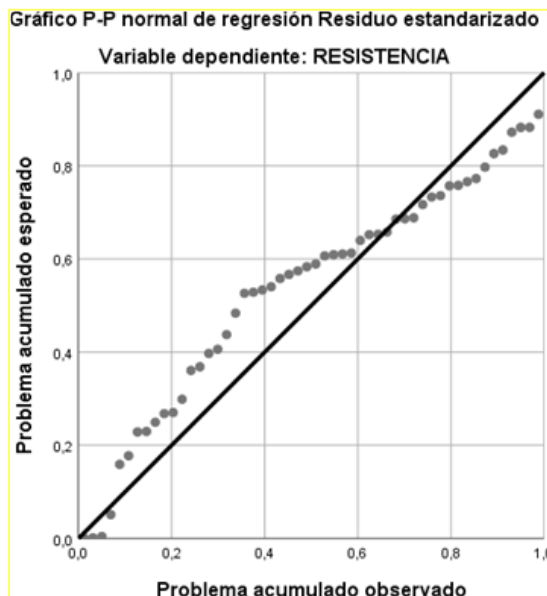


Figura 14. Gráfico P-P Normal de Residuo Estandarizado. Método Porrero. Fuente: los autores

Tabla 14. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el Método Porrero. Fuente: los autores

N=52		Residuos Estandarizados
Parámetros normales ^{a,b}	Media	0,0000000
	Desv.	0,95998366
	Desviación	
Máximas diferencias extremas	Absoluto	0,181
	Positivo	0,089
	Negativo	-0,181
Estadístico de prueba		0,174
Sig. asintótica(bilateral)		0,012 ^c
Nota:		
a.		La distribución de prueba es normal.
b.		Se calcula a partir de datos.
c.		Corrección de significación de Lilliefors.

En la Tabla 14, se observa que la significación de 0,000 es menor que 0,05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se comprueba que no hay una distribución normal de los residuos, no se cumple este supuesto.

No Colinealidad

Para comprobar de manera analítica este supuesto, se utilizan los estadísticos de Colinealidad Tolerancia y VIF mostrados a continuación:

Tabla 15. Estadísticos de Colinealidad para el Método Porrero. Fuente: los autores

	Tolerancia	VIF
Agua	0,720	1,389
Cemento	0,328	3,046
AF	0,129	7,735
AG	0,138	7,271

Nota:
 b. Variable dependiente: Resistencia

En la Tabla 15, se observan que los valores de tolerancia para todas las variables independientes introducidas en el modelo son mayores a 0,10. De igual manera, todos los valores de VIF son menores a 10 en todos los casos, por lo tanto, se verifica que se cumple este supuesto

5. CONCLUSIONES

5.1 Método de Diseño del ACI

La variable dependiente resistencia para este Método, posee una media de 24,344 MPa (248,243 kg/cm²) y su desviación 24,3408, teniendo una dispersión baja. La variable independiente agua con una media de 198,015 lt y una desviación de 9,2657 teniendo dispersión baja. La variable independiente cemento con una media de 327,804 kg y una desviación de 31,929 con una dispersión baja. La variable independiente AF con una media de 923,721 kg y una desviación de 97,0901 con una dispersión media. La variable independiente AG con una media de 887,921kg y una desviación de 78,8697 con una dispersión baja. Todos los gráficos de dispersión mostraron tendencia lineal.

La correlación de Pearson de la variable dependiente resistencia con respecto agua, AF y Ag es baja, mientras que con respecto a cemento es alta. De la variable agua con respecto al cemento es de 0,467 siendo una correlación media. Entre agua y AF la correlación es de -0,044 siendo una correlación baja, casi nula y negativa. Entre agua y AG es de -0,091 siendo una correlación baja, casi nula y negativa. Entre cemento y AF es de -0,212 siendo una correlación baja y negativa. La correlación entre cemento y agregado grueso es de 0,155 siendo una

correlación baja. La correlación entre agregado fino y agregado grueso la correlación es -0,809 siendo una correlación alta y negativa entre sí.

El coeficiente correlación múltiple R es de 0,931 y el coeficiente de determinación ajustado es de 0,848. Todos son valores altos por tanto el modelo probabilístico planteado cumple su función de predicción. El modelo de regresión lineal múltiple basado en el Método ACI presentó un poder predictivo alto $R^2 \approx 0,867$, lo que indica que, dentro del rango de diseño estudiado 24,517 y 27,459 MPa (250 y 280 kg/cm²), la resistencia del concreto puede estimarse con buena precisión a partir de las cantidades de agua, cemento, agregado fino y agregado grueso.

El Error estándar de la estimación es de 9,49577, teniendo así un error bajo. En el análisis de varianza, se rechaza la hipótesis nula de que sus coeficientes son iguales a cero, por lo tanto, el modelo es significativo. El modelo cumple con los supuestos de Linealidad y Colinealidad. El modelo cumple con los supuestos de Independencia y Homocedasticidad, pero no cumple con el supuesto de Normalidad.

A pesar de las limitaciones, el modelo ACI propuesto puede servir como herramienta de predicción preliminar para verificar diseños de mezcla de concreto en etapas tempranas de proyectos de construcción, bajo condiciones controladas. Este modelo no sustituye ensayos de laboratorios, puede servir como un filtro preliminar para detectar inconsistencias antes de la ejecución en obra.

5.2. Método de Diseño de Porrero

La variable dependiente resistencia para este

Método, posee una media de 27,199 MPa (277,35 kg/cm²) y su desviación 23,89513, teniendo una dispersión baja. La variable independiente agua con una media de 203,6996 l y una desviación de 18,12814 teniendo dispersión baja. La variable independiente cemento con una media de 372,4637 kg y una desviación de 37,18951 con una dispersión baja. La variable independiente AF con una media de 921,1344 kg y una desviación de 113,60963 con una dispersión media. La variable independiente AG con una media de 851,6004 kg y una desviación de 100,14226 con una dispersión media. Todos los gráficos de dispersión mostraron tendencia lineal.

La correlación de Pearson de la variable dependiente resistencia con respecto al agua y al agregado grueso es baja, con respecto al agregado fino es nula y con respecto al cemento es alta. Entre agua y al cemento es de 0,494 siendo una correlación media. Entre agua y AF la correlación es de -0,236 siendo una correlación baja, casi nula y negativa. Entre agua y AG es de -0,096 siendo una correlación baja, casi nula y negativa. Entre cemento y AF es de -0,312 siendo una correlación baja y negativa. Entre cemento y AG es de 0,221 siendo una correlación baja. Por último, entre AF y AG la correlación es -0,785 siendo una correlación alta y negativa entre sí.

El coeficiente correlación múltiple R es de 0,766 y el coeficiente de determinación ajustado es de 0,551. Sus valores son medios por tanto el modelo probabilístico planteado cumple su función de predicción medianamente. El modelo del Método Porrero mostró una capacidad predictiva moderada $R^2 \approx 0,586$, posiblemente debido a la naturaleza empírica del Método, la calidad heterogénea de los datos y la ausencia de variables adicionales relevantes como características físicas de los agregados.

El Error estándar de la estimación es de 16,01355, teniendo así un error medio. En el análisis de varianza, se rechaza la hipótesis nula de que sus coeficientes son iguales a cero, por lo tanto, el modelo es significativo. El modelo cumple con los supuestos de

Linealidad y Colinealidad. Y con los supuestos de Independencia y Homocedasticidad, pero no cumple con el supuesto de Normalidad.

5.3. Comparación Entre Métodos

Ambos modelos probabilísticos son lineales. El modelo de probabilístico del Método ACI tiene mayor poder de explicación que el modelo de Porrero, presentando este último un mayor error. Ninguno cumplió con el supuesto de Normalidad de los residuos, lo que limita la validez de las pruebas de hipótesis y los intervalos de confianza calculados. Este incumplimiento no invalida el modelo predictivo, pero sí exige cautela en la interpretación de los resultados inferenciales.

6. FINANCIAMIENTO

La investigación que ha dado origen a este artículo no ha recibido el aporte financiero de ninguna fuente.

7. CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores hacen constar que no poseen ningún tipo de conflicto de interés que pueda influir en la objetividad y transparencia del presente estudio.

8. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

J.A.M.G. recolección de la data y análisis, M.S.P. tutor académico, revisión de datos y muestreo.

9. REFERENCIAS

- [1] ACI, “*Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14) y Comentario (ACI 318SR-14)*” American Concrete Institute, EUA, 2015
- [2] J. Porrero, C. Ramos, J. Graces y G. Velazco, “Manual del Concreto Estructural”, Caracas, Venezuela, 2014
- [3] F. Peña, “*Determinación de la distribución de probabilidades de los componentes de diseños de mezclas de concreto para resistencias entre 250 – 280 kg/cm²*”, Trabajo de Grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Venezuela, 2018

10. LICENCIA Y DERECHO DE AUTOR

Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

Los autores conservan los derechos de autor de los artículos publicados y otorgan al editor el derecho a publicarlos, a ser citados como su editor original en caso de reutilización y a distribuirlos en todos los formatos y medios.

11. LICENSE & COPYRIGHT

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-NC-SA 4.0)

Authors retain copyright of the published papers and grant to the publisher the right to publish the article, to be cited as its original publisher in case of reuse, and to distribute it in all forms and media.