



ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y POROSIDAD DE CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTO PORTLAND TIPO 1 Y ADICIONADOS CPCA1 Y CPCA2

STATISTICAL ANALYSIS OF THE COMPRESSION STRENGTH AND POROSITY OF CONCRETE MADE WITH CEMENT PORTLAND TYPE 1 AND ADDITIONS CPCA1 AND CPCA2

Jesús Andrés, Corrales Vargas¹; José Gregorio, Atencio Alfonso²; Mariana, Suárez Pereira³

Recibido 04/08/2023; Aprobado: 25/10/2023

DOI: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica251.2>

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza la comparación de la resistencia a la compresión y porosidad del concreto elaborado con cemento *Portland* tipo 1, y concreto elaborado con cemento adicionado de tipo *CPCA1* y *CPCA2*, con relaciones agua/cemento de 0,45 y 0,60. Las muestras provienen de trabajos especiales de grado presentados en el Decanato de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Se utilizó un diseño con muestreo al azar con cero factores en bloque, mediante el análisis de varianza donde se prueba la hipótesis de igualdad de medias para comparar tratamientos con un nivel de confianza de 99%. Se obtuvo el rechazo de la hipótesis nula de igualdad de medias en la comparación de las resistencias y porosidad con $a/c = 0,45$, mientras que para la porosidad con $a/c = 0,60$. Se aceptó la hipótesis nula de igualdad de medias, a través del software estadístico *Statgraphics Centurion VI9*. Además del análisis estadístico, se obtuvo que los concretos elaborados con adicionados *CPCA1* y *CPCA2* no cumplen con los requisitos de diseño, asimismo, se determinó que estos concretos son altamente porosos y por ende de durabilidad inadecuada.

Palabras clave: cemento *Portland* tipo 1; adicionado *CPCA1*; adicionado *CPCA2*

¹Jesús Andrés, Corrales Vargas. Estudiante de ingeniería civil del Decanato de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Correo: jesuscorrales157@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2054-7753>

²José Gregorio, Atencio Alfonso. Estudiante de ingeniería civil del Decanato de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Correo: joseatencio95@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5846-7679>

³Mariana, Suárez Pereira. Ingeniero Civil. Docente investigadora de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela. Correo: marianasuarez@ucla.edu.ve. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4187-8066>

ABSTRACT

In the present research, a comparison is made of the compressive strength and porosity of concrete made with *Portland* cement type 1, and concrete made with added cement of type *CPCA1* and *CPCA2*, with water/cement ratios of 0,45 and 0,60. The samples come from special degree works presented at the School of Civil Engineering of the Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. A random sampling design with zero block factors was used, through analysis of variance where the hypothesis of equality of means is tested to compare treatments with a 99% confidence level. The rejection of the null hypothesis of equality of means was obtained in the comparison of resistance and porosity with $w/c = 0.45$, while for porosity with $w/c = 0.60$. The null hypothesis of equality of means was accepted through the *Statgraphics Centurion VI9* statistical software. In addition to the statistical analysis, it was obtained that the concretes made with *CPCA1* and *CPCA2* additives do not meet the design requirements; likewise, it was determined that the porosity of these concretes are highly porous and therefore of inadequate durability.

Keywords: *Portland cement type 1; added CPCA1; added CPCA2*

1. INTRODUCCIÓN

Por muchos años el concreto elaborado con cemento *Portland tipo 1* ha sido utilizado en la construcción debido a su alta resistencia y durabilidad, sin embargo, por la necesidad de disminuir el impacto ambiental en términos de ahorro de energía y reducciones del CO₂, las industrias y los entes constructores se han visto en la necesidad de producir con cementos alternos que satisfagan estas necesidades, es por ello, que han desarrollado concretos con adicionados, los cuales han modificado sus propiedades con la finalidad de aportar mejoras en sus cualidades físicas y mecánicas. Los cementos adicionados según la Norma Venezolana COVENIN 3134-2004 [1] se definen como el *producto obtenido por la pulverización conjunta de Clinker Portland y otros materiales como caliza, cenizas volantes, puzolanas, con la adición de agua y sulfato de calcio, para ser usados en la producción de concretos y morteros según usos específicos.*

Considerando los numerosos estudios realizados en base al uso del cemento *Portland tipo 1* y adicionados, se presenta en este artículo el análisis estadístico de los resultados obtenidos en trabajos de grado realizados en el Decanato de Ingeniería Civil (DIC) de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA), cuyo estudio haga referencia a la resistencia a la compresión y porosidad de concretos elaborados con cemento *Portland tipo 1* y con cemento adicionado con *CPCA1*, y *CPCA2*. Se utilizó un diseño completamente al azar con cero factores de bloque y nivel de confianza de 99%, mediante la técnica del análisis de varianza ANOVA y procesamiento a través del paquete estadístico *Statgraphics Centurión VI9* (<https://www.statgraphics.com/>).

Por lo tanto, de la siguiente investigación surgen las siguientes hipótesis ¿El concreto con

Revista Gaceta Técnica. Artículo de Investigación. 25(1), 4-29, enero-junio, 2024

ISSN: 2477-9539



cementos adicionados de tipo *CPCA* puede considerarse como resistente estructuralmente?,
¿El concreto con cemento adicionado de tipo *CPCA* es altamente poroso?, ¿Cuál es la
resistencia y porosidad promedio de los concretos con cementos adicionados de tipo *CPCA*?
¿Son estadísticamente significativas las diferencias obtenidas?

2. DESARROLLO

2.1. Concreto

De acuerdo con Porrero, se define el concreto como un material pastoso y moldeable que
tiene la propiedad de endurecer con el tiempo, conteniendo también trozos pétreos. A su vez
la pasta está constituida por agua y un producto aglomerante o conglomerante que es el
cemento, aquí el agua brinda fluidez a la mezcla y permite al cemento su endurecimiento [2].

2.2. Cemento

El cemento es el componente activo del concreto influyendo en todas las características de ese
material, constituye aproximadamente el 10 a un 20 % el peso del concreto. Ahora bien, al
hablar de cemento implícitamente se hace referencia al cemento *Portland*, constituyéndose
como una especie de cal hidráulica perfeccionada. Se produce haciendo que se combinen
químicamente una materia de carácter ácido, proveniente de la arcilla, con otras de carácter
básico aportada por caliza [2].

2.3. Cemento *Portland*

El cemento *Portland* se produce haciendo una combinación química de materiales de carácter
ácido como sílice y alúmina principalmente provenientes de arcillas, con otras de carácter
básico como la cal aportada por calizas. La reacción tiene lugar entre las materias primas,
finamente molidas, calentadas en hornos a temperaturas de semi-fusión [2].

2.4. Cemento Adicionado

El cemento adicionado corresponde al resultado obtenido de la pulverización de clinker
Portland y otros elementos tales como puzolanas, la escoria y sulfato de calcio, mayores al
5%. Este cemento resulta en cuanto a calidad similar al *Portland*.

Cemento Portland con adición de caliza o materiales calcáreos. Según la norma COVENIN
3134 [1], el cemento *Portland* con adiciones es el producto obtenido por la pulverización
conjunta del clinker *Portland* y caliza o materiales calcáreos, más agua y sulfato de calcio,
para ser empleado en la producción de concreto y morteros de los cuales se requiera
estabilidad, durabilidad, plasticidad, adherencia y capacidad de retención de agua. Ahora bien,

existe el cemento *Portland CPCA1*, que de acuerdo con la Norma Covenin 3134-04 es aquel cuyo contenido de caliza y otro material calcáreo es menor o igual al 15% del peso total. Y se tiene también, el cemento *Portland CPCA2* cuyo contenido de caliza u otro material calcáreo es mayor al 15% y menor o igual al 30% del peso total [1].

La importancia de emplear cemento adicionado de tipo *CPCA* se remite a:

- Mejoramiento de las propiedades del cemento y de su calidad
- Posibilidad de producir cementos especiales para aplicaciones específicas
- Conservación de la energía térmica y de los recursos minerales
- Necesidad de disminuir emisiones de CO₂ y de calor a la atmósfera
- Posibilidad de usar subproductos de otras industrias
- Incremento de productividad en industria cementera por reducción de costos de producción, confiabilidad al seleccionar sistema de molienda, y menor riesgo de inversión

2.5. Resistencia a la Compresión

La resistencia es la máxima respuesta que ofrece el material al ser sometido a cargas antes de fallar, depende fundamentalmente de la relación agua-cemento utilizada en la mezcla, sin embargo, existen otros parámetros que también la condicionan, como sería: la edad, la calidad de los materiales empleados y los aditivos y/o adiciones utilizadas. De acuerdo con el Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado (DURAR) [3], la resistencia a la compresión del hormigón es una de las propiedades más importantes y necesarias para realizar una evaluación general de la estructura, asumiendo su durabilidad, como la capacidad de resistencia mecánica.

2.6. Porosidad del Concreto

La porosidad es vista como espacios vacíos que quedan en la mezcla del concreto y morteros a consecuencia de la evaporación del agua excedente del amasado y del aire atrapado en la manipulación. Dependiendo de su tamaño se clasifica en:

- Poros de gel, cuyo tamaño corresponde entre 15-25 Angstrom, son espacios intersticiales del gel de cemento. Estos poros sólo intercambian agua con el ambiente cuando se secan a humedades menores al 20%, son imperceptibles a la vista.
- Poros capilares o poros efectivos, son de forma variable y tamaño del orden de 2 nm a 1µm. Cuando están interconectados y abiertos al exterior constituyen la causa principal de la permeabilidad de la pasta de cemento endurecida, así como su vulnerabilidad a la acción de agentes externos.

- Poros de aire o porosidad aparente, se ocasionan por las burbujas de aire atrapadas en la masa del hormigón, en el proceso de manipulación tecnológica, generalmente son mayores de 0,05mm.

3. METODOLOGÍA

El estudio corresponde a una investigación de tipo descriptiva documental ya que por una parte recolecta, organiza, analiza, y describe situaciones predominantes de los resultados referentes a la resistencia y porosidad de las distintas investigaciones analizadas sin modificar sus resultados; y por otra, es un proceso de recolección, organización y análisis de una serie de datos que tratan sobre un tema en particular. La población objeto estudio son los resultados obtenidos en los trabajos de grado realizados en el DIC, y cuyo materia de estudio se basó en concreto elaborado con cemento *Portland* tipo 1 y cemento adicionado de tipo *CPCA1* y *CPCA2*. Las variables consideradas fueron resistencia a la compresión y porosidad con $a/c = 0,45$ y $a/c=0,60$, tomadas como variables de tipo continuas. El tamaño muestral se obtuvo por muestreo aleatorio simple, empleando la expresión 1 para calcularlo.

$$n = \left(\frac{Z(\alpha/2) * P * Q}{e} \right)^2 \quad (1)$$

Donde:

n = Tamaño muestral

Z ($\alpha/2$) = Factor de confianza definido por la tabla de distribución normal

P = Probabilidad de éxito

Q = Probabilidad de fracaso

e = Error de muestreo

Para el cálculo del tamaño muestral (n), se utilizó un nivel de confianza del 99% ($1-\alpha$) dándole valor a Z ($\alpha/2$) = -2,57 según la tabla de áreas bajo la curva normal, con un error de estimación de la muestra (e) = 4% que por criterio del investigador se le asigna a este trabajo. Las probabilidades de éxito (P) y de fracaso (Q) se consideraron del 50% esto quiere decir P = Q = 0,50 con el fin de obtener el tamaño muestral máximo para la confiabilidad planteada, que se seleccionará de esta población.

$$Z (\alpha/2) = -2,57$$

$$P = 0,50$$

$$Q = 0,50$$

$$e = 0,04 \quad n = (Z(\alpha/2) * P * Q / e)^2 = (-2,57 * 0,5 * 0,5 / 0,04)^2 = 258$$

$$\therefore n = 258 \text{ muestras}$$

3.1. Fases de la Investigación

- Recolección de datos

Los datos fueron obtenidos de la plataforma virtual de la biblioteca del DIC, los trabajos recolectados debían cumplir con las siguientes características: contar con ensayos referidos a concretos elaborados con cemento *Portland* tipo 1, con cementos adicionados de tipo *CPCAI* y *CPCA2*, y resultados de resistencia a la compresión y porosidad cuya relación $a/c = 0,45$ y $a/c=0,60$ a edades de 28 días. El título de los trabajos seleccionados se refleja en la Tabla 1.

Tabla 1. *Títulos de los trabajos de grado recolectados. Fuente: los autores*

Autores	Título	Año
Casanova, Carmen	Comparación del comportamiento mecánico y físico del concreto para diferentes métodos de diseño de mezclas, variando la relación agua / cemento [4].	2009
Alvarado Mileidys y Oropeza Karlew	Evaluación de las propiedades físico-mecánicas y electroquímicas del concreto elaborado con cemento adicionado <i>cpc2</i> expuesto a un ambiente marino acelerado [5].	2012
Dávila G, Verónica M. y Romero D, Lexys G.	Evaluación de la durabilidad de elementos de concreto armado, elaborados con cemento tipo <i>cpc1</i> , expuesto a un ambiente marino acelerado por la técnica del rociado [6].	2012
Kathiusca Conde y Francis Guedez	Evaluación de las propiedades electroquímicas de concreto elaborado con cemento adicionado expuesto a un ambiente marino acelerado [7].	2012
Mata Aquiles y Salas Paola	Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas en mezclas de concreto elaborado con cemento portland tipo <i>cpc1</i> con diferente relación agua-cemento [8].	2012
Mujica Greys	Caracterización físico-mecánica de concretos elaborados con cementos adicionados <i>CPCAI</i> [9].	2012
Terán D., Wuillimar K.	Evaluación de la durabilidad de concretos elaborados con cementos adicionados tipo <i>CPCAI</i> mediante ensayo de difusión rápida del ion cloruro cr [10].	2012
Venegas Widmar, Francisco Javier	Evaluación del efecto de la adición del 20% de resina de silicona sobre la porosidad y resistencia mecánica en probetas de concreto [11].	2012
Imanuel Figueira & Eduardo Meléndez	Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas de concreto elaboradas con cemento adicionado portland tipo <i>cpc1</i> con relaciones agua/cementante y agua/cemento de 0,45 y 0,60 [12].	2014
Maryeliz Páez y Richar Garcés	Evaluación de la durabilidad de concretos elaborados con cemento adicionado tipo <i>cpc1</i> , en un ambiente natural [13].	2014
Carrillo B. Katherine C. y Pérez L. Gabriela C.	Evaluación de la resistencia a la penetración por difusión del ion Cl^- de concretos elaborado con cementos adicionados tipo <i>CPCAI</i> [14].	2014
Duran Francis y Freitez Jorge	Evaluación de la corrosión del concreto armado en probetas elaboradas con cemento adicionado <i>CPCA</i> expuesto a un ambiente marino acelerado [15].	2015
Indoménico A., Verónica C. y Reverón L. José A.	Evaluación de la carbonatación en concretos elaborados con cementos adicionados tipo <i>CPCA</i> , a través de métodos acelerados [16].	2015

Meza P, Danny E. & Peña C, Liliana M.	Análisis comparativo de la resistencia a la compresión y la porosidad de concretos elaborados con cemento PORTLAND tipo i y cemento portland tipo CPCA1 [17].	2015
Tovar L, Suyen A. & Montero L, Rosalinda D.	Evaluación de la durabilidad de concretos elaborados con cemento adicionado CPCA2 en ambiente urbano natural (evaluación a un año de exposición) [18].	2016
Lovera Altuna, Donato Pastor	Evaluación de la resistencia a la penetración por difusión del ion cloruro (Cl) en concretos elaborados con cemento PORTLAND tipo i [19].	2016
Bosco Barreto, Ricardo Antonio	Evaluación físico-mecánica de mezclas de concreto diseñada por el método de porrero, utilizando un aditivo plastificante de alto rango [20].	2017
Carrillo Castellanos, Maria Gabriela	Evaluación de las variaciones en las propiedades mecánicas y porosidad en mezclas de concreto, elaboradas con sustitución parcial del agregado fino por arena de sílice de gradación 20/40 [21].	2017
Orozco G., Luis G.	Evaluación de mezclas de concreto modificando la dosis de cemento y del agregado fino por sílice [22]	2017
Colmenarez Deviez, Carla Dayana	Evaluación de las propiedades físicas mecánicas en concretos elaborados con sustitución parcial del agregado grueso por residuos de cilindros normalizados de concreto [23].	2017
De Flavis Rodriguez, Franchesca María Almao A. Wilfred R. y Medina M. Enyelber J.	Evaluación de la durabilidad del concreto elaborado con mezclas modificadas con polvo de sílice expuestas en ambiente agresivo natural [24].	2017
Querales Cordero, Diego Alberto	Comparación de las propiedades físico-mecánicas de concretos elaborados con cemento tipo portland adicionado utilizando el método de diseño del manual de concreto estructural [25].	2018
Querales Cordero, Diego Alberto	Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de concretos elaborados con cemento portland adicionado incorporando aditivo reductor de agua y adición de arena de sílice [26].	2018
Carrillo Melendez, Luis Carlos	Evaluación de mezclas de concreto en estado fresco y endurecido utilizando aditivo plastificante como reductor de agua [27].	2018
Bombace Godoy, Luis Fernando	Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de un concreto elaborado con aditivo impermeabilizante de marca comercial [28].	2018
Mosquera Peñuela, Mizraim Pastora	Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de una mezcla de concreto con sustitución parcial del 10 % y 12.5 % y 15 % de cemento por vidrio molido [29].	2019
Camacho Rivas, Geraldín	Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de concretos elaborados con cemento portland adicionado, con diferentes relaciones agua/cementante y cantidades de cemento, empleando el método del A.C.I. [30].	2021

- Análisis e interpretación de datos

Para analizar los datos recolectados se plantearon dos escenarios, uno para comparar tres tratamientos en conjunto, y otro para tratamientos en pareja, tanto para resistencia a la compresión como para la porosidad total. Se generarán 4 análisis para el primer escenario y 8 para el segundo.

Escenario 1. El primer tratamiento es la mezcla patrón realizada con cemento *Portland* tipo 1, el segundo tratamiento concretos elaborados con cemento *CPCA1*, y tercer tratamiento con

CPCA2. Este análisis general permite probar las hipótesis de igualdad de medias versus la alternativa de que al menos dos de ellos sean diferentes, para la resistencia a la compresión a los 28 días con una relación $a/c = 0,45$. Igualmente, se procedió para el análisis de los datos con resistencia a la compresión a los 28 días con relación $a/c = 0,60$. Del mismo modo, con la variable porosidad: se compararán los tres tratamientos, la mezcla patrón, CPCA1 y CPCA2, tanto para $a/c = 0,45$ como para $a/c = 0,60$ a los 28 días respectivamente.

Escenario 2. El tratamiento de mezcla patrón elaborado con cemento *Portland* tipo 1 compararlo con los CPCA1, para resistencia a la compresión a los 28 días con relación $a/c = 0,45$ y $a/c = 0,60$. El mismo procedimiento para concreto elaborado con mezcla patrón y CPCA2, con relación $a/c = 0,45$ y $a/c = 0,60$. Para la porosidad, se comparó la mezcla patrón con respecto a CPCA1, y lo mismo para la mezcla patrón con CPCA2 ambas para relaciones $a/c = 0,45$ y $0,60$ a los 28 días.

En el sentido de enmarcar este trabajo de investigación y comparar datos muestrales respecto a los parámetros mundialmente aceptados se recurre a la norma ACI 211-91 [31] para resistencias de diseño y al Manual DURAR para porosidad [3]. Los valores de resistencia de diseño fueron elegidos interpolando los de resistencia según la relación agua/cemento de acuerdo en la Norma ACI 211-91: $f'_c(0,45) = 380\text{kgf/cm}^2$ y $f'_c(0,60) = 264,29\text{kgf/cm}^2$. A cada uno de los escenarios se le realizó análisis descriptivo e inferencial a través del diseño de experimentos, y del ANOVA de un solo factor con cero factores de bloque.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Escenario 1. Análisis General de Todos los Tratamientos ($k = 3$) de Resistencia a la Compresión (f'_c) con $a/c = 0,45$.

Análisis descriptivo. Para este análisis se obtuvieron 67 datos de mezclas de concreto con cemento CPCA1, 22 de CPCA2 y 51 de mezcla patrón, generando así una muestra total (n) igual a 140 datos de resistencia con relación agua/cemento igual a 0,45 analizados obteniendo como resultado los valores de la siguiente tabla:

Tabla 2. Tabla de datos descriptivos para (F'_c) con $a/c = 0,45$. Fuente: los autores

Mezclas	Recuento	Promedio (kgf/cm ²)	Mediana (kgf/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
CPCA 1	67	328,052	345,56	61,1799	18,6494%
CPCA 2	22	270,971	249,25	72,1631	26,6313%
Patrón	51	343,414	329,0	59,6964	17,3832%
Total	140	324,679	333,42	66,6085	20,5152%

Al compararse con la resistencia de diseño $f'_c = 380\text{kgf/cm}^2$, se observa que la media aritmética de los tratamientos no cumple con el valor de diseño esperado. El valor posicional

total es de 333,42kgf/cm². En cuanto a las desviaciones se observaron dispersiones relativamente bajas, con coeficiente de variación total intermedio, lo que quiere decir que el promedio de resistencia total no necesariamente representa al grupo.

Análisis inferencial. Para considerar la dispersión presentada en el análisis descriptivo se procedió con la varianza ANOVA que utiliza los cocientes de varianzas para probar la hipótesis de igualdad de medias $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_3$ contra la alternativa H_a de que al menos una sea diferente, separando la variación total con cada fuente de variación, la variabilidad debida al tratamiento y la variabilidad debida al error (ver Tabla 3).

Tabla 3. Tabla ANOVA para (f'_c) con $a/c = 0,45$. Fuente: los autores

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamientos	82122,9	2	41061,5	10,52	0,0001
Error	534577,0	137	3902,03		
Total	616700,0	139			

Se puede observar que la variabilidad debida a los tratamientos es de 82122,9kgf/cm² mientras que para el error es de 534577kgf/cm². La razón-F, que en este caso es igual a 10,52, es el cociente entre el estimado de variación entre tratamientos y el estimado del error. El Valor-P es el área bajo la curva de la distribución “F” de Fisher a la derecha de $F_0 = 10,52$ en vista que el valor-P es menor que 0,01, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tratamientos, con un nivel de confianza de 0,99 rechazando la igualdad de medias e indicando que si hay efecto de tratamiento. En general se observa que el tratamiento *CPCA2* es diferente, es decir, no se traslapa con *CPCA1* ni patrón, por otra parte, se evidencia que la variabilidad de *CPCA2* es mayor a la de *CPCA1* y patrón, presentando la existencia de diferencias estadísticamente significativas.

Pruebas de rangos múltiples (LSD) con 99% de confiabilidad. Una vez rechazada la hipótesis nula del análisis de varianza y analizando los gráficos de caja y bigote y de medias (LSD) para los tratamientos en estudio, se investigó cuáles son diferentes por medio del método LSD (diferencia mínima significativa) que compara parejas de tratamientos. En la Tabla 4 se puede observar que los tratamientos *CPCA1* y patrón pertenecen al grupo homogéneo, lo que quiere decir que poseen características similares o igualdad de medias, mientras que el tratamiento *CPCA2* no comparte las mismas características que los otros tratamientos.

Tabla 4. Tabla de homogeneidad para (f'_c) con $a/c = 0,45$. Fuente: los autores

Mezclas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CPCA2	22	270,971	X
CPCA1	67	328,052	X
Patrón	51	343,414	X

Mientras que en la Tabla 5 el asterisco indica que el tratamiento *CPCA2* presenta diferencias

estadísticamente significativas respecto a los demás con un nivel de confianza del 99%.

Tabla 5. Tabla de LSD para ($f'c$) con $a/c = 0,45$. Fuente: los autores

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CPCA1-CPCA2	*	57,081	40,0956
CPCA1-PATRÓN		-15,3617	30,3228
CPCA2-Patrón	*	-72,4428	41,6213

Pruebas gráficas de residuos para comprobar los supuestos (generalizado). Para darle validez a los resultados del ANOVA se verifican los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia, ya que la variable respuesta se debe distribuir normalmente con la misma varianza en cada tratamiento y las mediciones deben ser independientes, utilizando para ello las pruebas gráficas de residuos.

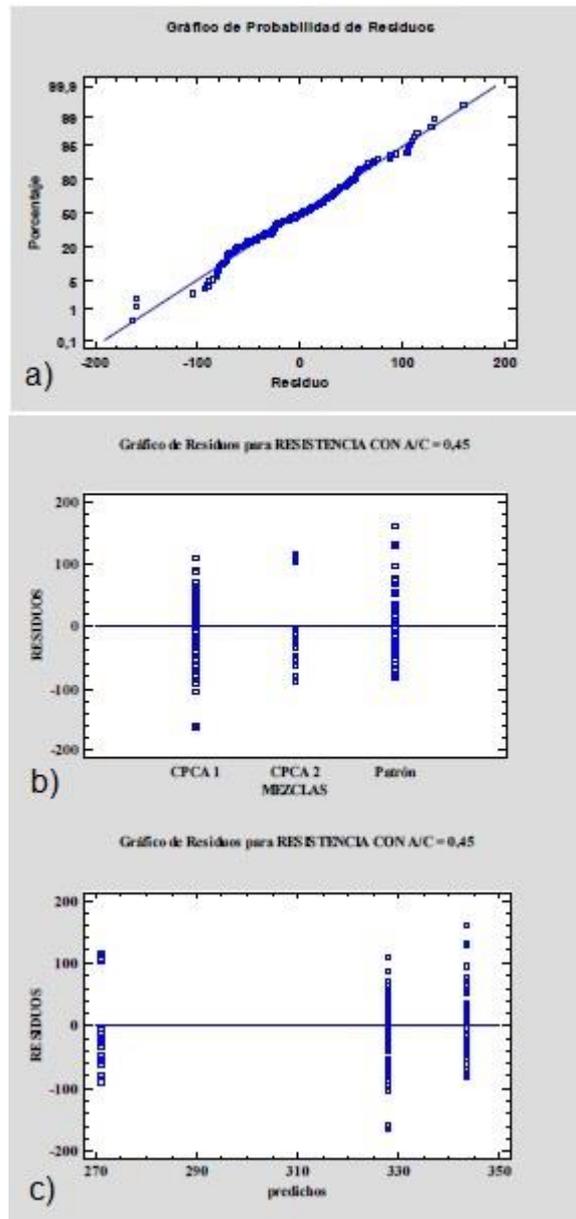


Figura 1. Probabilidad de: a) residuos para el supuesto de la normalidad, b) residuos/mezclas para el supuesto de varianza constante para ($f'c$) con $a/c = 0,45$ y c) residuos para el supuesto de independencia para ($f'c$) con $a/c=0,45$ Fuente: los autores

En la Figura 1a se puede observar cómo los residuos siguen una línea recta, de tal manera, se afirma que se ajustan a una distribución normal; mientras que en la Figura 1b se aprecia una amplitud considerable entre los residuos del tratamiento CPCA2, mientras que los otros dos tratamientos no, puesto que no refleja un patrón en específico se cumple el supuesto de varianza constante. Mientras que, en 1c muestra la aleatoriedad de los datos, es decir, no siguen un patrón en específico, por lo que se cumple el supuesto de independencia.

Pruebas analíticas para la verificación del supuesto de normalidad (individual). Debido a que el valor-P de la prueba realizada es mayor a 0,01, se acepta la idea de que el tratamiento patrón proviene de una distribución normal con 99% de confianza (ver Tabla 6). Por otro lado, debido a que el valor-P de la prueba realizada es menor a 0,01, se rechaza la idea de que tratamiento CPCA1 proviene de una distribución normal con 99% de confianza (ver Tabla 7). Por este motivo, es necesario realizar la Prueba de Bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, en la Tabla 8 de resultados mostrada se puede observar que el valor más pequeño obtenido es mayor a 0,01, el cual indica que se acepta la normalidad de los datos a través del Método de Kolgomorov-Smirnov con una confianza del 99%.

Tabla 6. Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento patrón para (f'c) con a/c = 0,45. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
0,946813	0,0232475

Tabla 7. Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento CPCA1 para (f'c) con a/c = 0,45. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
0,92595	0,000655928

Tabla 8. Prueba de Kolmogorov Smirnov para el tratamiento CPCA1 para (f'c) con a/c = 0,45. Fuente: los autores

	Normal
DMAS	0,0910574
DMENOS	0,134091
DN	0,134091
Valor-P	0,179811

Por otro lado, debido a que el valor-P de la prueba realizada es menor a 0,01, se rechaza la idea de que tratamiento CPCA2 provenga de una distribución normal con 99% de confianza. Por este motivo es necesario realizar la Prueba de Bondad de ajuste de Kolmogorov- Smirnov (ver Tabla 9). En la Tabla 10 de resultados mostrada se puede observar que el valor más pequeño obtenido es mayor a 0,01, el cual indica que se acepta la normalidad de los datos a través del método de Kolmogorov Smirnov con una confianza del 99%.

Tabla 9. Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento CPCA2 para (f'c) con a/c = 0,45. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
0,833007	0,0017245

Tabla 10. Prueba de Kolmogorov Smirnov para el tratamiento CPCA1 para (f'_c) con $a/c = 0,45$. Fuente: los autores

	Normal
DMAS	0,246183
DMENOS	0,199434
DN	0,246183
Valor-P	0,13899

Verificación del supuesto de varianza constante. Para la verificación del supuesto de varianza constante de forma analítica se procede a calcular el estadístico de prueba Levene con los tres tratamientos conjuntamente (ver Tabla 11). Puesto que el valor-P es mayor que 0,01, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, lo que significa que se acepta la igualdad de varianza entre tratamientos y se cumple este supuesto, con un nivel del 99,0% de confianza.

Tabla 11. Prueba de Levene para (f'_c) con $a/c = 0,45$. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
0,725038	0,4862

4.2. Escenario 1. Análisis General de Todos los Tratamientos ($k = 3$) de Resistencia a la Compresión (f'_c) con $a/c = 0,60$.

Análisis descriptivo. Para este análisis se obtuvieron 69 datos de mezclas de concreto con cemento CPCA1, 22 de CPCA2 y 19 de mezcla patrón, generando así una muestra total (n) igual a 110 datos de resistencia con relación agua/cemento igual a 0,60 visualizados en la Tabla 12.

Tabla 12. Tabla de datos descriptivos para (f'_c) con $a/c = 0,45$. Fuente: los autores

Mezclas	Recuento	Promedio (kgf/cm ²)	Mediana (kgf/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
CPCA1	69	251,084	244,28	59,1709	23,5661%
CPCA2	22	187,314	210,33	45,5783	24,3326%
Patrón	19	273,674	266,41	30,3285	11,082%
Total	110	242,232	242,5	59,7245	24,6559%

Se puede observar que la media aritmética de los tratamientos presenta valores similares entre los concretos con CPCA1 y patrón, con una media total de 242,232kgf/cm², de estos se obtuvo que el tratamiento de mayor resistencia fue el patrón y detallándose que $CPCA2 < CPCA1 < \text{patrón}$. Al compararse con la resistencia de diseño $f'_c = 264,29\text{kgf/cm}^2$, se observa que la media aritmética del tratamiento con mezcla patrón cumple, por lo que se considera aceptable, sin embargo, la media de los tratamientos CPCA1 y CPCA2, no cumplen con el valor de diseño esperado. El valor posicional total es de 242,5kgf/cm²; en cuanto a las desviaciones, se observaron dispersiones relativamente bajas, con coeficiente de variación total intermedio, lo que significa que el promedio total no necesariamente representa al grupo.

Análisis inferencial. Al igual que en el caso anterior se realizará el análisis de varianza ANOVA que, separa la variación total con cada fuente de variación, la variabilidad debida al



tratamiento y la variabilidad debida al error.

Tabla 13. Tabla ANOVA para ($f'c$) con $a/c = 0,60$ Fuente: los autores

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamientos	90542,2	2	45271,1	16,24	0,0000
Error	298263	107	2787,5		
Total	616700	109			

En la Tabla 13 se puede observar que la variabilidad debida a los tratamientos es de 90542,2kgf/cm² mientras que para el error es de 298263 kgf/cm². La razón-F, que en este caso es igual a 16,24, es el cociente entre el estimado de variación entre tratamientos y el estimado del error. El Valor-P es el área bajo la curva de la distribución “F” de Fisher a la derecha de $F_0 = 16,24$ en vista que el valor-p de la prueba-F es menor que 0,01, se observa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tratamientos, con un nivel de confianza de 0,99 rechazando la igualdad de medias e indicando que si hay efecto de tratamiento.

Pruebas de rangos múltiples (LSD) con 99% de confiabilidad. En la Tabla 14 se puede observar que los tratamientos CPCA1 y patrón pertenecen al mismo grupo homogéneo, lo que quiere decir que poseen características similares o igualdad de medias, mientras que el tratamiento CPCA2 no comparte las mismas características que los otros tratamientos. Para la Tabla 15 el asterisco indica que el tratamiento CPCA2 presenta diferencias estadísticamente significativas con los demás con un nivel de confianza del 99%.

Tabla 14. Tabla de homogeneidad para ($f'c$) con $a/c = 0,60$. Fuente: los autores

Mezclas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CPCA2	22	187,314	X
CPCA1	69	251,084	X
Patrón	19	273,674	X

Tabla 15. Tabla de LSD para ($f'c$) con $a/c = 0,60$. Fuente: los autores

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CPCA 1 - CPCA 2	*	63,7703	33,9015
CPCA 1 - patrón		-22,5899	35,8735
CPCA 2 - patrón	*	-86,3601	43,3648

Pruebas gráficas de residuos para comprobar los supuestos (generalizado). Para darle validez a los resultados del ANOVA se verifican los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia. En la Figura 2a se puede observar como no todos los residuos se ajustan a la línea recta, por lo que no está muy claro gráficamente si se cumple el supuesto, por lo tanto, se comprobará de manera analítica a través de la prueba de Shapiro-Wilks posteriormente. En la Figura 2b se aprecia amplitud en la variabilidad de residuos del tratamiento CPCA2, mientras que la amplitud de los otros tratamientos no es tan significativa, los datos observados no presentan ningún patrón en forma de embudo ni de corneta, lo que

significa que los tratamientos presentan igualdad de varianzas cumpliendo con el supuesto. Mientras que, 2c muestra la aleatoriedad de los datos, es decir, no siguen un patrón en específico, por lo que se cumple el supuesto de independencia.

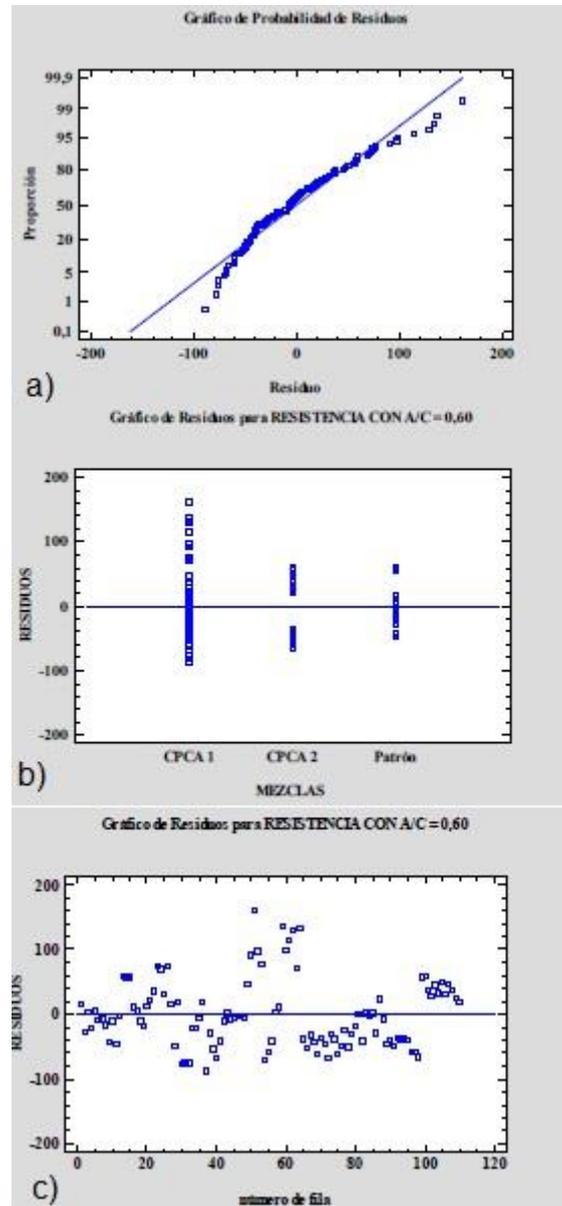


Figura 2. Probabilidad de: a) residuos para el supuesto de la normalidad, b) residuos/mezclas para el supuesto de varianza constante para (f'_c) con $a/c = 0,60$, y c) residuos para el supuesto de independencia para (f'_c) con $a/c=0,60$ Fuente: los autores

Pruebas analíticas para verificación de supuestos. Verificación del supuesto de normalidad (individual). Se realizó la Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento Patrón para (f'_c) con $a/c = 0,60$ (ver Tabla 16). Debido a que el valor-P de la prueba realizada es mayor a 0,01, se acepta la idea de que el tratamiento Patrón proviene de una distribución normal con 99% de confianza. Posteriormente se realiza la Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento CPCA1 para (f'_c) con $a/c = 0,60$ (ver Tabla 17). Debido a que el valor-P de la prueba realizada es

menor a 0,01, se rechaza la idea de que tratamiento *CPCA1* proviene de una distribución normal con 99% de confianza. Por este motivo es necesario realizar la Prueba de Bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (ver Tabla 18). En esta tabla se observa que el valor más pequeño obtenido es mayor a 0,01, el cual indica que se acepta la normalidad de los datos a través del método de Kolmogorov Smirnov con una confianza del 99%.

Tabla 16. Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento patrón para ($f'c$) con $a/c = 0,60$. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
0,910493	0,0755854

Tabla 17. Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento *CPCA1* para ($f'c$) con $a/c = 0,60$. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
0,921377	0,000336057

Tabla 18. Prueba de Kolmogorov Smirnov para el tratamiento *CPCA1* para ($f'c$) con $a/c = 0,60$. Fuente: los autores

	Normal
DMAS	0,147014
DMENOS	0,0805177
DN	0,147014
Valor-P	0,101328

De igual forma se realizó Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento *CPCA2* para ($f'c$) con $a/c = 0,60$ (ver Tabla 19). Debido a que el valor-P de la prueba realizada es menor a 0.01, se rechaza la idea de que el tratamiento *CPCA2* provenga de una distribución normal con 99% de confianza. Por este motivo es necesario realizar la Prueba de Bondad de ajuste de Kolmogorov- Smirnov (ver Tabla 20). En esta tabla se puede observar que el valor más pequeño obtenido es mayor a 0,01, el cual indica que se acepta la normalidad de los datos a través del método de Kolmogorov Smirnov con una confianza del 99%.

Tabla 19. Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento *CPCA2* para ($f'c$) con $a/c = 0,60$. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
0,845927	0,00287837

Tabla 20. Prueba de Kolmogorov Smirnov para el tratamiento *CPCA2* para ($f'c$) con $a/c = 0,60$. Fuente: los autores

	Normal
DMAS	0,244412
DMENOS	0,218988
DN	0,244412
Valor-P	0,144409

Verificación del supuesto de varianza constante. Para esta verificación de forma analítica se procede a calcular el estadístico de prueba Levene con los tres tratamientos conjuntamente. Puesto que el valor-P es mayor que 0,01, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, lo que significa que se acepta la igualdad de varianzas entre los tratamientos de este supuesto, con un nivel del 99,0% de confianza (ver Tabla 21).

Tabla 21. Prueba de Levene para (f'_{α}) con $a/c = 0,60$. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
4,14746	0,0184

4.3. Escenario 1. Análisis General de Todos los Tratamientos ($k = 3$) de Porosidad (%P) con $a/c = 0,45$.

Análisis descriptivo. Para este análisis se obtuvieron 60 datos de mezclas de concreto con cemento *CPCA1*, 16 de *CPCA2* y 35 de mezcla patrón, generando así una muestra total (n) igual a 111 datos de porosidad total con relación agua/cemento igual a 0,45, en el cual, fueron analizados obteniendo como resultado los valores de la Tabla 22.

Tabla 22. Tabla de datos descriptivos para (%P) con $a/c = 0,45$. Fuente: los autores

Mezclas	Recuento	Promedio (kgf/cm ²)	Mediana (kgf/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
CPCA 1	60	16,7822	16,707	2,30286	13,7221%
CPCA 2	16	17,6088	17,265	1,26605	7,18988%
PATRÓN	35	14,8489	15,88	2,32273	15,6425%
TOTAL	111	16,2917	16,47	2,40343	14,7525%

Según se puede observar la media aritmética de los tratamientos *CPCA1*, *CPCA2* y patrón iguales a 16,78, 17,61 y 14,85 % respectivamente, presentando valores variados entre sí, con una media total de 16,29 %, de estos se obtuvo que el tratamiento que presenta menor (%P) fue el Patrón, donde se tiene que Patrón < *CPCA1* < *CPCA2*, al compararse con el valor referencial del Manual DURAR [3], donde se estipula que los concretos con Porosidad > 15% son concretos con durabilidad inadecuada, se puede estimar que los tratamientos son concretos porosos con durabilidad inadecuada, exceptuando en patrón que su vez se aproxima a 15%. El valor posicional de porosidad total es de 16,47 %. En cuanto a las desviaciones se observaron dispersiones bajas, con coeficiente de variación total intermedio, lo que significa que el promedio de porosidad total no necesariamente representa al grupo.

Análisis inferencial. En la Tabla 23 de ANOVA se puede observar que la variabilidad debida a los tratamientos es de 115,049 %, mientras que para el error es de 520,362 %. La razón-F, que en este caso es igual a 11,94, es el cociente entre el estimado de variación entre tratamientos y el estimado del error.

Tabla 23. Tabla ANOVA para (%P) con $a/c = 0,45$. Fuente: los autores

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamientos	115,049	2	57,5246	11,94	0,0000
Error	520,362	108	4,81816		
Total	635,411	110			

El Valor-P es el área bajo la curva de la distribución “F” de Fisher a la derecha de $F_0 = 11,94$ en vista que el valor-p de la prueba-F es menor que 0,01, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tratamientos, con un nivel de confianza

de 0,99 rechazando la igualdad de medias e indicando que si hay efecto de tratamiento.

Pruebas de rangos múltiples (LSD) con 99% de confiabilidad. Una vez rechazada la hipótesis nula del análisis de varianza, se procede a investigar cuáles tratamientos son diferentes, por medio del método LSD (diferencia mínima significativa) que compara parejas de tratamientos. En la Tabla 24 se puede observar que los tratamientos *CPCA1* y *CPCA2* pertenecen al grupo homogéneo, lo que quiere decir que poseen características similares, mientras que el tratamiento patrón no comparte las mismas características que los otros tratamientos. Mientras que para la Tabla 25 el asterisco indica que el tratamiento patrón presenta diferencias estadísticamente significativas con los demás con un nivel de confianza del 99%.

Tabla 24. Tabla de homogeneidad para (%P) con $a/c = 0,45$. Fuente: los autores

Mezclas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Patrón	35	14,8489	X
CPCA1	60	16,7822	X
CPCA2	16	17,6088	X

Tabla 25. Tabla de LSD para (%P) con $a/c = 0,45$. Fuente: los autores

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CPCA 1 - CPCA 2		-0,8266	1,61944
CPCA 1 - Patrón	*	1,93329	1,22418
CPCA 2 - Patrón	*	2,75989	1,73694

Pruebas analíticas para verificación de supuestos. Verificación del supuesto de normalidad (individual). Se realiza la prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento patrón para (%P) con $a/c = 0,45$. Debido a que el valor-P de la prueba realizada es menor a 0,01, se rechaza la idea de que tratamiento con mezcla patrón proviene de una distribución normal con 99% de confianza (ver Tabla 26). Por tal motivo es necesario realizar la Prueba de Bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov. En la Tabla 27 se puede observar que el valor más pequeño obtenido es mayor a 0,01, el cual indica que se acepta la normalidad de los datos a través del método de Kolmogorov Smirnov con una confianza del 99%.

Tabla 26. Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento patrón para (%P) con $a/c = 0,45$. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
0,816501	0,0000437233

Tabla 27. Prueba de Kolmogorov Smirnov para el tratamiento patrón para (%P) con $a/c = 0,45$. Fuente: los autores

Normal	
DMAS	0,143081
DMENOS	0,248834
DN	0,248834
Valor-P	0,0262221

De igual forma se procede con la Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento *CPCA1* para (%P) con $a/c = 0,45$. Debido a que el valor-P de la prueba realizada es menor a 0,01, se rechaza la idea de que tratamiento *CPCA1* provenga de una distribución normal con 99% de

confianza (ver Tabla 28). Por este motivo es necesario realizar la Prueba de Bondad de ajuste de Kolmogorov- Smirnov, en la Tabla 29 de resultados mostrada se puede observar que el valor más pequeño obtenido es mayor a 0,01, el cual indica que se acepta la normalidad de los datos a través del método de Kolmogorov Smirnov con una confianza del 99%.

Tabla 28. Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento CPCA1 para (%P) con a/c = 0,45. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
0,885385	0,000040216

Tabla 29. Prueba de Kolmogorov Smirnov para el tratamiento CPCA1 para (%P) con a/c = 0,45. Fuente: los autores

	Normal
DMAS	0,115486
DMENOS	0,167491
DN	0,167491
Valor-P	0,0690287

También se procede con la Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento CPCA2 para (%P) con a/c = 0,45. Debido a que el valor-P de la prueba realizada es mayor a 0,01, se acepta la idea de que tratamiento CPCA2 provenga de una distribución normal con 99% de confianza (ver Tabla 30).

Tabla 30. Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento CPCA2 para (%P) con a/c = 0,45. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
0,944582	0,408972

Verificación del supuesto de varianza constante:

Para la verificación del supuesto de varianza constante de forma analítica se procede a calcular el estadístico de prueba Levene con los tres tratamientos conjuntamente (ver Tabla 31). Puesto que el valor-P es mayor que 0,01, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, lo que significa que se acepta la igualdad de varianzas entre tratamientos con un nivel del 99% de confianza.

Tabla 31. Prueba de Levene para (%P) con a/c = 0,45. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
1,49573	0,2287

4.4. Escenario 1. Análisis General de Todos los Tratamientos (k = 3) de Porosidad (%P) con a/c = 0,60.

Análisis descriptivo. Para este análisis se obtuvieron 66 datos de mezclas de concreto con cemento CPCA1, 16 de CPCA2 y 21 de mezcla patrón , generando así una muestra total (n) igual a 103 datos de porosidad total con relación agua/cemento igual a 0,60 (ver Tabla 32) se puede observar la media aritmética de los tratamientos CPCA1, CPCA2 y patrón iguales a 17,73, 17,76 y 16,12 % respectivamente, presentando valores similares entre sí, lo que indica poca variabilidad, con una media total de 17,41 %, de estos se obtuvo que el tratamiento que

presenta menor porosidad fue el Patrón , donde se tiene que patrón < CPCA1 < CPCA2, al compararse con el valor referencial del Manual DURAR donde se estipula que los concretos con porosidad > 15% son concretos con durabilidad inadecuada, se observa que estos concretos son porosos con durabilidad inadecuada. El valor posicional de porosidad total es de 17,33 %. En cuanto a las desviaciones se observaron dispersiones bajas, con coeficiente de variación total intermedio, lo que significa que el promedio de porosidad total no necesariamente representa al grupo.

Tabla 32. Datos descriptivos (%P) con a/c = 0,60. Fuente: los autores

Mezclas	Recuento	Promedio (kgf/cm ²)	Mediana (kgf/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
CPCA 1	66	17,7328	17,29	2,71513	15,3113%
CPCA 2	16	17,7581	17,875	0,819034	4,61216%
PATRÓN	21	16,1205	16,8	2,52058	15,6359%
TOTAL	103	17,408	17,33	2,54381	14,6129%

Análisis inferencial. Se puede observar en la tabla 33 que la variabilidad debida a los tratamientos es 43,74 %, mientras que para el error es de 616,30 %. La razón-F, que en este caso es igual a 3,55, es el cociente entre el estimado de variación entre tratamientos y el estimado del error. El Valor-P es el área bajo la curva de la distribución “F” de Fisher a la derecha de Fo = 3,55 en vista que el Valor-P de la prueba-F es mayor a 0,01 no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tratamientos, con un nivel de confianza de 0,99 aceptando la hipótesis nula y con ello la igualdad de medias e indicando que no hay efecto entre los tratamientos.

Tabla 33. Tabla ANOVA para (%P) con a/c = 0,60 Fuente: los autores

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamientos	43,7356	2	21,8678	3,55	0,0325
Error	616,303	100	6,16303		
Total	660,039	102			

Pruebas analíticas para verificación de supuestos. Verificación del supuesto de normalidad (individual). Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento patrón para (%P) con a/c = 0,60 (ver Tabla 34), debido a que el valor-P de la prueba realizada es menor a 0,01, se rechaza la idea de que tratamiento con mezcla patrón proviene de una distribución normal con 99% de confianza. Por tal motivo es necesario realizar la Prueba de Bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov,

Tabla 34. Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento patrón para (%P) con a/c = 0,60. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
0,810214	0,00094396

En la Tabla 35 se puede observar que el valor más pequeño obtenido es mayor a 0,01, el cual indica que se acepta la normalidad de los datos a través del método de Kolmogorov Smirnov con una confianza del 99%.

Tabla 35. Prueba de Kolmogorov Smirnov para el tratamiento patrón para (%P) con $a/c = 0,60$. Fuente: los autores

	Normal
DMAS	0,149268
DMENOS	0,240159
DN	0,240159
Valor-P	0,177478

De igual forma se procede para el tratamiento CPCA1 para (%P) con $a/c = 0,60$ y con conclusiones similares (ver Tabla 36 y 37).

Tabla 36. Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento CPCA1 para (%P) con $a/c = 0,60$. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
0,906957	0,000117045

Tabla 37. Prueba de Kolmogorov Smirnov para el tratamiento CPCA1 para (%P) con $a/c = 0,60$. Fuente: los autores

	Normal
DMAS	0,125468
DMENOS	0,0783382
DN	0,125468
Valor-P	0,250615

Igualmente, para el tratamiento CPCA2 para (%P) con $a/c = 0,60$ y con conclusiones similares (ver Tabla 38).

Tabla 38. Prueba de Shapiro Wilks para el tratamiento CPCA2 para (%P) con $a/c = 0,60$. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
0,922851	0,187452

Para la verificación del supuesto de varianza constante de forma analítica se procede a calcular el estadístico de prueba Levene con los tres tratamientos conjuntamente (ver Tabla 39). Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,01, no existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, lo que significa que hay igualdad de varianza entre los tratamientos con un nivel del 99,0% de confianza.

Tabla 39. Prueba de Levene para (%P) con $a/c = 0,60$. Fuente: los autores

Estadístico	Valor-P
4,78092	0,0104

4.2. Escenario 2

Los datos utilizados son los mismos que se utilizaron en el escenario uno. Para cumplirse la validez de los supuestos del modelo se debe cumplir la condición de que Valor-P $> 0,01$ por tanto, se acepta la hipótesis nula. En la Tabla 40 se observa el análisis descriptivo un promedio global de 334,69kgf/cm² con dispersión intermedia. En la parte inferencial se observó el valor-p de la prueba-F igual a 0,17 por lo que se acepta la igualdad de medias, indicando que no hay efectos entre los tratamientos. Se tiene en las siguientes tablas tratamientos para $f'c$.

Tabla 40. Tabla resumen ($f'c$) con $a/c = 0,45$ (CPCA1 y Patrón). Fuente: los autores

Mezclas	Recuento	Promedio (kgf/cm ²)	Mediana (kgf/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	ANOVA Valor-P	S-W Valor-P	K-S	Levene Valor-P
CPCA 1	67	328,052	345,56	61,1799	18,6494%		0,0006	Acceptado	
Patrón	51	343,414	329,0	59,6964	17,3832%	0,1748	0,0232		0,9646
TOTAL	118	334,692	341,035	60,7681	18,1564%				

En la Tabla 41 se observa un promedio global de 321,58kgf/cm² con dispersión intermedia. El valor-p de ANOVA es igual a 0,00 por lo que se rechaza la igualdad de medias, indicando un efecto entre los tratamientos. La validez de los resultados de los supuestos es aceptada por ser valores mayores a 0,01.

Tabla 41. Tabla resumen ($F'c$) con $a/c = 0,45$ (CPCA2 y Patrón). Fuente: los autores

Mezclas	Recuento	Promedio (kgf/cm ²)	Mediana (kgf/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	ANOVA Valor-P	S-W Valor-P	K-S	Levene Valor-P
CPCA 2	22	270,971	249,25	72,1631	26,6313%		0,0017	Acceptado	
Patrón	51	343,414	329,0	59,6964	17,3832%	0,0000	0,0232		0,2773
TOTAL	73	321,582	317,0	71,5116	22,2374%				

En la Tabla 42 para ($f'c$) con $a/c = 0,60$ para CPCA1 y patrón, el promedio global de 255,96 kg/cm² con dispersión intermedia. El valor-p de ANOVA es igual a 0,11 por lo que se acepta la igualdad de medias, indicando que no existe efecto entre tratamientos. La validez de los resultados de los supuestos es aceptada por ser valores mayores a 0,01.

Tabla 42. Tabla resumen ($f'c$) con $a/c = 0,60$ (CPCA1 y Patrón). Fuente: los autores

Mezclas	Recuento	Promedio (kgf/cm ²)	Mediana (kg/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	ANOVA Valor-P	S-W Valor-P	K-S	Levene Valor-P
CPCA 1	69	251,084	244,28	59,1709	23,5661%		0,0003	Acceptado	
Patrón	19	273,674	266,41	30,3285	11,082%	0,1127	0,0755		0,0108
TOTAL	88	255,962	249,78	54,9022	21,4494%				

Se observa ahora en la Tabla 43 un promedio global de 227,33kgf/cm² con dispersión intermedia. El valor-p de ANOVA igual a 0,00 por lo que se rechaza la igualdad de medias, indicando que existe efecto entre los tratamientos. La validez de los resultados viene dada por el cumplimiento de los supuestos, el cual es rechazada por la prueba de igualdad de varianzas (Levene) lo que invalida este diseño (DCA)

Tabla 43. Tabla resumen ($f'c$) con $a/c = 0,60$ (CPCA2 y Patrón). Fuente: los autores

Mezclas	Recuento	Promedio (kgf/cm ²)	Mediana (kgf/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	ANOVA Valor-P	S-W Valor-P	K-S	Levene Valor-P
CPCA 2	22	187,314	210,33	45,5783	24,3326%		0,0028	Acceptado	
Patrón	19	273,674	266,41	30,3285	11,082%	0,0000	0,0755		0,0002
TOTAL	41	227,335	234,53	58,3562	25,6697%				

Para observar la porosidad (%P), se tiene en la Tabla 44 un promedio global de 16,07% con dispersión intermedia. El valor-p de ANOVA es igual a 0,00 por lo que se rechaza la igualdad de medias, indicando un efecto entre los tratamientos. La validez de los resultados de los supuestos es aceptada por ser valores mayores a 0,01.

Tabla 44. Tabla resumen (%P) con $a/c = 0,45$ (CPCA1 y Patrón). Fuente: los autores

Mezclas	Recuento	Promedio (kgf/cm ²)	Mediana (kgf/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	ANOVA Valor-P	S-W Valor-P	K-S	Levene Valor-P
CPCA 1	60	16,7822	16,707	2,30286	13,7221%		0,0004	Aceptado	
Patrón	35	14,8489	15,88	2,32273	15,6425%	0,0002	0,0004	Aceptado	0,3164
TOTAL	95	16,0699	16,36	2,48172	15,4433%				

Mientras que la Tabla 45 un promedio global de 15,71% con dispersión intermedia. El valor-p de ANOVA es igual a 0,00 por lo que se rechaza la igualdad de medias, indicando que existe efecto entre los tratamientos. La validez de los resultados de los supuestos es aceptada por ser valores mayores a 0,01.

Tabla 45. Tabla resumen (%P) con $a/c = 0,45$ (CPCA2 y Patrón). Fuente: los autores

Mezclas	Recuento	Promedio (kgf/cm ²)	Mediana (kgf/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	ANOVA Valor-P	S-W Valor-P	K-S	Levene Valor-P
CPCA 2	16	17,6088	17,265	1,26605	7,18988%		0,4089		
Patrón	35	14,8489	15,88	2,32273	15,6425%	0,0001	0,00004	Aceptado	0,0380
TOTAL	51	15,7147	16,1	2,41294	15,3547%				

Para el caso de $a/c = 0,60$ se tiene, en la Tabla 46 un promedio global de 17,34 % con dispersión intermedia. El valor-p de ANOVA es igual a 0,018 por lo que se acepta la igualdad de medias, indicando que no existe efecto entre tratamientos. La validez de los resultados de los supuestos es dada por ser valores mayores a 0,01. Por otro lado, en la Tabla 47 se tiene un promedio global de 16,83 % con dispersión intermedia. El valor-p de ANOVA igual a 0,02 por lo que se acepta la igualdad de medias, indicando que no existe efecto entre los tratamientos. La validez de los resultados viene dada por supuestos, el cual es rechazada por la prueba de igualdad de varianzas (Levene) lo que invalida el DCA con cero factores de bloque.

Tabla 46. Tabla resumen (%P) con $a/c = 0,60$ (CPCA1 y Patrón). Fuente: los autores

Mezclas	Recuento	Promedio (kgf/cm ²)	Mediana (kgf/cm ²)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	ANOVA Valor-P	S-W Valor-P	K-S	Levene Valor-P
CPCA 1	66	17,7328	17,29	2,71513	15,3113%		0,0001	Aceptado	
Patrón	21	16,1205	16,8	2,52058	15,6359%	0,0181	0,0009	Aceptado	0,6963
TOTAL	87	17,3436	17,25	2,74424	15,8228%				

Tabla 47. Tabla resumen (%P) con $a/c = 0,60$ (CPCA2 y Patrón). Fuente: los autores

Mezclas	Recuento	Promedio kgf/cm ²	Mediana kgf/cm ²	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	ANOVA Valor-P	S-W Valor-P	K-S	Levene Valor-P
CPCA 2	16	17,7581	17,875	0,819034	4,61216%		0,1874		
Patrón	21	16,1205	16,8	2,52058	15,6359%	0,0175	0,0009	Aceptado	0,0076
TOTAL	37	16,8286	17,55	2,11794	12,5853%				

5. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones en base a los resultados obtenidos del análisis estadístico de la resistencia a la compresión y porosidad de concretos elaborados con cemento

Portland tipo 1, *CPCA1* y *CPCA2* de trabajos de grado realizados en el DIC.

Para el escenario 1, del análisis descriptivo los promedios que no cumplieron con los parámetros de diseño establecidos en la norma ACI (American Concrete Institute) [30] y en el Manual DURAR [3], es debido a que el concreto es un material muy variable, presentado dispersiones intermedias en todos los tratamientos. En el análisis de varianza para de resistencia a la compresión (f'_c) con relación $a/c = 0,45$ y $a/c = 0,60$ y porosidad (%P) con $a/c = 0,45$ se rechazó la hipótesis nula de igualdad de medias por lo que se concluye que hay diferencias significativas entre los tratamientos. Mientras que en el análisis de porosidad (%P) con $a/c = 0,60$ se aceptó la hipótesis de igualdad de media y se concluye que no existe diferencias significativas entre los tratamientos. Los supuestos del modelo del diseño experimental (DCA) con cero factores de bloque de normalidad, varianza constante e independencia se cumplieron de manera gráfica y analítica.

Para el escenario 2, de los análisis realizados todos los tratamientos presentan variabilidad intermedia. Cuatro presentaron efecto entre tratamientos mientras que para los otros cuatro no hubo efecto entre los tratamientos, aceptando la validez de los supuestos y con ello el diseño completamente al azar con cero factores de bloque para seis de los análisis, en los otros dos análisis de resistencia a la compresión y porosidad con $a/c = 0,60$ para tratamientos de mezcla patrón y *CPCA2*, se rechazó el supuesto de varianza constante invalidando el diseño completamente al azar con cero factores de bloque.

Concretos elaborados con cemento adicionado *CPCA1* a pesar de no alcanzar la resistencia de diseño esperada, si se consideran concretos estructurales para usos específicos, aquellos elaborados con cemento adicionado *CPCA2* no se consideran concretos estructurales. Los elaborados con cemento adicionado *CPCA* son altamente porosos con durabilidad inadecuada.

Por otro lado, el promedio de resistencia a la compresión y porosidad total de cada tratamiento con diferente relación agua/cemento se presenta a continuación:

- La resistencia a la compresión para tratamiento Patrón con $a/c = 0,45$ fue 343,414 kgf/cm²
- La resistencia a la compresión para tratamiento Patrón con $a/c = 0,60$ fue 273,674 kgf/cm²
- La resistencia a la compresión para tratamiento *CPCA1* con $a/c = 0,45$ fue 328,052 kgf/cm²
- La resistencia a la compresión para tratamiento *CPCA1* con $a/c = 0,60$ fue 251,084 kgf/cm²
- La resistencia a la compresión para tratamiento *CPCA2* con $a/c = 0,45$ fue 270,971 kgf/cm²
- La resistencia a la compresión para tratamiento *CPCA2* con $a/c = 0,60$ fue 187,314 kgf/cm²
- La porosidad para tratamiento patrón con $a/c = 0,45$ fue 14,85%

- La porosidad para tratamiento patrón con $a/c = 0,60$ fue 16,12%
- La porosidad para tratamiento *CPCAI* con $a/c = 0,45$ fue 16,78%
- La porosidad para tratamiento *CPCAI* con $a/c = 0,60$ fue 17,73%
- La porosidad para tratamiento *CPCA2* con $a/c = 0,45$ fue 17,61%
- La porosidad para tratamiento *CPCA2* con $a/c = 0,60$ fue 17,76%

Se evidencia que a pesar de que el concreto en cada tratamiento posee diferentes relaciones agua/cemento, la variabilidad de la porosidad no es significativa, lo que indica que la porosidad del concreto no depende de la relación agua/cemento, sino de otros factores.

6. FINANCIAMIENTO

Propio de los autores.

7. CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

8. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

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

9. REFERENCIAS

- [1] Fondonorma, “Norma COVENIN 3134-04; Cemento Portland con adicciones”. Caracas – Venezuela, 2004
- [2] J. Porrero, C. Ramos, J. Gracés y G. Velazco, “Manual del concreto estructural”, Conforme con la Norma COVENIN 1753:03. SIDETUR, Venezuela, 1975
- [3] DURAR (CYTED), “Manual de inspección evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado”, Madrid – España, 1998
- [4] C. Casanova, “Comparación del comportamiento mecánico y físico del concreto para diferentes métodos de diseño de mezclas, variando la relación agua / cemento” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2009
- [5] M. Alvarado y K. Oropeza, “Evaluación de las propiedades físico-mecánicas y electroquímicas del concreto elaborado con cemento adicionado *cpc2* expuesto a un ambiente marino acelerado” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2012
- [6] V. Dávila, L. Romero, “Evaluación de la durabilidad de elementos de concreto armado, elaborados con cemento tipo *cpc1*, expuesto a un ambiente marino acelerado por la técnica del rociado” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2012
- [7] K. Conde y F. Guédez, “Evaluación de las propiedades electroquímicas de concreto elaborado con cemento adicionado expuesto a un ambiente marino acelerado” Trabajo

- de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2012
- [8] A. Mata y P. Salas, “Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas en mezclas de concreto elaborado con cemento portland tipo cpcal con diferentes relación agua-cemento” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2012
- [9] G. Mujica, “Caracterización físico mecánica de concretos elaborados con cementos adicionados CPCA1” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2012
- [10] W. Terán, “Evaluación de la durabilidad de concretos elaborados con cementos adicionados tipo CPCA1 mediante ensayo de difusión rápida del ion cloruro cr” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2012
- [11] F. Venegas, “Evaluación del efecto de la adición del 20% de resina de silicona sobre la porosidad y resistencia mecánica en probetas de concreto” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2012
- [12] I. Figueira y E. Meléndez, “Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas de concreto elaboradas con cemento adicionado portland tipo cpcal con relaciones agua/cementante y agua/cemento de 0,45 y 0,60” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2014
- [13] M. Páez y R. Garcés, “Evaluación de la durabilidad de concretos elaborados con cemento adicionado tipo cpcal, en un ambiente natural” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2014
- [14] K. Carrillo y G. Pérez, “Evaluación de la resistencia a la penetración por difusión del ion Cl^- de concretos elaborado con cementos adicionados tipo CPCA1” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2014
- [15] F. Duran y J. Freitez, “Evaluación de la corrosión del concreto armado en probetas elaboradas con cemento adicionado CPCA expuesto a un ambiente marino acelerado” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2015
- [16] F. Indomenico y J. Reveron, “Evaluación de la carbonatación en concretos elaborados con cementos adicionados tipo CPCA, a través de métodos acelerados” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2015
- [17] D. Meza y L. Peña, “Análisis comparativo de la resistencia a la compresión y la porosidad de concretos elaborados con cemento PORTLAND tipo i y cemento portland tipo CPCA1” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2015
- [18] S. Tovar y R. Montero, “Evaluación de la durabilidad de concretos elaborados con cemento adicionado CPCA2 en ambiente urbano natural (evaluación a un año de exposición)” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2015
- [19] D. Lovera, “Evaluación de la resistencia a la penetración por difusión del ion cloruro (Cl) en concretos elaborados con cemento PORTLAND tipo i” Trabajo de grado,

- Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2016
- [20] R. Bosco, “Evaluación físico-mecánica de mezclas de concreto diseñada por el método de porrero, utilizando un aditivo plastificante de algo rango” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2017
- [21] M. Carrillo, “Evaluación de las variaciones en las propiedades mecánicas y porosidad en mezclas de concreto, elaboradas con sustitución parcial del agregado fino por arena de sílice de gradación 20/40” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2017
- [22] L. Orozco, “Evaluación de mezclas de concreto modificando la dosis de cemento y del agregado fino por sílice” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2017
- [23] C. Colmenárez, “Evaluación de las propiedades físicas mecánicas en concretos elaborados con sustitución parcial del agregado grueso por residuos de cilindros normalizados de concreto” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2017
- [24] F. De Flavis, “Evaluación de la durabilidad del concreto elaborado con mezclas modificadas con polvo de sílice expuestas en ambiente agresivo natural” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2017
- [25] W. Almao y E. Medina, “Comparación de las propiedades físico-mecánicas de concretos elaborados con cemento tipo portland adicionado utilizando el método de diseño del manual de concreto estructural” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2018
- [26] D. Querales, “Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de concretos elaborados con cemento portland adicionado incorporando aditivo reductor de agua y adición de arena de sílice” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2018
- [27] L. Carrillo, “Evaluación de mezclas de concreto en estado fresco y endurecido utilizando aditivo plastificante como reductor de agua” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2018
- [28] L. Bombace, “Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de un concreto elaborado con aditivo impermeabilizante de marca comercial” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2018
- [29] M. Mosquera, “Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de una mezcla de concreto con sustitución parcial del 10 % y 12.5 % y 15 % de cemento por vidrio molido” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2019
- [30] G. Camacho, “Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de concretos elaborados con cemento portland adicionado, con diferentes relaciones agua/cementante y cantidades de cemento, empleando el método del A.C.I.” Trabajo de grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2021
- [30] American Concrete Institute, Práctica estándar para la selección de las proporciones de concreto normal, pesado y masivo, *ACI 211-91-91*, USA, 2009