



DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES DE LOS COMPONENTES DE MEZCLAS DE CONCRETO

DETERMINATION THE PROBABILITY DISTRIBUTION OF THE CONCRETE MIXING COMPONENTS

Mariana, Suárez Pereira¹; Fiamma Dubraska, Peña Fabiani²

Recibido 18/07/2020: Aprobado: 20/10/2020

DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19769.90726>

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad describir el comportamiento estadístico y determinar las distribuciones de probabilidades que mejor se ajustan a cada uno de los componentes de mezclas de concreto convencional, los cuales son agua, cemento, agregado fino y agregado grueso, diseñados por los métodos de Porrero y del ACI para resistencias a la compresión entre 250 y 280 Kg/cm² con tamaño máximo nominal de 1,0 pulgada, asentamientos hasta 6,0 pulgadas, cemento Portland tipo I o tipo CPCA1 y arena natural. Para tal fin, fue necesaria la construcción de una base de datos bajo la consulta de tesis de grado elaboradas en el Decanato de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, se revisaron 228 trabajos de grado de las cuales 66 cumplieron con el alcance establecido. El análisis estadístico descriptivo reportó dispersiones bajas e intermedias, se concluyó que la media aritmética obtenida si representa el conjunto de datos por variable y las distribuciones obtenidas para el agua, cemento, agregado fino y agregado grueso fueron Gen. Gamma (4P), Gen. Extreme Value, Weibull (3P) y Frechet respectivamente para el método del ACI y para el de Porrero Hypersecant, Log-Pearson 3, Johnson SB y Chi-Squared (2P) según corresponde.

Palabras clave: *mezclas de concreto; componentes del concreto; manual ACI, manual de Porrero*

¹Mariana, 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>

²Fiamma Dubraska, Peña Fabiani. Ingeniero Civil. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela. Correo: fiam.dubrask@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0836-2992>

ABSTRACT

The purpose of this research is to describe the statistical behavior and determine the probability distributions that best fit each of the components of conventional concrete mixtures, which are water, cement, fine aggregate and coarse aggregate, designed by the Porrero and ACI methods for compressive strengths between 250 and 280 Kg/cm² with nominal maximum size of 1,0 inch, settlements up to 6,0 inches, Portland cement type I or type CPCA1 and natural sand. For this purpose, it was necessary to build a database under the consultation of degree theses elaborated in the Dean of Civil Engineering of the Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 228 degree works were reviewed of which 66 complied with the established scope. The descriptive statistical analysis reported low and intermediate dispersions, it was concluded that the arithmetic mean obtained represents the data set by variable and the distributions obtained for water, cement, fine aggregate and coarse aggregate were Gen. Gamma (4P), Gen. Extreme Value, Weibull (3P) and Frechet respectively for the ACI method and for that of Porrero Hypersecant, Log-Pearson 3, Johnson SB and Chi-Squared (2P) as appropriate.

Keywords: *concrete mixes; concrete components; ACI manual; Porrero manual*

1. INTRODUCCIÓN

El concreto es un material que se ha utilizado con gran frecuencia a nivel mundial para la construcción de obras, su calidad es un factor de gran importancia que depende de muchas variables, y requiere la implementación de múltiples controles y ensayos con el fin de garantizarlo. Obtiene sus condiciones de los materiales agregados y las proporciones de los mismos que lleva por componentes, como cemento, agua, agregado fino y agregado grueso, los cuales infieren directamente en las propiedades del material y tienen efectos no sólo en el aspecto del producto final, sino también sobre la trabajabilidad y consistencia al estado plástico, así como, sobre la durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del concreto posteriormente endurecido. Estos componentes del concreto constituyen elementos que pueden ser modificados en sus cantidades, representando una variable que se puede considerar aleatoria y que describen un comportamiento probabilístico.

Aunque las dosificaciones de los componentes del concreto se obtienen a partir de un modelo determinístico como el método ACI [1] y el del Manual del Concreto Estructural de Porrero [2], es posible, que partiendo de una base de datos de mezclas patrón, se pueda capturar para cada uno de los componentes de las mezclas un comportamiento que se adapte a distribuciones de probabilidades. La importancia de estas distribuciones de probabilidad, es que sirven de sustento para la elaboración de modelos que simulen la resistencia del concreto sin la implementación de ensayos físicos, y a su vez abrir paso a nuevas investigaciones en el campo de la estadística que puedan estudiar otras variables de dicho material.

La presente investigación se basó en la recolección de datos reflejados en las tesis de grado elaboradas en el Decanato de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto Estado Lara, referentes a las proporciones de cada uno de los componentes del concreto empleados en las pruebas.

2. DESARROLLO

2.1. Antecedentes

Acerca de las distribuciones de probabilidades asociadas a los componentes de diseños de mezcla de concreto convencional, a continuación se presentan algunos trabajos, que en función del propósito investigativo a desarrollar presentan relevancia:

García [3], analizó el comportamiento de nuevas distribuciones estadísticas nunca empleadas en hidrología, para ello realizó un estudio con datos de máximas lluvias anuales de 53 estaciones meteorológicas de la provincia de Badajoz comparando los ajustes de bondad de los test de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling, y los caudales reflejados por las distribuciones estadísticas clásicas con otras distribuciones más recientemente aplicadas en otros campos de la ciencia. Concluyó que las nuevas distribuciones de probabilidad, Dagum, Burr, Log-Logistic (3P), Pearson 5 (3P) y Frechet (3P) se adaptan mejor estadísticamente según los test de bondad que las de Gumbel, Log-Pearson (3P) y SQRT-ET máx.

Por su lado Cerón [4], propuso una solución que permitiera ahorrar una cantidad considerable de dinero al país en la inversión de mantenimiento y rehabilitación de obras de infraestructura. Para lo cual constituyó un análisis probabilístico del concreto de alta resistencia a fin de establecer la distribución que rige el concreto simple, desarrollando una metodología probabilística a partir del estudio de los resultados de ensayos de resistencia a la compresión del HPC. Concluyó que dicha metodología proporciona resultados con información más completa y realista sobre el nivel de resistencia de la mezcla.

En otro estudio, se realizó un análisis de la influencia de algunos componentes en la elaboración de concreto de alta resistencia a partir de una base de datos que permitió evaluar las distintas dosificaciones para varias relaciones a/c y resistencia a compresión [4]. La base de datos empleada estuvo constituida por 487 dosificaciones de concreto provenientes de la recopilación de artículos de revista científica de centros de estudios universitarios, técnicos y científicos, publicaciones de conferencia, tesis doctorales y maestría.

Los estudios manifiestan en la esencia de su contenido la factibilidad de realizar análisis relacionados al objetivo propuesto en este trabajo, como lo es el de describir el

comportamiento estadístico y determinar las distribuciones de probabilidades que mejor se ajustan a cada uno de los componentes de mezclas de concreto convencional.

2.2. Referentes Teóricos

Concreto y sus Componentes

En la Norma Venezolana COVENIN 221:2001 [5] se define el concreto como “mezcla constituida por aglomerantes, agregados inertes y agua en proporciones adecuadas para obtener resistencias prefijadas” En ciertas ocasiones es necesaria la incorporación de un cuarto componente, cuya utilización depende del requerimiento exigido de un tipo de mezcla. Dependiendo de las cantidades de materiales empleados y sus características, existirá una variación de las propiedades y la calidad del concreto, como por ejemplo, la proporción agua/cemento se relaciona directamente con la resistencia y, a su vez, junto con la dosis de cemento, a la trabajabilidad. Gracias a su versatilidad, por el uso de diferentes componentes o por las distintas proporciones posibles de ellos, se pueden obtener distintas plasticidades, resistencias y apariencias, de esta manera se satisfacen los requerimientos propios de cada obra en ejecución [2].

En este trabajo de investigación se tomaron como variables objeto de estudio los componentes de concreto convencional los cuales son Agua, Cemento, Agregado Fino y Agregado Grueso contemplados por los métodos del ACI y de Porrero. En el caso del cemento, se consideraron aquellas mezclas elaboradas con cemento Portland tipo I y cemento con adiciones tipo CPCA1.

Diseño de mezcla

Según Porrero [2], el diseño de mezcla es aquel procedimiento en el que se determinan las proporciones de los componentes para el concreto que resultan más adecuados para la calidad requerida, es decir, obtener el comportamiento deseado en estado plástico y en estado endurecido. Para dicho diseño de mezclas de concreto existen numerosos métodos que varían de acuerdo con la complejidad de las variables que manejen y las relaciones que se establezcan, los más utilizados en Venezuela son el de Porrero y de ACI.

La metodología propuesta por Porrero ha sido probada en laboratorios y plantas de concreto, concebido para el caso del empleo de agregados poco controlados y del cálculo, elaboración y control por profesionales con poca experiencia. Toma en cuenta factores como el lugar de la obra o condiciones ambientales, el tipo de obra o parte de la estructura y sus dimensiones, el tipo de agregado y el tipo de cemento. Una cualidad característica de este método es que

emplea una proporción entre el Agregado Fino y el Grueso, es decir, maneja la granulometría del agregado combinado [6].

Las variables consideradas en el método son la relación agua/cemento, dosis de cemento, trabajabilidad y resistencia, que en conjunto con la combinación de agregados en función de los límites granulométricos mejoran el concreto. Adicionalmente, se toman en cuenta factores de corrección relacionados con el tamaño máximo y el tipo de agregado para el cálculo de la relación agua/cemento y la dosis de cemento. Es válido para concretos con asentamientos entre 1 y 6, y resistencias a la compresión entre 180 y 430 Kg/cm².

El establecido por el Instituto Americano de Concreto (ACI) 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 del concreto. 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].

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación, la población objeto de estudio comprende todos los diseños de mezclas de concreto para resistencias entre 250 – 280 Kg/cm² hasta 6” de asentamiento, piedra picada 1”, arena natural de río y cemento portland y tipo CPCA1 según el método de Porrero y del ACI. La conformación de la muestra se realizó mediante un muestreo probabilístico aleatorio simple correspondiente a población infinita y varianza desconocida. Así para el tamaño de la muestra se aplica:

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

Considerando un nivel de confianza del 0,95 y para un área bajo la curva de 0,025, se tiene que $Z_{\alpha/2} = \pm 1,96$. Bajo una distribución Binomial las probabilidades de éxito p y fracaso q , son $p = q = 0,5$. El error de estimación se tomó 0,05 como criterio del investigador ya que, generalmente fluctúa entre 0,04 y 0,06, según la teoría del muestreo. Sustituyendo los valores en la expresión anterior se obtiene:

$$n = \left(\frac{1,96 * 0,5 * 0,5}{0,05} \right)^2 = 96 \quad (2)$$

Sin embargo, a causa de la poca disponibilidad de Trabajos Especiales de Grado (TEG) realizados en el Decanato de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado cuyos datos cumplieran con las características definidas anteriormente, los tamaños muestrales, para el método de Porrero fue de 76 datos y para el del ACI de 30 datos por cada componente de cada diseño de mezcla. Aunque son pocos los datos por componente para el método del ACI, representan a la población, ya que según la teoría del muestreo una muestra es representativa cuando el número de elementos observados de la población es mayor o igual que 30. En este trabajo de investigación las variables objeto de estudio son las cantidades de agua, cemento, agregado fino y agregado grueso para cada método de diseño de mezcla de concreto convencional.

3.1. Recolección y Procesamiento de Información

Se realizó la recolección de datos de diseños de mezclas de concreto para resistencias entre 250 - 280 Kg/cm² en TEG, recopilación de dosificaciones de los componentes de los distintos diseños de mezcla de concreto presentes en los trabajos seleccionados. Posteriormente se procede a la conformación de la muestra objeto de estudio y realizar el análisis estadístico descriptivo para estimar las medidas de tendencia central, dispersión y los gráficos para cada uno de los componentes de diseños de mezclas de concreto para resistencias entre 250 – 280 Kg/cm². Por medio de la elaboración de un registro de los datos recolectados en hojas de cálculo de Microsoft Excel, elaboración de tablas, polígonos de frecuencias e histogramas y el cálculo de los estadísticos descriptivos media, mediana, moda, varianza, desviación estándar, error típico, coeficiente de variación asimetría y curtosis.

Se determinó la distribución de probabilidades que mejor se ajusta al comportamiento de cada uno de los componentes de diseños de mezclas de concreto, mediante un software que ajuste los datos a distribuciones de probabilidades EasyFit Versión 5.6; introducir y analizar los datos en dicho software para obtener las distribuciones que se ajustan y seleccionar la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a cada uno de los componentes por método de diseño de mezcla siguiendo la metodología aplicada por García [3]:

- Los datos se introducen en el programa ordenados de menor a mayor
- Se realiza el ajuste de las distintas distribuciones con el programa
- El programa da como resultado la distribución que por las pruebas de ajuste Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi-Cuadrado, se ajusta mejor a los datos introducidos. Para cada distribución ofrece la función de densidad y la función de distribución acumulada entre otros parámetros

- El resultado obtenido es una tabla en la que se indica el orden de ajuste de las distribuciones, comenzando por 1 de mejor a peor ajuste, en base a los test de bondad indicada
- Se elabora una tabla en Microsoft Excel con los resultados de los test de bondad de ajuste y se ponderan los rangos obtenidos para seleccionar las cinco distribuciones que mejor se ajustan tomando en consideración los dos test simultáneamente
- Por último, para las primeras cinco distribuciones se calcula su media con el intervalo de confianza especificado, el cual es 0,95 en el presente trabajo de investigación, y se comparan esos valores con la media de los 5 modelos seleccionados, de esta manera se estima su desviación respecto a la media grupal, lo que genera un nuevo orden de ajuste. La distribución cuya desviación sea menor será la que mejor se ajusta a los datos de entrada

4. RESULTADOS

4.1. Análisis Estadístico Descriptivo

Método del ACI para el diseño de mezcla de concreto convencional

En la Tabla 1 se expone el resumen estadístico correspondiente. Un promedio o media aritmética es una característica de grupo y no individual, por tanto, en dicha tabla la característica de grupo para los datos de las variables Agua, Cemento, Agregado Fino y Agregado Grueso en éste método son: 196,9, 325,39, 916,13 y 902,51, éstas representan el valor en torno al cual gira la mayor concentración de datos para cada variable. Los valores posicionales o mediana de cada una de las variables son 195, 325, 952,62 y 874,75 respectivamente, éstos indican que el 50% de cada conjunto de datos son menores a estos valores y el otro 50% son mayores, dividiéndolos en dos partes iguales. El valor que más se repite en cada una de las variables objeto de estudio es 195, 325, 979,26 y 826,34 según corresponde.

Los valores de desviación típica o estándar para cada variable son 7,96, 19,40, 100,81 y 75,64 respectivamente, valores que sirven para medir si existe dispersión baja, intermedia o alta. El coeficiente de variación para las variables Agua, Cemento y Agregado Grueso es de 0,04, 0,06 y 0,08 respectivamente, lo que indica que estas variables se comportan con una dispersión baja, es decir, para cada una de ellas su media aritmética representa al grupo, mientras que, para la variable Agregado Fino, se observa una dispersión intermedia 0,11 con tendencia hacia una dispersión baja, por tal razón podríamos considerar que su media también

representa al grupo de datos. En consecuencia los rangos de valores para cada una de las variables son la media más o menos su desviación típica o estándar. Estos rangos son: para el Agua $196,9 \pm 7,96$ lt, el Cemento $325,39 \pm 19,40$ Kg, el Agregado Fino $916,13 \pm 100,81$ Kg y para el Agregado Grueso $902,51 \pm 75,64$ Kg.

Tabla 1. Resumen de los estadísticos descriptivos para el método del ACI. Fuente: los autores

ESTADÍSTICO	VARIABLES			
	Agua (lt)	Cemento (Kg)	Agregado Fino (Kg)	Agregado Grueso (Kg)
Media	196,9	325,393	916,129333	902,511667
Mediana	195	325	952,62	874,75
Moda	195	325	979,26	826,34
Desviación estándar	7,96411261	19,3956592	100,810663	75,6389341
Varianza de la muestra	63,4270897	376,191594	10162,7898	5721,24836
Coefficiente de variación	0,0404475	0,05960687	0,11003977	0,08380937
Curtosis	7,92109398	2,18278064	-1,0756143	-1,21717641
Coefficiente de asimetría	2,36935337	1,27348938	-0,37061969	0,5440219
Rango	44,96	86	343,58	250,07
Mínimo	180	300	751,15	789,93
Máximo	224,96	386	1094,73	1040

La curtosis para las variables Agua y Cemento es 7,92 y 2,18 respectivamente, como estos valores son mayores a cero, entonces sus curvas son Leptocúrticas indicando que los datos tienden a concentrarse en torno al valor central y, para las variables Agregado Fino y Agregado Grueso la curtosis fue de -1,08 y -1,22, como son menores a cero sus curvas son Platicúrticas, lo que demuestra un comportamiento contrario a las otras dos, es decir, sus datos están dispersos.

Para las variables Agua, Cemento y Agregado Grueso la asimetría fue 2,37, 1,27 y 0,54, valores mayores a cero, que indican una asimetría positiva en la que los valores tienden a reunirse a la izquierda de la media aritmética, esto es que la moda y la mediana son menores a la media aritmética, tal como se evidencia en la Tabla 1. Mientras que, para la variable Agregado Fino el coeficiente de asimetría es -0,37, valor menor a cero que indica una asimetría negativa cuyos valores se reúnen del lado derecho de la media, esto es que la moda y la mediana son mayores que la media aritmética para esta variable. En las Figuras 1 y 2 se muestra un histograma unimodal, ya que tiene una barra más alta que las otras, esto es, una de las clases tiene mayor frecuencia absoluta 188-196 y 315-330 respectivamente.

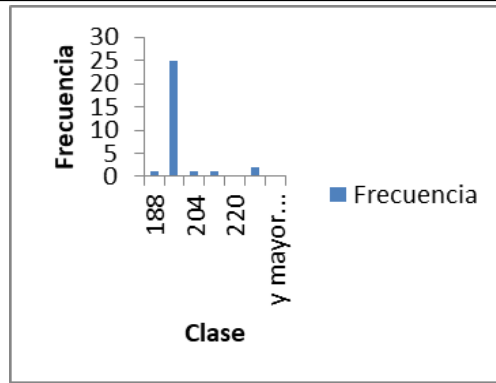


Figura 1. Histograma de frecuencia absoluta para la variable Agua por el método del ACI. Fuente: los autores
Además, es sesgado, demostrando una mayor concentración de datos hacia la izquierda de la media, es decir, la variable Agua y Cemento tiene un comportamiento asimétrico que concuerda con lo antes mencionado para estas variables. La clase con mayor frecuencia de ocurrencia contiene los valores de la media, mediana y moda para ambas variables.

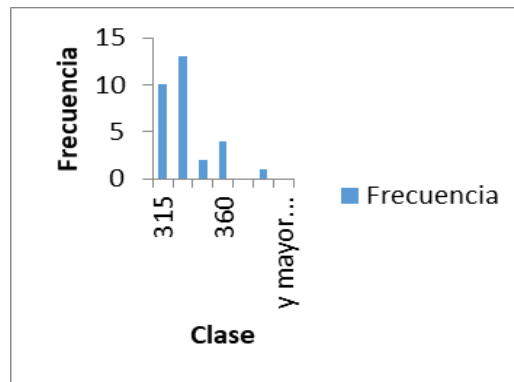


Figura 2. Histograma de frecuencia absoluta para la variable Cemento para el método del ACI. Fuente: los autores

La Figura 3 indica un histograma unimodal, ya que tiene una barra más alta que las otras, esto es, una de las clases tiene mayor frecuencia absoluta.

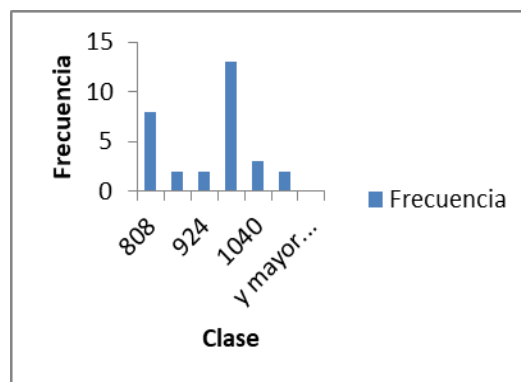


Figura 3. Histograma de frecuencia absoluta para la variable Agregado Fino para el método del ACI. Fuente: los autores

Se considera que es sesgado, es decir, la variable Agregado Fino tiene un comportamiento asimétrico, una de las dos mitades es más grande que la otra y la mayoría de datos se concentran del lado derecho, lo cual concuerda con la dispersión anteriormente señalada para

esta variable. La clase con mayor frecuencia absoluta es 924-982, ésta contiene la mediana y la moda pero no la media. La Figura 4 indica un histograma bimodal, ya que tiene dos barras iguales más altas, esto es, dos clases con igual frecuencia absoluta. Además, es sesgado, lo que muestra que la variable Agregado Grueso tiene un comportamiento asimétrico donde los datos se concentran del lado izquierdo, esto concuerda con la dispersión que se realizó anteriormente para la misma. Las clases con mayor frecuencia de ocurrencia de datos son 788-830 y 872-914, ésta última contiene los valores de la media y la mediana, mientras que la moda está contenida en la primera clase.

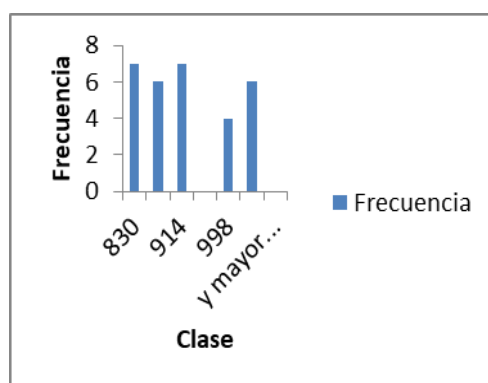


Figura 4. Histograma de frecuencia absoluta para la variable Agregado Grueso para el método del ACI. Fuente: los autores

Método del Manual del Concreto Estructural o de Porrero

En la Tabla 2 se expone el resume estadístico correspondiente a los datos registrados de las variables Agua, Cemento, Agregado Fino, y Agregado Grueso para el método de Porrero, para un total de 76 datos.

Tabla 2. Resumen de los estadísticos descriptivos para el método de Porrero. Fuente: los autores

ESTADÍSTICO	VARIABLES			
	Agua (lt)	Cemento (Kg)	Agregado Fino (Kg)	Agregado Grueso (Kg)
Media	200,048132	389,5895	916,337276	845,062908
Mediana	202,345	384,11	894	841,525
Moda	210	340	1007,9	782,6
Desviación estándar	19,2776083	46,7371563	116,277188	93,067619
Varianza de la muestra	371,626183	2184,36178	13520,3844	8661,58171
Coefficiente de variación	0,09636485	0,11996513	0,12689344	0,110131
Curtosis	1,44265081	-0,32753058	-0,01933324	-0,10731227
Coefficiente de asimetría	0,21661204	0,22650782	0,7194439	-0,15451937
Rango	110,87	200	476,5	477,32
Mínimo	149,13	297	744,8	562,64
Máximo	260	497	1221,3	1039,96

La característica de grupo, media aritmética, de la Tabla 2 para los datos de las variables

Agua, Cemento, Agregado Fino y Agregado Grueso de éste método son: 200,1; 389,6; 916,34 y 845,1 respectivamente, éstas representan el valor en torno al cual gira la mayor concentración de datos para cada variable. Los valores posicionales o mediana de cada una de las variables son 202,3; 384,1; 894 y 841,5, éstos indican que el 50% de cada conjunto de datos son menores a estos valores y el otro 50% son mayores, dividiéndolos en dos partes iguales. El valor que más se repite en cada una de las variables objeto de estudio es 210, 340, 1007,9 y 782,6 según corresponde.

Los valores de desviación típica o estándar para cada variable son 19,28, 46,74, 116,28 y 93,07 respectivamente, valores que sirven para medir si existe dispersión baja, intermedia o alta. El coeficiente de variación para la variable Agua es de 0,096, valor menor que 0,10, evidenciando que esta variable tiene una dispersión baja en sus datos y su media es representativa para el grupo, mientras que, para las variables Cemento, Agregado Fino y Agregado Grueso se observan valores de 0,12, 0,13 y 0,11 respectivamente, valores mayores a 0,10 pero menores a 0,30, indicando una dispersión intermedia con tendencia hacia una dispersión baja, por lo que se podría considerar que la media también representa al grupo de datos. En consecuencia los rangos de valores en cada una de las variables son la media más o menos su desviación típica o estándar. Para el Agua $200,1 \pm 19,28$ lt, para el Cemento $389,59 \pm 46,74$ Kg, para el Agregado Fino $916,34 \pm 116,28$ Kg y para el Agregado Grueso $845,1 \pm 93,07$ Kg.

La curtosis para las variable Agua es 1,44, como este valor es mayor a cero, entonces su curvas es Leptocúrtica indicando que los datos tienden a concentrarse en torno al valor central y, para las variables Cemento, Agregado Fino y Agregado Grueso la curtosis fue de -0,33, -0,02 y -0,11, como son menores a cero sus curvas son Platicúrticas, lo que demuestra una baja concentración de valores, es decir, sus datos están dispersos. También las curvas Platicúrticas evidencian achatamiento en la forma de su distribución.

Para las variables Agua, Cemento y Agregado Fino la asimetría fue 0,22, 0,23 y 0,72, valores mayores a cero, que indican una asimetría positiva en la que los valores tienden a reunirse a la izquierda de la media aritmética. Mientras que, para la variable agregado grueso el coeficiente de asimetría es -0,15, valor menor a cero que indica una asimetría negativa cuyos valores se reúnen del lado derecho de la media.

Las Figura 5, 6 y 7 muestran un histograma unimodal, ya que tienen una barra más alta, esta indican la clase de mayor frecuencia absoluta, que son 397-422, 205-219 y 804-864 respectivamente. Además, es sesgado, señalando que estas variables tiene un comportamiento

asimétrico y en concordancia con la dispersión anteriormente mencionada donde los datos se concentran en el lado izquierdo de la distribución.

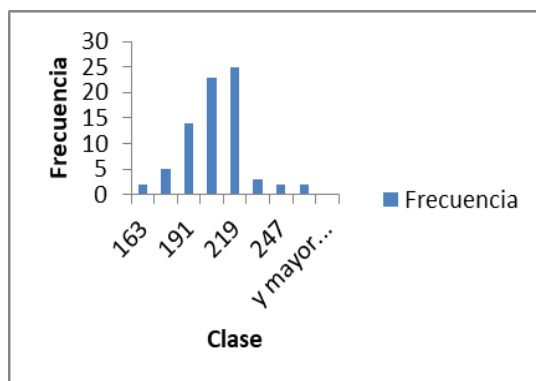


Figura 5. Histograma de frecuencia absoluta para la variable Agua para el método de Porrero. Fuente: los autores

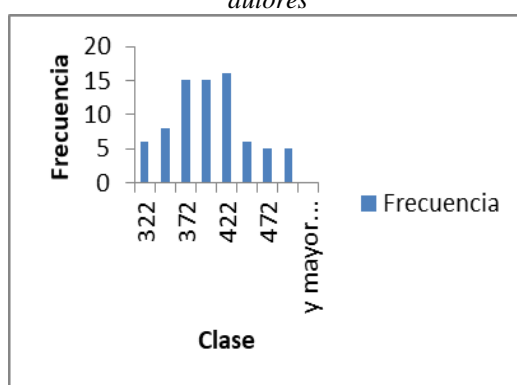


Figura 6. Histograma de frecuencia absoluta para la variable Cemento para el método de Porrero. Fuente: los autores

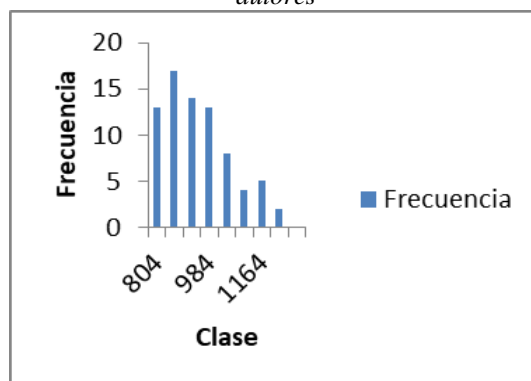


Figura 7. Histograma de frecuencia absoluta para la variable Agregado Fino para el método de Porrero. Fuente: los autores

La Figura 8 expone un histograma bimodal, ya que tiene dos barras iguales más altas, esto es, dos clases con igual frecuencia absoluta. Además, es sesgado, indicando que esta variable tiene un comportamiento asimétrico donde los datos se encuentran concentrados del lado derecho y en concordancia con la dispersión anteriormente mencionada. Las clases con mayor frecuencia de ocurrencia de datos son 802-862 y 862-922, la primera de éstas contiene los valores de la media y la mediana.

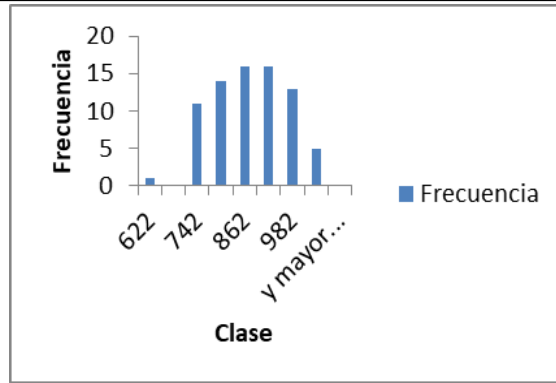


Figura 8. Histograma de frecuencia absoluta para la variable Agregado Grueso para el método de Porrero. Fuente: los autores

4.2. Determinación de Distribuciones de Probabilidades con el Software Easyfit Versión 5.6.

Se determinaron las distribuciones que mejor se ajustan a los datos disponibles por variable y en cada método de diseño a través del programa (ver Tabla 3). Para las cinco que mejor se ajusten, se determinó un nuevo orden de ajuste respecto a la media, con un nivel de confianza de 0,95 (ver Tabla 4). A continuación se presenta, el cálculo y análisis de los resultados obtenidos de la variable agua para el método del ACI, sólo se expondrán los resultados de las cinco distribuciones con mejor ajuste. A las demás variables se les aplicó el mismo procedimiento.

Método del ACI para el diseño de mezcla de concreto convencional

La Tabla 3 indica el orden de ajuste de las distribuciones, el número 1 indica que es la que tiene el mejor ajuste según cada test de prueba. Con el fin de considerar los test de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling simultáneamente, se realizó una ponderación del rango de estos para estimar las cinco distribuciones que tienen mejor ajuste con los datos. Tal como se aprecia en dicha tabla, la prueba chi-cuadrado no aplica para muchas de las distribuciones que maneja el programa por lo que sus resultados no se tomaron en cuenta para el análisis. Se señalan en rojo las cinco distribuciones que mejor se ajustan al grupo de datos respecto a cada test de bondad.

Tabla 3. Ajuste de las distintas distribuciones para la variable Agua del Método del ACI. Fuente: los autores

#	Distribución	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-cuadrado		Valor Ponderado
		Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango	
1	Beta	0,4072	14	8,8783	37	N/A		25,5
2	Burr	0,44178	35	6,8911	29	20,025	19	32
3	Burr (4P)	0,57948	53	14,602	54	N/A		53,5
4	Chi-Squared	0,45346	38	7,6365	33	11,016	10	35,5



DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES DE LOS COMPONENTES DE MEZCLAS DE CONCRETO

5	Chi-Squared (2P)	0,42551	33	6,5273	11	N/A		22
6	Dagum	0,71365	57	17,572	57	N/A		57
7	Dagum (4P)	0,37526	1	6,2422	1	N/A		1
8	Erlang	0,4064	13	6,7848	17	7,2907	8	15
9	Erlang (3P)	0,41611	28	6,8068	19	20,007	18	23,5
10	Error	0,44653	36	7,0457	31	18,473	12	33,5
11	Error Function	1	59	N/A		N/A		59
12	Exponential	0,59915	54	13,136	52	N/A		53
13	Exponential (2P)	0,54714	51	10,661	44	N/A		47,5
14	Fatigue Life	0,41104	22	6,8449	25	7,1178	5	23,5
15	Fatigue Life (3P)	0,38282	6	6,5068	10	N/A		8
16	Frechet	0,46985	40	6,7802	16	N/A		28
17	Frechet (3P)	0,3884	9	6,4049	4	N/A		6,5
18	Gamma	0,41037	20	6,8192	23	7,2778	7	21,5
19	Gamma (3P)	0,38615	7	6,5454	12	N/A		9,5
20	Gen, Extreme Value	0,45574	39	10,436	43	N/A		41
21	Gen, Gamma	0,41276	24	6,875	28	19,207	17	26
22	Gen, Gamma (4P)	0,3814	4	6,4881	9	N/A		6,5
23	Gen, Pareto	0,47674	41	10,864	47	N/A		44
24	Gumbel Max	0,41476	25	6,3864	3	N/A		14
25	Gumbel Min	0,48577	43	12,337	51	N/A		47
26	Hypersecant	0,42781	34	6,7606	15	18,575	13	24,5
27	Inv, Gaussian	0,41576	27	6,8483	26	19,115	16	26,5
28	Inv, Gaussian (3P)	0,42253	32	6,8663	27	20,046	20	29,5
29	Johnson SB	0,49384	48	11,296	49	N/A		48,5
30	Kumaraswamy	0,49092	45	9,2799	39	N/A		42
31	Laplace	0,44653	37	7,0457	32	18,473	11	34,5
32	Levy	0,65015	55	15,45	55	N/A		55
33	Levy (2P)	0,47977	42	10,275	42	N/A		42
34	Log-Gamma	0,40916	18	6,8029	18	7,1413	6	18
35	Log-Logistic	0,41272	23	6,4289	5	N/A		14
36	Log-Logistic (3P)	0,37888	2	6,2459	2	N/A		2
37	Log-Pearson 3	0,49251	46	11,292	48	N/A		47
38	Logistic	0,42223	31	6,7504	14	18,66	14	22,5
39	Lognormal	0,41086	21	6,8428	24	7,1177	4	22,5
40	Lognormal (3P)	0,38053	3	6,47	8	N/A		5,5
41	Nakagami	0,40985	19	6,8146	22	7,4442	9	20,5
42	Normal	0,41563	26	6,9225	30	18,856	15	28
43	Pareto	0,5523	52	10,86	46	N/A		49
44	Pareto 2	0,67394	56	16,507	56	N/A		56
45	Pearson 5	0,40896	17	6,8104	21	7,0703	2	19
46	Pearson 5 (3P)	0,38244	5	6,4383	7	N/A		6
47	Pearson 6	0,40881	15	6,8098	20	7,0764	3	17,5
48	Pearson 6 (4P)	0,38703	8	6,4297	6	N/A		7

49	Pert	0,3979	10	8,6951	36	N/A	23	
50	Power Function	0,40891	16	11,43	50	N/A	33	
51	Rayleigh	0,50263	49	10,728	45	N/A	47	
52	Rayleigh (2P)	0,41812	29	8,4003	35	N/A	32	
53	Reciprocal	0,48657	44	9,0656	38	N/A	41	
54	Rice	0,53971	50	9,4227	40	4,7238	1	45
55	Student's t	0,99998	58	306,91	58	N/A	58	
56	Triangular	0,49255	47	10,242	41	N/A	44	
57	Uniform	0,40219	12	14,12	53	N/A	32,5	
58	Weibull	0,42062	30	7,6942	34	N/A	32	
59	Weibull (3P)	0,40072	11	6,5923	13	N/A	12	
60	Cauchy	No hay ajuste						
61	Johnson SU	No hay ajuste						

Luego de la ponderación se seleccionaron de esta columna las cinco primeras posiciones en el ajuste, las cuales para esta variable resultaron: Dagum (4P), Log-Logistic (3P), Log-Normal (3P), Pearson 5 (3P) y Gen. Gamma (4P). Con estas cinco distribuciones para una probabilidad de 0,95, se estableció un nuevo orden de ajuste considerando la desviación típica (ver Tabla 4).

Tabla 4. Distribuciones que mejor se ajustan a los datos obtenidos de la variable Agua por el método de diseño del ACI para un nivel de confianza de 95%. Fuente: los autores

#	Distribución	Orden de ajuste con la Media	Agua (lt)	Desviación con respecto a la media
1	Dagum (4P)	4	203,88	1,66
2	Log-Logistic (3P)	5	203,76	1,72
3	Lognormal (3P)	2	209,52	1,06
4	Pearson 5 (3P)	3	209,48	1,29
5	Gen, Gamma (4P)	1	210	1,04
MEDIA			207,328	

La distribución de probabilidades con menor desviación, será la que más se aproxima al valor medio estimado, para esta variable es la distribución Gen. Gamma (4P) cuyos parámetros son: $k = 0,69112$ $\alpha = 29,055$ $\beta = 0,20432$ y $\gamma = 169,86$ (ver Tabla 5). Al comparar estas distribuciones en la Figura 9, se observa la distribución que mayor valor aporta es la correspondiente al número 5, es decir, la distribución Gen. Gamma (4P) y la que menos aporta es la número 2, la Log-Logistic (3P).

Tabla 5. Parámetros de las funciones de densidad para las distribuciones ajustadas a los datos obtenidos de la variable Agua por el método de diseño del ACI para un nivel de confianza de 95%. Fuente: los autores

#	Distribución	Parámetros
1	Beta	$\alpha_1=2,7267$ $\alpha_2=4,3652$ $a=180,0$ $b=224,96$
2	Burr	$k=0,32465$ $\alpha=154,89$ $\beta=193,66$
3	Burr (4P)	$k=0,51124$ $\alpha=0,78193$ $\beta=1,6994$ $\gamma=180,0$
4	Chi-Squared	$v=196$



5	Chi-Squared (2P)	$v=25 \quad \gamma=171,06$
6	Dagum	$k=173,05 \quad \alpha=14,577 \quad \beta=125,63$
7	Dagum (4P)	$k=1,0455 \quad \alpha=11,304 \quad \beta=27,931 \quad \gamma=167,49$
8	Erlang	$m=611 \quad \beta=0,32213$
9	Erlang (3P)	$m=14 \quad \beta=1,9235 \quad \gamma=170,5$
10	Error	$k=1,0 \quad \sigma=7,9641 \quad \mu=196,9$
11	Error Function	$h=0,08879$
12	Exponential	$\lambda=0,00508$
13	Exponential (2P)	$\lambda=0,05917 \quad \gamma=180$
14	Fatigue Life	$\alpha=0,03822 \quad \beta=196,76$
15	Fatigue Life (3P)	$\alpha=0,2036 \quad \beta=33,878 \quad \gamma=162,32$
16	Frechet	$\alpha=26,726 \quad \beta=191,96$
17	Frechet (3P)	$\alpha=1,3914E+8 \quad \beta=8,7148E+8 \quad \gamma=-8,7148E+8$
18	Gamma	$\alpha=611,25 \quad \beta=0,32213$
19	Gamma (3P)	$\alpha=13,724 \quad \beta=1,9235 \quad \gamma=170,5$
20	Gen, Extreme Value	$k=0,4797 \quad \sigma=2,0075 \quad \mu=193,95$
21	Gen, Gamma	$k=1,0101 \quad \alpha=652,15 \quad \beta=0,32213$
22	Gen, Gamma (4P)	$k=0,69112 \quad \alpha=29,055 \quad \beta=0,20432 \quad \gamma=169,86$
23	Gen, Pareto	$k=0,36501 \quad \sigma=2,9218 \quad \mu=192,3$
24	Gumbel Max	$\sigma=6,2096 \quad \mu=193,32$
25	Gumbel Min	$\sigma=6,2096 \quad \mu=200,48$
26	Hypersecant	$\sigma=7,9641 \quad \mu=196,9$
27	Inv, Gaussian	$\lambda=1,2035E+5 \quad \mu=196,9$
28	Inv, Gaussian (3P)	$\lambda=824,35 \quad \mu=34,562 \quad \gamma=162,34$
29	Johnson SB	$\gamma=2,7234 \quad \delta=0,95617 \quad \lambda=98,098 \quad \xi=188,93$
30	Kumaraswamy	$\alpha_1=1,05 \quad \alpha_2=1,15 \quad a=180,0 \quad b=224,96$
31	Laplace	$\lambda=0,17757 \quad \mu=196,9$
32	Levy	$\sigma=196,61$
33	Levy (2P)	$\sigma=13,058 \quad \gamma=178,48$
34	Log-Gamma	$\alpha=18483,0 \quad \beta=2,8577E-4$
35	Log-Logistic	$\alpha=36,285 \quad \beta=195,85$
36	Log-Logistic (3P)	$\alpha=11,258 \quad \beta=27,504 \quad \gamma=168,03$
37	Log-Pearson 3	$\alpha=0,87018 \quad \beta=0,04165 \quad \gamma=5,2457$
38	Logistic	$\sigma=4,3908 \quad \mu=196,9$
39	Lognormal	$\sigma=0,0382 \quad \mu=5,2819$
40	Lognormal (3P)	$\sigma=0,21499 \quad \mu=3,4523 \quad \gamma=164,55$
41	Nakagami	$m=140,28 \quad \Omega=38831,0$
42	Normal	$\sigma=7,9641 \quad \mu=196,9$
43	Pareto	$\alpha=11,237 \quad \beta=180$
44	Pareto 2	$\alpha=165,62 \quad \beta=26511,0$
45	Pearson 5	$\alpha=703,22 \quad \beta=1,3826E+5$
46	Pearson 5 (3P)	$\alpha=34,102 \quad \beta=1311,3 \quad \gamma=157,23$
47	Pearson 6	$\alpha_1=13971,0 \quad \alpha_2=737,68 \quad \beta=10,382$
48	Pearson 6 (4P)	$\alpha_1=57,287 \quad \alpha_2=38,152 \quad \beta=21,181 \quad \gamma=164,1$
49	Pert	$m=194,11 \quad a=180 \quad b=224,96$

50	Power Function	$\alpha=0,72894$ $a=180,0$ $b=224,96$
51	Rayleigh	$\sigma=157,1$
52	Rayleigh (2P)	$\sigma=13,396$ $\gamma=180$
53	Reciprocal	$a=180,0$ $b=224,96$
54	Rice	$v=193,28$ $\sigma=5,8943$
55	Student's t	$v=2$
56	Triangular	$m=194,99$ $a=180,0$ $b=224,96$
57	Uniform	$a=183,11$ $b=210,69$
58	Weibull	$\alpha=23,176$ $\beta=200,42$
59	Weibull (3P)	$\alpha=2,338$ $\beta=20,731$ $\gamma=178,39$
60	Cauchy	No hay ajuste
61	Johnson SU	No hay ajuste

Al comparar estas distribuciones en la Figura 9, se observa la distribución que mayor valor aporta es la correspondiente al número 5, es decir, la distribución Gen. Gamma (4P) y la que menos aporta es la número 2, la Log-Logística (3P).

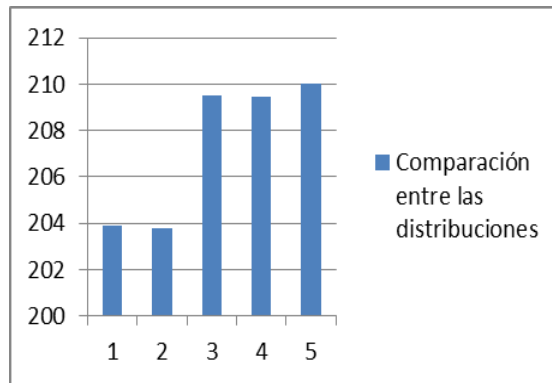


Figura 9. Diferencias de la variable Agua por el método de diseño del ACI entre las distintas distribuciones. Fuente: los autores

La Figura 10 presenta el análisis de los test de ajuste para la prueba de hipótesis de la distribución Gen. Gamma (4P).

Gen. Gamma (4P) [#22]					
Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	30				
Estadística	0.3814				
Valor P	1.9632E-4				
Rango	4				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19032	0.21756	0.2417	0.27023	0.28987
Rechazar?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Anderson-Darling					
Tamaño de la muestra	30				
Estadística	6.4881				
Rango	9				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	1.3749	1.9286	2.5018	3.2892	3.9074
Rechazar?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Figura 10. Análisis de los test de bondad de ajuste para la aceptación o rechazo de las hipótesis de la distribución Gen. Gamma (4P). Fuente: los autores

En el caso de Kolmogorov-Smirnov, el estadístico de prueba, para las frecuencias observadas y teóricas acumuladas, es 0,3814 y supera al valor crítico 0,2417 para un nivel de significancia de 0,05, por ejemplo, demostrando que la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución especificada, se rechaza. Al realizar el análisis en función del valor P, el cual es 0,000196, se observa que este es menor a los 5 niveles de confianza utilizados por el programa rechazando la hipótesis nula, en concordancia con lo antes mencionado. El estadístico de prueba para Anderson-Darling es 6,4881, este es mayor a los valores críticos para los distintos niveles de significancia, por tanto se rechaza la hipótesis de que la distribución que rige a los datos de la variable agua es de una forma específica. Siguiendo todo el procedimiento anterior para Cemento, Agregado Fino y Grueso resultaron con menor desviación la distribución Gen. Extreme Value con parámetros $k = 0,07189$, $\sigma = 13,61$ y $\mu = 361$, Weibull (3P) con parámetros $\alpha = 7,1563$, $\beta = 627,35$ y $\gamma = 329,93$ y Frechet con parámetros $\alpha = 13,534$ y $\beta = 860,32$, respectivamente (ver Tablas 6, 7 y 8).

Tabla 6. Distribuciones que mejor se ajustan a los datos obtenidos de la variable Cemento por el método de diseño del ACI para un nivel de confianza de 95%. Fuente: los autores

#	Distribución	Orden de ajuste con la Media	Cemento (Kg)	Desviación con respecto a la media
1	Cauchy	5	369,63	1,93
2	Log-Logistic (3P)	2	361,25	0,38
3	Burr	4	360,24	0,66
4	Gen, Extreme Value	1	361,56	0,3
5	Frechet (3P)	3	360,49	0,59
MEDIA			362,634	

Tabla 7. Distribuciones que mejor se ajustan a los datos obtenidos de la variable Agregado Fino por el método de diseño del ACI para un nivel de confianza de 95%. Fuente: los autores

#	Distribución	Orden de ajuste con la Media	Agregado Fino (Kg)	Desviación con respecto a la media
1	Gumbel Min	5	1047,7	1,36
2	Gen. Extreme Value	2	1057,3	0,46
3	Weibull	3	1070,5	0,78
4	Error	4	1074,2	1,13
5	Weibull (3P)	1	1061,2	0,09
MEDIA			1062,18	

Tabla 8. Distribuciones que mejor se ajustan a los datos obtenidos de la variable Agregado Grueso por el método de diseño del ACI para un nivel de confianza de 95%. Fuente: los autores

#	Distribución	Orden de ajuste con la Media	Agregado Grueso (Kg)	Desviación con respecto a la media
1	Frechet	1	1071,4	0,54
2	Fatigue Life (3P)	3	1055,9	0,91
3	Inv, Gaussian (3P)	2	1056	0,9
4	Log-Logistic (3P)	5	1093	2,57
5	Gamma (3P)	4	1051,8	1,3
MEDIA			1065,62	

Al comparar las cinco mejores distribuciones en cada una de estas variables cemento, agregado fino y grueso se puede observar en la Figura 11 la distribución que mayor valor aporta es la correspondiente al número 1, es decir, la distribución Cauchy (4P) y la que menos aporta es la Burr. En el Figura 12 la que mayor valor aporta es la correspondiente al número 4, es decir, la distribución Error y la que menos aporta es la Gumbel Min. En la Figura 13 la distribución que mayor valor aporta es la correspondiente al número 4, es decir, la distribución Log-Logistic (3P) y la que menos aporta es la Gamma (3P), respectivamente.

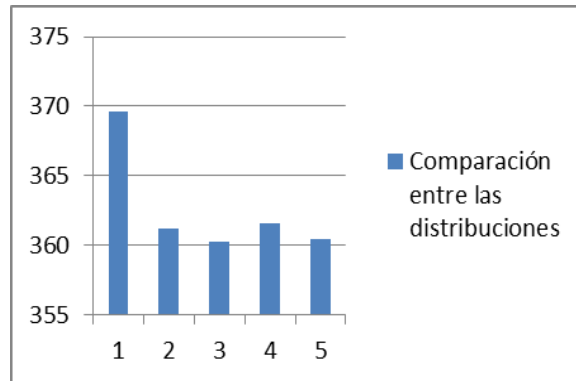


Figura 11. Diferencias de la variable Cemento por el método de diseño del ACI entre las distintas distribuciones. Fuente: los autores

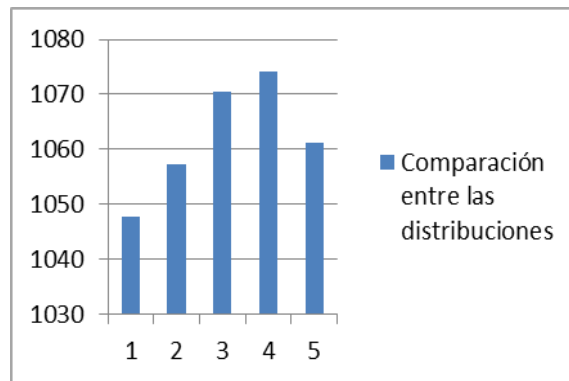


Figura 12. Diferencias de la variable Agregado Fino por el método de diseño del ACI entre las distintas distribuciones. Fuente: los autores

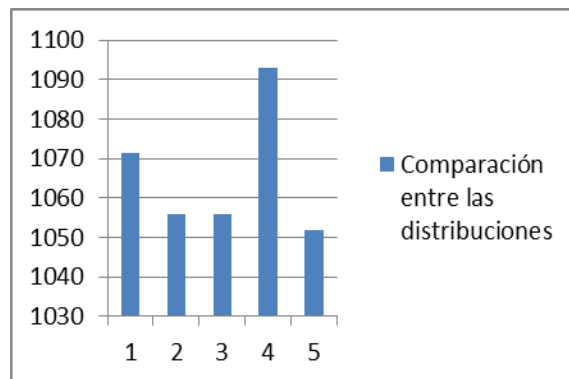


Figura 13. Diferencias de la variable Agregado Grueso por el método de diseño del ACI entre las distintas distribuciones. Fuente: los autores

En las Figuras 14, 15 y 16 se expone la función de densidad que mejor se ajusta a los datos de la variable Agua, Cemento y Agregado Fino e histogramas correspondientes, que son unimodal y sesgados, mientras que la Figura 17 expone la función de densidad que mejor se ajusta a los datos de la variable agregado grueso y el histograma es bimodal y sesgado. Esto en concordancia con los resultados del análisis estadístico descriptivo indicando resultados coherentes y consistentes.

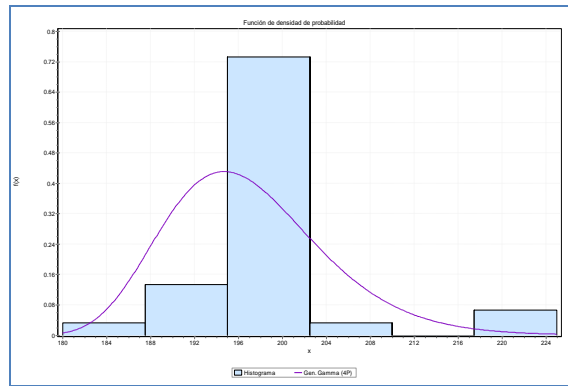


Figura 14. Función de densidad para la distribución Gen. Gamma (4P) aplicable a los datos de la variable Agua por el método de diseño del ACI. Fuente: los autores

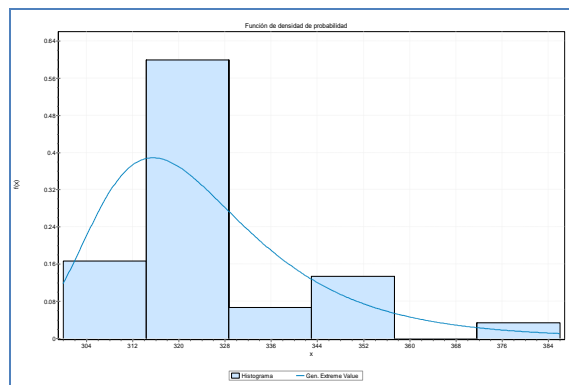


Figura 15. Función de densidad para la distribución Gen. Extreme Value aplicable a los datos de la variable Cemento por el método de diseño del ACI. Fuente: los autores

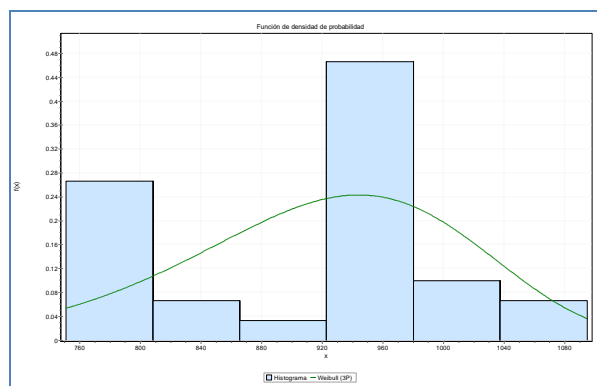


Figura 16. Función de densidad para la distribución Weibull (3P) aplicable a los datos de la variable Agregado Fino por el método de diseño del A.C.I. Fuente: los autores

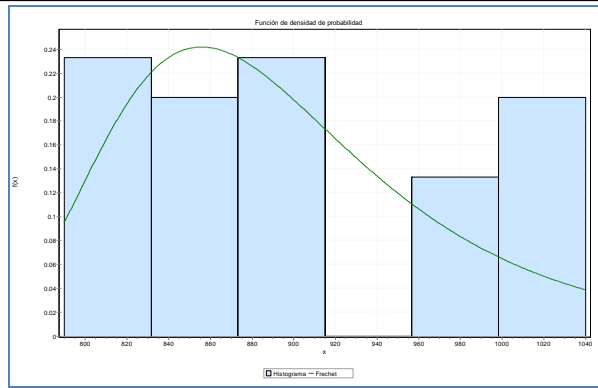


Figura 17: Función de densidad para la distribución Frechet aplicable a los datos de la variable Agregado Grueso por el método de diseño del A.C.I. Fuente: los autores.

Método del Manual del Concreto Estructural o de Porrero

La Tabla 9 muestra las cinco distribuciones con las primeras posiciones en el ajuste luego de la ponderación respecto a los test de bondad, las cuales para la variable Agua son: Hypersecant, Error, Log-Logístico (3P), Burr y Johnson SU. Calculando la cantidad de agua con estas cinco distribuciones para un nivel de confianza de 0,95 y comparando esos valores con su media, se estableció un nuevo orden de ajuste que considera la desviación con respecto a la media, en este caso, la distribución de probabilidades que más se aproxima al valor medio estimado es la distribución Hypersecant o Secante Hiperbólica cuyos parámetros son: $\sigma = 19,278$ y $\mu = 200,05$.

Tabla 9. Distribuciones que mejor se ajustan a los datos obtenidos de la variable Agua por el método de Porrero para un nivel de confianza de 95%. Fuente: los autores.

#	Distribución	Orden de ajuste con la Media	Cemento (Kg)	Desviación con respecto a la media
1	Hypersecant	1	231,25	0,02
2	Error	2	231,84	0,23
3	Log-Logistic (3P)	3	230,75	0,24
4	Burr	4	230,66	0,28
5	Johnson SU	5	232,03	0,31
		MEDIA	231,306	

Al comparar estas distribuciones en la Figura 18 la distribución que mayor valor aporta es la correspondiente al número 5, es decir, la distribución Johnson SU y la que menos aporta es la Burr.



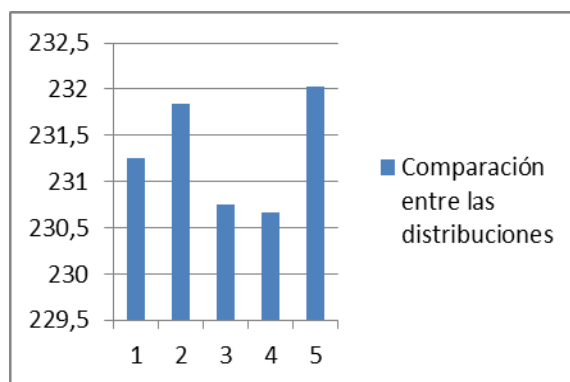


Figura 18: Diferencias de la variable Agua por el método de diseño de Porrero entre las distintas distribuciones. Fuente: los autores

Siguiendo este procedimiento para cemento, fino y grueso resultaron con menor desviación la distribución Log-Pearson 3 con parámetros $\alpha = 1027,3$; $\beta = -0,00375$; $\gamma = 9.8099$, Johnson SB, con parámetros $\gamma = 1,0872$ $\delta = 1,09$ $\lambda = 684,38$ $\xi = 711,43$ y Chi-Squared (2P), con parámetros $v = 4297$ $\gamma = -3452,2$ respectivamente (ver Tablas 10, 11 y 12). Al comparar las cinco mejores distribuciones en cada una de estas variables cemento, agregado fino y grueso se puede observar en la Figura 19 la distribución que mayor valor aporta es la correspondiente al número 3, es decir, la distribución Log-Logistic (3P) y la que menos aporta es la Gen. Gamma.

Tabla 10. Distribuciones que mejor se ajustan a los datos obtenidos de la variable Cemento por el método de diseño de Porrero para un nivel de confianza de 95%. Fuente: los autores

#	Distribución	Orden de ajuste con la Media	Cemento (Kg)	Desviación con respecto a la Media
1	Gamma	3	469,52	0,23
2	Log-Pearson 3	1	470,37	0,05
3	Log-Logistic (3P)	5	474,05	0,73
4	Gen. Gamma	4	468,91	0,36
5	Burr	2	470,24	0,08
MEDIA			470.618	

Tabla 11. Distribuciones que mejor se ajustan a los datos obtenidos de la variable Agregado Fino por el método de diseño de Porrero para un nivel de confianza de 95%. Fuente: los autores

#	Distribución	Orden de ajuste con la Media	Cemento (Kg)	Desviación con respecto a la Media
1	Johnson SB	1	1139,3	0,01
2	Gen. Extreme Value	2	1139,9	0,04
3	Weibull (3P)	3	1140,1	0,06
4	Frechet (3P)	5	1135,6	0,34
5	Pearson 5 (3P)	4	1142,2	0,24
MEDIA			1139.42	

Tabla 12. Distribuciones que mejor se ajustan a los datos obtenidos de la variable Agregado Grueso por el método de diseño de Porrero para un nivel de confianza de 95%. Fuente: los autores

#	Distribución	Orden de ajuste con la Media	Cemento (Kg)	Desviación con respecto a la Media
1	Gen. Extreme Value	2	999,61	0,07
2	Error	4	997,88	0,1
3	Gen. Gamma	5	1000,4	0,15
4	Chi-Squared (2P)	1	998,39	0,05
5	Normal	3	998,15	0,07
MEDIA			998.886	

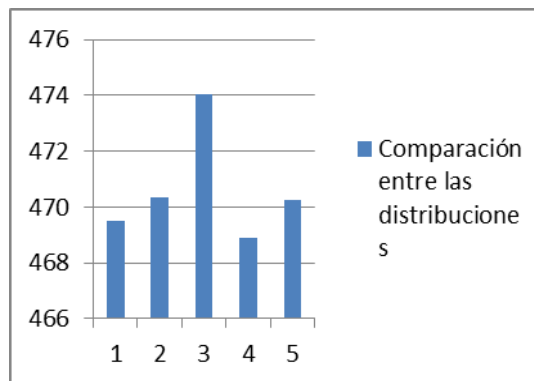


Figura 19. Diferencias de la variable Cemento por el método de Porrero entre las distintas distribuciones. Fuente: los autores

En la Figura 20 la distribución que mayor valor aporta es la correspondiente al número 5, es decir, la distribución Pearson 5 (3P) y la que menos aporta es la Frechet (3P). En la Figura 21 la distribución que mayor valor aporta es la correspondiente al número 3, es decir, la distribución Gen. Gamma y la que menos aporta es la Error, respectivamente.

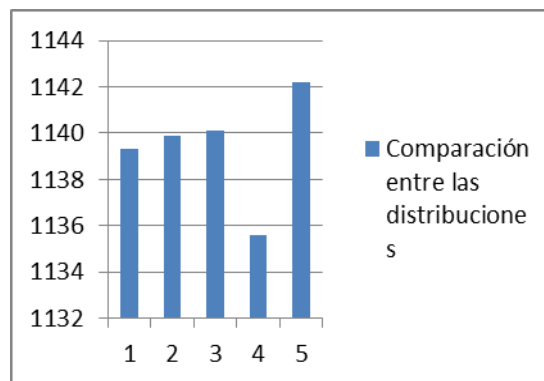


Figura 20. Diferencias de la variable Agregado Fino por el método de Porrero entre las distintas distribuciones. Fuente: los autores

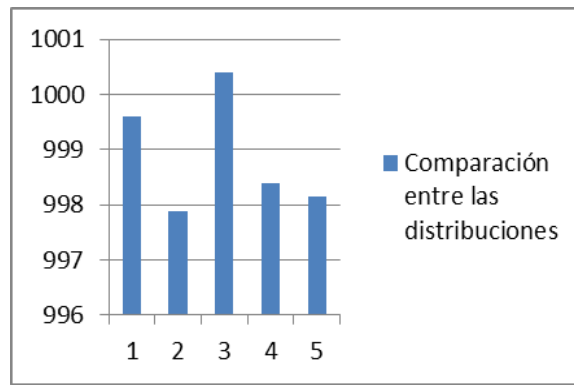


Figura 21. Diferencias de la variable Agregado Grueso por el método de Porrero entre las distintas distribuciones. Fuente: los autores

En las Figuras 22, 23, 24 y 25 expone la función de densidad que mejor se ajusta a los datos de la variable Agua, Cemento y Agregado Fino y Grueso con los histogramas correspondientes, que son unimodal y sesgados, en concordancia con los resultados del análisis estadístico descriptivo.

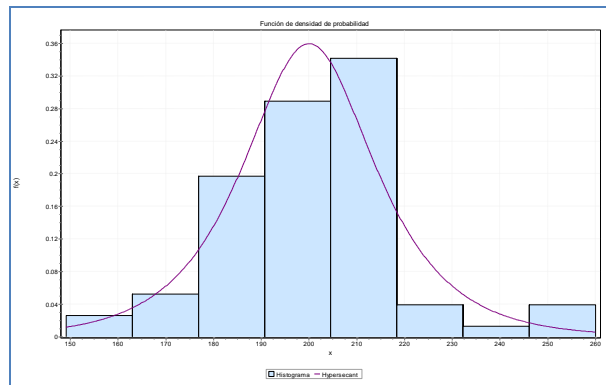


Figura 22. Función de densidad para la distribución Hypersecant aplicable a los datos de la variable Agua por el método de diseño de Porrero. Fuente: los autores

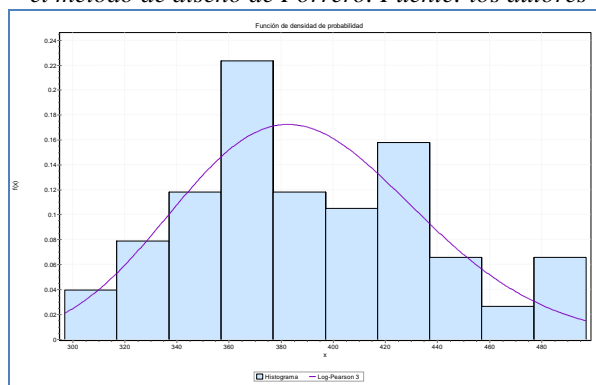


Figura 23. Función de densidad para la distribución Log-Pearson 3 aplicable a los datos de la variable Cemento por el método de Porrero. Fuente: los autores

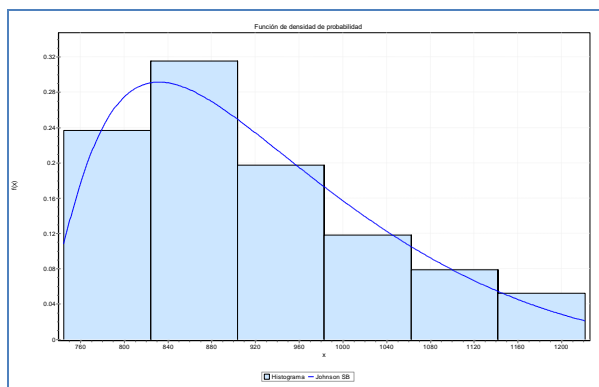


Figura 24. Función de densidad para la distribución Johnson SB aplicable a los datos de la variable Agregado Fino por el método de Porrero. Fuente: los autores

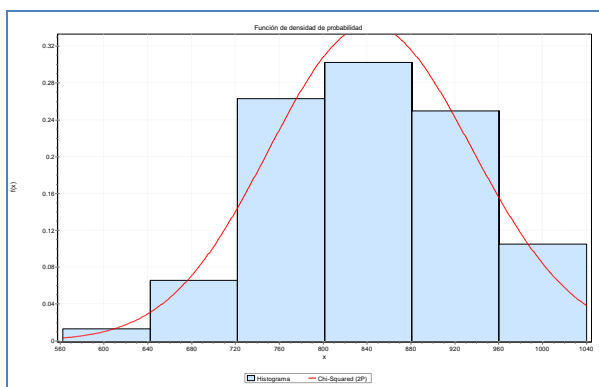


Figura 25. Función de densidad para la distribución Chi-Squared (2P) aplicable a los datos de la variable Agregado Grueso por el método de Porrero. Fuente: los autores

Las Tablas 13 y 14 presentan un resumen de los estadísticos media y desviación estándar y de las distribuciones determinadas para cada uno de los componentes de concreto por método de diseño.

Tabla 13. Resumen de estadísticos y distribuciones que mejor se ajustan a los datos las variables objeto de estudio para el método de diseño del ACI. Fuente: los autores

Variable	Media	Desviación Estándar	Distribución
Agua (Lt)	196,9	7,9641126	Gen. Gamma (4P)
Cemento (Kg)	325,393	19,3956592	Gen. Extreme Value
Agregado Fino (Kg)	916,12933	100,810663	Weibull (3P)
Agregado Grueso (Kg)	902,51167	75,6389341	Frechet

Tabla 14. Resumen de estadísticos y distribuciones que mejor se ajustan a los datos las variables objeto de estudio para el método de Porrero. Fuente: los autores

Variable	Media	Desviación Estándar	Distribución
Agua (Lt)	200,048132	19,2776083	Hypersecant
Cemento (Kg)	389,5895	46,7371563	Log-Pearson 3
Agregado Fino (Kg)	916,337276	116,277188	Johnson SB
Agregado Grueso (Kg)	845,062908	93,067619	Chi-Squared (2P)



Cabe destacar que aun cuando se trata de los mismos componentes y que lo que varía es el método de diseño, las distribuciones obtenidas no se parecen entre sí, así como tampoco lo hacen los valores de los estadísticos.

4.3. Distribuciones de Probabilidades Determinadas

Método de diseño del ACI

Los valores de la variable agua para éste método están comprendidos en el rango 188,94 – 204,86 lt, su media es 196,9 lt y su desviación 7,96 lt. La distribución que mejor se ajusta a sus datos es la Gamma Generalizada de 4 Parámetros, ésta es una curva Leptocúrtica con asimetría positiva y su función de densidad de probabilidad es la que sigue:

$$f(x) = \frac{(0.69112) * (x - 169.86)^{0.69112 * 29.055 - 1}}{(0.20432)^{0.69112 * 29.055} * \Gamma(\alpha)} * e^{-\left(\frac{x - 169.86}{0.20432}\right)^{0.69112}} \quad (3)$$

Los valores de la variable Cemento se comprenden en el rango 305,99 – 344,79 Kg, su media es 325,39 Kg y su desviación 19,40 Kg. La distribución que mejor se ajusta a sus datos es la Generalizada de Valor Extremo, ésta es una curva Leptocúrtica con asimetría positiva y su función de densidad de probabilidad es:

$$z = \frac{x - 316.5}{13.61} \quad (4)$$

$$f(x) = \frac{1}{13.61} * e^{-(1 + 0.07189 * z)^{-\frac{1}{0.07189}}} * (1 + 0.07189 * z)^{-1 - \frac{1}{0.07189}} \quad (5)$$

Para la variable Agregado Fino los valores están en el rango 815,32 – 1016,94 Kg, su media es 916,13 Kg y su desviación 100,81 Kg. La distribución que mejor se ajusta a sus datos es la Weibull de 3 Parámetros, ésta es una curva Platicúrtica con asimetría negativa y su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{7.1563}{627.35} * \left(\frac{x - 329.3}{627.35}\right)^{7.1563 - 1} * e^{-\left(\frac{x - 329.3}{627.35}\right)^{7.1563}} \quad (6)$$

Para la variable Agregado Grueso los valores están comprendidos en el rango 826,87 – 978,25 Kg, su media es 902,51 Kg y su desviación 75,64 Kg. La distribución que mejor se ajusta a sus datos es la Frechet, ésta es una curva Platicúrtica con asimetría positiva y su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{13.534}{860.32} * \left(\frac{860.32}{x}\right)^{13.534 + 1} * e^{-\left(\frac{860.32}{x}\right)^{13.534}} \quad (7)$$

Método de diseño de Porrero

Los valores de la variable Agua para éste método están comprendidos en el rango 180,77 – 219,33 lt, su media es 200,05 lt y su desviación 19,28 lt. La distribución que mejor se ajusta a sus datos es la Secante Hiperbólica, ésta es una curva Leptocúrtica con asimetría positiva y su función de densidad de probabilidad es la que sigue:

$$f(x) = \frac{\sec h \frac{\pi(x - 200.05)}{2 * 19.278}}{2 * 19.278} \quad (8)$$

Los valores de la variable Cemento se comprenden en el rango 342,85 – 436,33 Kg, su media es 389,59 Kg y su desviación 46,74 Kg. La distribución que mejor se ajusta a sus datos es la Log-Pearson 3, ésta es una curva Platicúrtica con asimetría positiva y su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{x * |-0.00375| * \Gamma(1027.3)} \left(\frac{\ln(x) - 9.8099}{-0.00375} \right)^{1027.3-1} * e^{\left(\frac{\ln(x) - 9.8099}{-0.00375} \right)} \quad (9)$$

Para la variable Fino los valores están en el rango 800,06 – 1032,62 Kg, su media es 916,34 Kg y su desviación 11,28 Kg. La distribución que mejor se ajusta a sus datos es la Johnson SB, ésta es una curva Platicúrtica con asimetría positiva y su función de densidad de probabilidad es:

$$z = \frac{x - 711.43}{684.38} \quad (10)$$

$$f(x) = \frac{1.09}{684.38 * \sqrt{2\pi} * z * (1 - z)} * e^{\left(-\frac{1}{2} \left(1.0872 * 1.09 * \ln\left(\frac{z}{1-z} \right) \right)^2 \right)} \quad (11)$$

Para la variable Agregado Grueso los valores están comprendidos en el rango 751,99 – 938,13 Kg, su media es 845,06 Kg y su desviación 93,07 Kg. La distribución que mejor se ajusta a sus datos es la Chi Cuadrado de 2 Parámetros, ésta es una curva Platicúrtica con asimetría negativa y su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{(x - (-3452.2))^{\frac{4297}{2} - 1} * e^{\left(-\frac{x - (-3452.2)}{2} \right)}}{2^{\frac{4297}{2}} * \Gamma\left(\frac{4297}{2} \right)} \quad (12)$$

5. CONCLUSIONES

En el análisis descriptivo para ambos métodos las variables Agua, Cemento y Agregado Fino presentaron similar comportamiento en el histograma y en cuanto a simetría, mientras que el Agregado Grueso fue diferente. Existe dispersión baja e intermedia con tendencia hacia la

baja para todas las variables objeto de estudio, es decir, poca variabilidad, lo que refleja que las distribuciones de probabilidades obtenidas son acertadas y, lo más importante, demostrables técnica y científicamente con la ciencia estadística a través de su teoría de probabilidad y teoría del muestreo.

Además son del tipo continuas, como era de esperarse, ya que las variables en estudio son continuas, lo que indica coherencia y consistencia en los resultados obtenidos. Los resultados del Software EasyFit son coherentes y concordantes con los del análisis estadístico descriptivo, por tanto, se considera que existe confiabilidad en esta investigación.

6. REFERENCIAS

- [1] ACI 211.1-91 «Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete» American Concrete Institute, 2002
- [2] J. Porrero, et al. «Manual del concreto estructural» SIDETUR, Caracas, Venezuela, 2004
- [3] A. García, «Análisis de Distribuciones Estadísticas Alternativas a las Tradicionales para la Optimización de los Caudales de Cálculo Empleados en los Estudios Hidrológicos» (Tesis Doctoral), Universidad de Extremadura, Badajoz, 2013
- [4] Z. Cerón, «Análisis Probabilístico del Concreto de Alta Resistencia» (Trabajo de Grado) Universidad Católica de Colombia, 2013
- [5] COVENIN 221:2001 «Materiales de Construcción. Terminología y definiciones» FONDONORMA, Venezuela, 2001
- [6] N. Azuaje, et. al, «Estimación de la constante de carbonatación “K” en concreto expuesto al ambiente en la ciudad de Nirgua, Estado Yaracuy» Trabajo Especial de Grado, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela, 2013
- [7] R. A. Dantas, «Ingeniería de tasaciones una introducción a la metodología científica» premio Charles B. Akerson – UPAV 2000, Ed. Pini Ltda, 2002
- [8] M. Suarez, «Curso Estadística» Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Decanato de Ingeniería Civil, Venezuela, 2008
- [9] A. Rojas, «Correlación entre el pulso ultrasónico y la resistencia a compresión en cilindros de concreto» Trabajo Especial de Grado, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Decanato de Ingeniería Civil Urbanismo, Venezuela. 2011
- [10] Mathwave Technologies, «Ayuda del Software EasyFit versión 5.6.», 2015