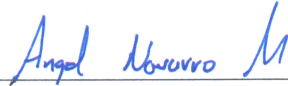


CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Ángel Navarro Mora, Ing. Mauricio Araya Rodríguez, Ing. Rolando Fournier Zepeda, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Ing. Gustavo Rojas Moya.
Director



Ing. Angel Navarro Mora.
Profesor Guía



Ing. Mauricio Araya Rodríguez.
Profesor Lector



Ing. Rolando Fournier Zepeda .
Profesor Observador

Comportamiento de la resistencia a la compresión axial del microconcreto para modelos a escala reducida

Abstract

The following study shows the corresponding results of making microconcrete mixtures in cylinders on a reduced scale, using three different water-cement ratios (0,4; 0,5; 0,6), four percentages of aggregate (20%, 30%, 40% 50%) and cement type UG (general use). The purpose of the project was to determine the variation of the resistance of the microconcrete mixtures according to different dosages.

At the end of the faults and obtaining the results of the axial compression resistances, a statistical analysis of all the values obtained was carried out, to evaluate if they followed a normal behavior. An analysis of variance (ANOVA) was also performed to determine which factors influenced the resistance. Added to this, a Tukey test is performed.

Based on Tukey's test, it is affirmed that with an A/C ratio of 0,4 and 40% of aggregate, the mixture with the highest resistance performance at 28 days was obtained, which corresponds to an average value of 44,26 MPa and the lower strength was obtained from the mixture with an A/C ratio of 0,6 and 20% aggregate with a resistance of 14,76 MPa.

Finally, resistance development curves are presented with age, where it is determined that the resistance acquired after 7 days is between 55% and 73% of the final resistance reached by the specimens.

Keywords:

Microconcrete, water-cement ratio (A/C), aggregate, resistance.

Resumen

El presente estudio muestra los resultados correspondientes de realizar mezclas de microconcreto en cilindros a escala reducida, al utilizar tres diferentes relaciones agua-cemento (0,4; 0,5; 0,6), cuatro porcentajes de agregado (20%, 30%, 40% 50%) y cemento tipo UG (uso general). La finalidad del proyecto fue determinar la variación de la resistencia de las mezclas de microconcreto según diferentes dosificaciones.

Al finalizar con las fallas y obtener los resultados de las resistencias a la compresión axial, se realizó un análisis estadístico de todos los valores obtenidos, para evaluar si seguían un comportamiento normal. También fue realizado un análisis de varianza (ANOVA) para determinar cuáles factores influían en la resistencia. Sumado a esto, se realiza una prueba de Tukey.

Con base a la prueba de Tukey se afirma que con una relación A/C de 0,4 y un 40% de agregado, se obtuvo la mezcla con mayor desempeño en su resistencia a los 28 días, la cual corresponde a valor promedio de 44,26 MPa y la menor resistencia fue obtenida de la mezcla con una relación A/C de 0,6 y un 20% de agregado con una resistencia de 14,76 MPa.

Finalmente, son presentadas las curvas de desarrollo de la resistencia con la edad, donde se determina que las resistencias adquiridas a los 7 días se encuentran entre 55% a 73% de la resistencia final alcanzada por los especímenes.

Palabras clave:

Microconcreto, relación agua-cemento (A/C), agregado, resistencia.

Comportamiento de la resistencia a la compresión axial del microconcreto para modelos a escala reducida

Comportamiento de la resistencia a la compresión axial del microconcreto para modelos a escala reducida

STEVEN FRANCISCO VALVERDE VINDAS

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Junio del 2018

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

PREFACIO	1
RESUMEN EJECUTIVO	2
INTRODUCCIÓN	3
LIMITACIONES	4
MARCO TEÓRICO	5
METODOLOGÍA	17
RESULTADOS	28
ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS	49
APÉNDICES	51
ANEXOS	95

Prefacio

Para la modelación de estructuras es fundamental conocer las propiedades de los materiales involucrados y su comportamiento ante la acción de cargas.

Debido a que se reducen las dimensiones de los elementos, es necesario disminuir las dimensiones de los materiales por emplear, tales como el concreto, el acero o cualquier material que se utilice en la construcción de los modelos.

La fabricación de estructuras a escala reducida permite tener una disminución de los costos económicos, el equipo y los laboratorios utilizados pueden ser de menor tamaño; lo anterior beneficiaría la investigación basada en el conocimiento del comportamiento del microconcreto y de las estructuras.

Cuando el concreto sufre una disminución en sus componentes, se le denomina microconcreto, no obstante, es posible que al disminuir su tamaño sufra cambios en la capacidad de su resistencia mecánica, por esta razón, es necesario determinar su comportamiento ante la aplicación de cargas.

Ante esta necesidad se desarrolla el presente proyecto, el cual, busca determinar la resistencia a la compresión axial del microconcreto ante el uso de diferentes relaciones agua-cemento y porcentajes de agregado; además, pretende brindar una guía rápida y confiable que permita elaborar mezclas de microconcreto con resistencias conocidas y que a su vez estén constituidas por agregados con tamaños adecuados. Para simular el concreto prototipo se realizaron cilindros a escala reducida, para ello, se fabricaron moldes cilíndricos que simularan un cilindro de tamaño normal.

A pesar de que ya se han realizado investigaciones referentes al microconcreto; cuando se cambia alguna de las variables utilizadas, es necesario realizar una nueva investigación y permitir identificar características de las mezclas; puesto que, las propiedades de los agregados y del microconcreto cambiarán,

por lo que las curvas de resistencias deben ser ajustadas.

En el presente documento, se muestran las resistencias a la compresión axial de diferentes mezclas de microconcreto, moldeados en cilindros a escala reducida, y fallados a dos edades.

Agradecimientos

Le agradezco a Dios por brindarme la fortaleza cada día de mi vida para seguir luchando por hacer realidad mis sueños.

A mi familia, especialmente a mi madre Sandra Valverde Vindas, a mi abuela Cecilia Vindas Madrigal, a mi tía Marcela Valverde Vindas, por todo el apoyo, paciencia, buenos valores y enseñanzas que me han dado a lo largo de toda mi vida.

A Tatiana Soto Montero por su apoyo, motivación y cariño brindado todos estos años.

A mis amigos, que durante los últimos años formaron parte de esa lucha continua para salir adelante y convertirse en personas y profesionales de bien. A todos los que de una u otra forma me ayudaron a concluir mi carrera universitaria.

A la escuela de Ingeniería en Construcción y a los profesionales que la constituyen, por todo el conocimiento transmitido a lo largo de estos años.

A los técnicos del laboratorio CIVCO, por su colaboración durante el desarrollo de este proyecto.

Finalmente, a mi profesor guía el Ing. Angel Navarro Mora, por todo el conocimiento transmitido, paciencia apoyo y confianza, durante la culminación de esta última etapa en la carrera.

Resumen ejecutivo

La investigación aquí mostrada busca determinar el comportamiento de la resistencia de un material que puede ser utilizado en modelos de estructuras a escala reducida, construidos en laboratorio, en condiciones controladas.

El concreto es un material muy utilizado en las construcciones en general y para la modelación a escala, es indispensable el uso de un concreto a escala que recibe el nombre de microconcreto.

En el presente proyecto se generaron curvas de resistencia a la compresión en función de la relación agua-cemento y del porcentaje de agregado, en dos edades de falla. Se utilizaron tres relaciones agua-cemento y cuatro porcentajes de agregado, con un tamaño máximo de agregado de 9,5 mm.

Los cilindros utilizados fueron de aproximadamente un 1/3 de los cilindros estándar; en total se fabricados 840 cilindros de microconcreto. Los moldes fueron fabricados para el proyecto, debido a que el laboratorio no tenía del tamaño requerido.

Posteriormente se procedió a realizar los ensayos en el laboratorio del Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO) según las normas ASTM (American Society of Testing Materials). Primero se inició con la caracterización del agregado, dando prioridad al análisis granulométrico, ya que, se hizo la construcción de una arena que cumplió con los límites granulométricos y posteriormente, se procedió con el moldeo, curado y falla de los cilindros.

Al finalizar con las fallas y obtener los resultados de las resistencias a la compresión axial, se realizó un análisis estadístico de todos los valores de las mezclas, esto, para evaluar si los mismo seguían un comportamiento normal. También fue realizado un análisis de varianza

(ANOVA) para determinar cuáles factores influían en la resistencia; aunado, se realizó una prueba de Tukey para definir los diferentes niveles de afectación en la resistencia con la variación de las dosificaciones.

Después, se expone de forma gráfica, la variación de la resistencia según las diferentes relaciones agua-cemento y porcentajes de agregado. Finalmente, son presentadas las curvas de desarrollo de la resistencia con la edad donde se determina que las resistencias adquiridas a los 7 días se encuentran entre 55% a 73% de la resistencia alcanzada por los especímenes a los 28 días.

Introducción

El presente estudio muestra los resultados correspondientes de realizar mezclas de microconcreto en cilindros a escala reducida al utilizar tres diferentes relaciones agua-cemento (en adelante A/C) y cuatro porcentajes de agregado. Uno de los objetivos consistió en desarrollar curvas de resistencia a la compresión axial del microconcreto, de manera que, dichas curvas puedan ser utilizadas para facilitar la dosificación de futuras mezclas para el uso en estructuras a escala reducida.

El microconcreto consiste en un mortero estructural, constituido por cemento Portland ordinario, agua, y arena. Esta se subdivide en varias fracciones que están sujetas a especificaciones; este a diferencia de otros morteros ordinarios brinda alta resistencia a la compresión y a la flexión (González, 2010, p. 21). Una vez que se fabrica un concreto prototipo, es posible que se afecte su capacidad mecánica para resistir las cargas (Harris & Sabnis, 1999), por ello, es necesario realizar un estudio detallado del comportamiento del material.

En Costa Rica se han presentado investigaciones relacionados a las estructuras en escala reducida como lo son los estudios de Rodríguez (2010), Navas & Saéz (2011), y en el caso del microconcreto el señor Espinoza (1991). Sin embargo, el uso de los modelos a escala reducida no ha sido completamente aprovechado, ya que, al utilizar modelos más pequeños sería posible la reducción de los costos económico. Los equipos utilizados no tendrían que ser de gran capacidad, y los laboratorios de investigación podrían ser mucho más pequeños; lo anterior beneficiaría la investigación basada en el conocimiento del comportamiento del microconcreto y de las estructuras a escala real y reducida.

En este proyecto, se pretendió dar validez estadística a los datos obtenidos al determinar si los valores de las resistencias para cada una de las mezclas cumplían o no con una distribución normal; por esta razón, se fabricaron 35 cilindros

para cada mezcla y edad de falla, se usó un cemento hidráulico de tipo UG (uso general) y la mezcla de diferentes arenas.

Se utilizaron cilindros con dimensiones aproximadas de 5,5 cm de diámetro por 11,1 cm de altura, y en total, fueron fabricados 840 cilindros de microconcreto, los cuales, fueron fallados a dos edades distintas. En referencia a las mezclas se utilizaron las relaciones A/C de 0,4; 0,5 y 0,6; además los porcentajes de agregado fueron de 20%, 30%, 40%, y 50%.

La arena utilizada poseía un tamaño máximo de agregado de 9,5 mm, debido a que Harris como se citó en Espinoza (1991, p. 19), recomienda que el agregado debe tener un tamaño máximo de 1/5 de la dimensión más pequeña del recipiente.

Objetivo general

- ✓ Investigar el comportamiento de la resistencia a la compresión axial del microconcreto a partir de diferentes mezclas utilizando cilindros a escala reducida.

Objetivos específicos

- ✓ Confeccionar mezclas de microconcreto para cilindros a escala reducida de 5,5 cm de diámetro por 11,1 cm de altura para diferentes relaciones de agua/cemento y cuatro porcentajes de agregado.
- ✓ Evaluar el comportamiento de la resistencia a la compresión axial de las diferentes mezclas de microconcreto.
- ✓ Elaborar curvas de resistencia de microconcreto en función de la relación agua/cemento y porcentaje de agregado hasta una edad de 28 días.

Limitaciones

En referencia al proceso de caracterización de los agregados, moldeo y falla de los cilindros a escala de microconcreto, se contó con las siguientes limitaciones:

- Solo se realizaron fallas de los cilindros a 7 y 28 días.
- Las mezclas fueron realizadas en una batidora pequeña, la cual, es de baja capacidad volumétrica, además, se realizaron cuatro batidas diferentes para una misma dosificación.
- Los cilindros fallados a 7 y 28 días no fueron moldeados con una misma mezcla, sino, con mezclas realizadas en distintos días, pero con las mismas proporciones.
- Los cilindros presentaron pequeñas fugas de líquido en la parte inferior de los recipientes.
- El proceso de golpeado en la parte inferior y superior de los cilindros fue realizado con la misma varilla de compactación.
- Los cilindros fueron fallados sin el uso de almohadilla de neopreno.
- No se realizó un proceso de pulido o capeo de los cilindros.
- No se controlaron las condiciones ambientales en el laboratorio.

Marco teórico

Fundamentos del microconcreto

Definición

El concreto es una mezcla de grava, arena, cemento y agua, que constituye un bloque monolítico cuyas características acción-respuesta están dados por su curva esfuerzo-deformación unitaria. Una vez que se reduce a escala la granulometría de los agregados del prototipo y de cierta forma el cemento, se tiene como resultado un mortero que al reproducir las características de resistencia y la curva esfuerzo-deformación en compresión, se le denomina microconcreto (Hernández, n.d., p. 3).

De manera general, el microconcreto consiste en un mortero estructural, constituido por cemento Portland ordinario, agua y arena; se subdivide en varias fracciones que están sujetas a especificaciones. Además, el tamaño máximo de agregado es controlado; este a diferencia de otros morteros ordinarios brinda alta resistencia a la compresión y a la flexión (González, 2010, p. 21).

Componentes

Cemento

El cemento hidráulico es un material artificial de naturaleza inorgánica y mineral, que es finamente molido y convenientemente amasado con agua forma una pasta que fragua y endurece a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos

hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como bajo agua (RTCR 383, 2004).

Agregado

El agregado es un material granular, como arena, piedra, o escorias de altos hornos, usados con un medio cementante para formar cemento hidráulico, mortero o concreto (ASTM C 125, 2018, p. 2).

El agregado se puede clasificar de la siguiente manera: según el origen de las rocas, por el modo de fragmentación, por el tamaño de las partículas y por su peso unitario. En el cuadro 1 se encuentra una clasificación de los agregados según su peso unitario, en el cuadro 2 se presentan algunos pesos unitarios típicos de los agregados en condición seca y en el cuadro 3 se presenta una clasificación según su módulo de finura.

CUADRO 1. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PESO UNITARIO SECO (γ)	
Clasificación	Intervalo
Pesados	$\gamma > 1900 \text{ kg/m}^3$
Normales	$1120 \text{ kg/m}^3 < \gamma < 1900 \text{ kg/m}^3$
Livianos	$\gamma < 1120 \text{ kg/m}^3$

Fuente: (Muñoz, 1998, p. 53)

CUADRO 2. PESOS UNITARIOS SECOS DE AGREGADOS		
Material	Peso unitario seco (kg/m³)	
	Suelto	Envarillado
Arena	1440-1600	1520-1840
Grava 4,75 a 19 mm	1472-1568	1590-1710
Grava 4,75 a 37,5 mm	1520-1648	1664-1792
Arena-Grava ≤ 37,5 mm	1600-1840	1760-2000
Piedra triturada 4,75 a 19 mm	1410-1500	1520-1650
Piedra triturada 4,75 a 37,5 mm	1450-1580	1610-1730
Tobas (arenas)	1100-1400	1120-1450

Fuente: (Muñoz, 1998, p. 54).

CUADRO 3. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA	
MODULO DE FINURA	AGREGADO FINO
Menor que 2,00	Muy fino o extra fino
2,00 – 2,30	Fino
2,30 – 2,60	Ligeramente fino
2,60 – 2,90	Mediano
2,90 – 3,20	Ligeramente grueso
3,20 – 3,50	Grueso
Mayor que 3,50	Muy grueso o extra grueso

Fuente: (Rivera, 2009, p. 60)

Inicialmente, el agregado fue adicionado a las mezclas de concreto por razones económicas; no obstante, conforme se avanzó con diferentes tecnologías del concreto, se demuestra que los agregados tienen gran importancia en la resistencia y la trabajabilidad de las mezclas, donde, el agregado grueso tiene

mayor atribución en el primer caso, y el agregado fino en el segundo (Muñoz, 1998, p. 46).

Ishai, como se citó en Harris & Sabnis (1999), menciona que existen volúmenes críticos de concentración de la arena dentro de las mezclas a escala que afectan el módulo de elasticidad. En la figura 1 se plasma los resultados de las investigaciones realizadas por Ishai.

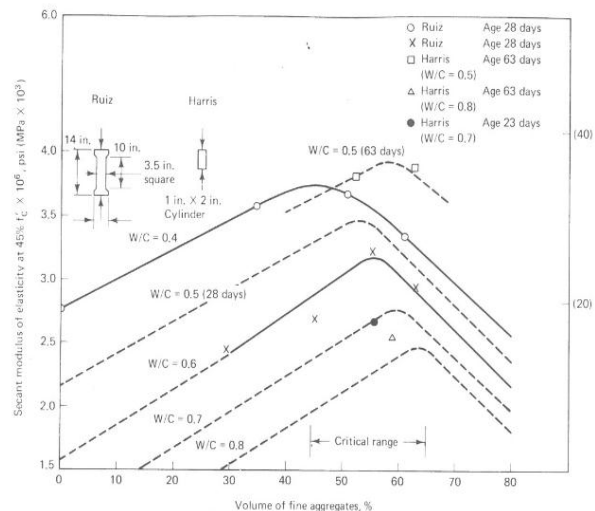


Figura 1. Efecto del agregado en el módulo de elasticidad

Fuente: (Harris & Sabnis, 1999, p. 141)

Agregado fino

El agregado fino se define según su tamaño de partícula. El agregado fino es conocido como arena, donde, sus tamaños se encuentran pasando el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y se retienen en el tamiz de 75 μm (No 200) (Muñoz, 1998, p. 53).

Tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo se define una vez realizada la granulometría del material. Corresponde al tamaño (apertura) del tamiz más pequeño del conjunto o serie de tamices por el cual pasa el 100% del material (ASTM C 125, 2018, p. 5).

En la práctica se dice que es el tamaño de la partícula más grande que hay dentro de la masa de agregado y que debe ser compatible con las dimensiones y especificaciones de la

estructura en que se utilizará el concreto (INTE C14, 2018, p. 7).

Agua

El agua en las mezclas deberá estar libre de sustancias tales como aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico, o de sustancias que sean perjudiciales para la mezcla (ASTM C 270, 2018, p. 2).

Mezclas

Contenido de aire atrapado

Cuando se produce cualquier tipo de mezcla se genera espacios entre partículas existentes aun cuando los espacios vacíos sean llenados con agua; estos espacios poseen aire atrapado que solo pueden ser eliminados con procesos específicos.

La presencia de estos vacíos puede producir una reducción en la cantidad de cemento empleado en la mezcla, lo cual se puede confundir con optimización de las mezclas; sin embargo, la optimización se produce cuando se da una dosificación adecuada de los agregados que en este caso no se estaría cumpliendo.

La presencia de aire siempre estará presente en las mezclas; por esta razón, los vacíos deben ser considerados para el cálculo apropiado de los volúmenes. Como lo indica Troxell (1968, p. 145), los vacíos están relacionados con el tamaño de los agregados, por lo que en el cuadro 4 se determina los porcentajes de aire atrapado para cada uno de los tamaños máximo de agregado.

CUADRO 4. PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO EN LA MEZCLA SEGÚN EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

Tamaño máximo de agregado (mm)	Aire incluido (%)
152,40	0,2
76,20	0,3
50,80	0,5
38,10	1
25,40	1,5
19,05	2
12,70	2,5
9,53	3
4,75	3,4

Fuente: (Troxell et al., 1968)

Hidratación

Se considera como hidratación a las reacciones químicas que suceden entre el cemento y el agua; dependiendo de estas reacciones así será la calidad de unión de la pasta de cemento portland. Este proceso comprende tres etapas:

Primera etapa: La formación de hidróxido de calcio y etringita a temperatura ambiente son los encargados de caracterizar esta etapa, que ocurre entre 3 a 10 minutos después del inicio del amasado (Muñoz, 1998, p. 15).

Segunda etapa: La caracteriza la formación de pequeños cristales con tubosidades de silicato de calcio hidratado (tobermorita); inicia una hora después del amasado. Hasta ese momento no se ha reducido significativamente los granos de cemento, esto a causa de que solo su capa superficial inició la reacción química. La tobermorita y la etringita crecen en forma de tubificación de modo que se subdividen cada vez más y forman entrecruzamientos de microcristales fibrosos y aciculares, lo cual da lugar a la estructura básica.

La duración de esta segunda etapa es de hasta 24 horas y es de gran importancia para el desarrollo de la resistencia mecánica. Cuando se termina esta segunda etapa se concluye con la formación de etringita; esto se debe a que después de 24 horas se consume por completo el

yeso en condiciones normales (Muñoz, 1998, p. 16).

Tercera etapa: Esta etapa es comprendida hasta la hidratación total, donde los poros existentes son llenados con los productos de la hidratación; debido a esto, se ve aumentada la capacidad de la estructura (Muñoz, 1998, p. 16).

Relación agua-cemento

La relación agua-cemento (A/C), consiste en la ración de masa de agua, excluida la masa de agua que es absorbida por los agregados y la masa de cemento presente en las mezclas (ASTM C 125, 2018, p. 8). En otras palabras la relación agua-cemento es simplemente la masa de agua dividida entre la masa de cemento que poseen las mezclas (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, p. 186).

Harris y Sabnis (1999, p. 138), indican que existe una relación decreciente entre la relación A/C y la resistencia a la compresión axial del microconcreto. En la figura 2 se presenta la relación existente entre estas variables, tras diferentes estudios realizados en Cornell University.

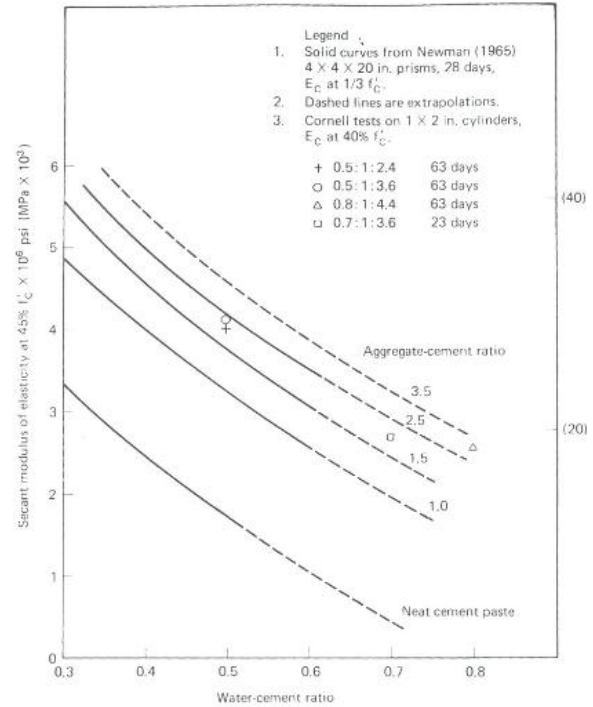


Figura 2. Efecto de la relación agua-cemento (A/C) y agregado-cemento (Ag/C) en las propiedades del microconcreto.

Fuente: (Harris & Sabnis, 1999, p. 140)

Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado consiste en la transición de la pasta o mezcla de un estado fluido a un estado sólido; se debe tener claro que este término difiere del endurecimiento, ya que, este último consiste en el aumento de la resistencia de la pasta.

Durante el proceso de fraguado los primeros en reaccionar son el C_3A (Aluminato tricálcico) y el C_3S (Silicato tricálcico). La adición de yeso al cemento retrasa el fraguado del C_3A , con ello se permite que el C_3S fragüe primero y se mejore las características de la resistencia durante el tiempo. Es común utilizar en la práctica los términos de fraguado inicial y fraguado final para designar el fraguado total de la mezcla. Generalmente el tiempo de fraguado inicial para el cemento portland tipo I oscila entre 2 a 4 horas y el final ocurre normalmente a las 8 horas (Muñoz, 1998, p. 18).

Trabajabilidad

Consiste en la facilidad que posee el concreto para ser consolidado, colocado y acabado cuando se encuentra en su estado fresco. El concreto debe poseer esta característica evitando la separación de sus ingredientes durante el periodo de su manipulación; es importante mantener una distribución uniforme de las partículas de agregado y la presencia de aire incorporado es beneficioso en el control de la segregación y en la mejoría de la trabajabilidad de la mezcla (Kosmatka et al., 2004, p. 3).

Como menciona Kosmatka (2004) existen varios factores que influyen en la trabajabilidad entre ellos se encuentran:

- Método y duración del transporte.
- Cantidad y características de los materiales cementantes.
- Consistencia de la mezcla.
- Tamaño, forma y textura de los agregados.
- Aire incluido.
- Cantidad de agua.
- Temperatura del concreto y del ambiente.
- Aditivos.

Asentamiento y sangrado

En cuanto el concreto queda en reposo, después de colocarlo y compactarlo dentro del espacio cimbrado, se inicia un proceso natural mediante el cual los componentes más pesados (cemento y agregados) tienden a descender en tanto el agua, componente menos denso, tiende a subir.

El asentamiento y sangrado son de orden intrínseco y se relacionan con exceso de fluidez en las mezclas. Entre los principales factores que influyen se pueden mencionar: la característica deficiente de formas, textura superficial y granulometría en los agregados (principalmente la falta de finos en la arena) y reducido consumo unitario y/o baja finura en el cementante (Instituto de Ingeniería UNAM, 1994, p. 28).

Curado

El curado, consiste en la acción de mantener las condiciones de humedad y temperatura en una mezcla recién colada, para permitir la hidratación del cemento hidráulico y si es aplicable la reacción de la puzolana para que ocurra el potencial desarrollo de las propiedades de la mezcla (ASTM C 125, 2018, p. 4).

Como lo menciona Kosmatka (2004), existen diferentes razones para que se dé un aumento de la resistencia durante el proceso de curado, entre ellas tenemos.

- Mientras que el cemento no hidratado se encuentre presente.
- Si el concreto permanece húmedo o por lo menos a una humedad relativa no menor del 80%.
- Si la temperatura del concreto es favorable.
- Que existan suficientes espacios para que se formen los productos de la hidratación.

La resistencia se ve interrumpida cuando la temperatura del concreto baja a menos de cero grados, también, si la humedad relativa se encuentra cercana a 80%. No obstante, si el concreto llega a un estado de secado, pero se vuelve a saturar, este, vuelve a aumentar su resistencia, no obstante, es mucho mejor que el curado sea húmedo y aplicado continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto alcance su resistencia deseada (Kosmatka et al., 2004, p. 6).

Los especímenes de microconcreto muestran una tendencia general de aumento de la resistencia conforme aumenta la edad de cura en la cámara húmeda (Araya, 2013). Los porcentajes de aumento son mostrados en el cuadro 5.

CUADRO 5. AUMENTO TEÓRICO DE LA RESISTENCIA CON LA EDAD DE CURA

Resistencia Porcentual (%)	Resistencia Porcentual (%)	Resistencia Porcentual (%)	Resistencia Porcentual (%)	Resistencia Porcentual (%)	Resistencia Porcentual (%)	Resistencia Porcentual (%)
100	100*	100*	100*	100*	100*	100
85	81*	79*	78*	76*	74*	70
70	65*	63*	60*	58*	55*	50
55	49*	46*	43*	39*	36*	30
0	0	0	0	0	0	0

*Valores intermedios

Resistencia a la compresión axial

La definición de la resistencia a la compresión consiste en la medida máxima de la resistencia a la carga axial de especímenes de concreto. Los kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2), los mega pascales (MPa), las libras por pulgada cuadrada (lb/pulg^2) o el kilo Newton (kN) son unidades comúnmente utilizadas para determinar la resistencia de las mezclas a los 28 días. También se puede determinar la resistencia en otras edades; sin embargo, se debe conocer cuál es la relación existente entre la resistencia a cualquier edad y la resistencia adquirida por la mezcla a los 28 días. El símbolo utilizado para designar la resistencia a la compresión es $f'c$, y la resistencia real adquirida por el concreto debe excederla (Kosmatka et al., 2004, p. 8).

Estadística básica

Parámetros estadísticos

Estadística

La estadística se puede definir como un conjunto de modelos y teorías utilizados para recolectar, describir y analizar un conjunto de datos observados y pueden ser convertidos en información útil para el investigador como para el lector (Chaves, 2016, p. 3). Según su función la

estadística se puede dividir en dos: la estadística descriptiva y la inferencial.

Estadística descriptiva

Hace referencia a la recolección, clasificación, presentación, análisis e interpretación de los datos. Es necesario utilizar este tipo cuando se debe obtener y transmitir información a partir de muchos datos aislados, ya que, de otra manera complica su transmisión a otro lector interesado (Chaves, 2016, p. 12).

Estadística inferencial

Consiste en el uso del razonamiento para que a partir de observaciones específicas se puedan tomar decisiones generalizadas. Generalmente se toma una muestra y a partir de ella, deducir el comportamiento de la población (Chaves, 2016, p. 13).

Población

Conjunto de todos los datos que pueden ser estudiados por un investigador, es decir, representa la totalidad de involucrados en el estudio, o bien, para los cuales la investigación será válida (Chaves, 2016, p. 13).

Muestra

Hace referencia a un subconjunto de la población. Se puede definir como una colección de elementos con los que se pretende inferir resultados válidos acerca de la población a la que pertenecen (Chaves, 2016, p. 13).

Medidas posición central

Es importante tomar en cuenta este concepto, ya que el propósito principal de las medidas de posición central consiste en tratar de resumir, en un solo número la posición o localización de la distribución de los datos (Gómez, 1998, p. 273).

Media aritmética

Se conoce comúnmente como promedio, es la medida de dispersión más utilizada, da una idea del comportamiento de un conjunto de datos (Chaves, 2016, p. 83).

La manera en que se debe calcular el promedio es utilizando la ecuación 1:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad \text{Ec (1)}$$

Donde \bar{X} corresponde al valor promedio de los datos, X_i es el *i*ésimo valor de la resistencia, y n es la cantidad de resistencias obtenidas.

Medidas de dispersión

Hace referencia a la medida en que los valores se concentran o se dispersan alrededor de un valor típico, dicho de otra manera, consiste en la importancia de las desviaciones de los elementos individuales respecto a un valor representativo escogido para caracterizar el grupo (Gómez, 1998, p. 317).

Varianza

La varianza (s^2) es utilizada para conocer qué tan dispersos se encuentran sus valores observados respecto a su media (Chaves, 2016, p. 86). En

otras palabras, consisten en la diferencia entre el promedio de cada una de las observaciones al cuadrado. Así para una muestra la varianza se calcula con la ecuación 2.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad \text{Ec (2)}$$

Donde s^2 es la varianza de la muestra y $n - 1$ se denomina como los grados de libertad de los datos.

Desviación estándar

La desviación estándar (s) nos da un indicio de la varianza media de las observaciones respecto de la media. Generalmente su resultado se expresa como “ $\pm s$ ” del valor promedio de la muestra, lo que indica que los datos se distribuyen en promedio “ s ” valores por encima y “ s ” valores por debajo de la media (Chaves, 2016, p. 89).

Para calcular la desviación estándar se puede utilizar la siguiente ecuación 3:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{Ec (3)}$$

Donde s es la desviación estándar de la muestra y $n - 1$ se le denomina los grados de libertad de los datos, \bar{X} corresponde al valor promedio de los datos, X_i es el *i*ésimo valor de la resistencia, y n es la cantidad de resistencias obtenidas.

Coefficiente de variación

El coeficiente de variación (CV) es de igual forma una medida de la variación, pero de forma porcentual. Es útil cuando se tienen magnitudes muy elevadas, ya que, tanto la varianza como la desviación estándar posiblemente también sean muy grandes, además, se puede utilizar para comprar desviaciones de valores que poseen diferentes unidades de medición (Chaves, 2016, p. 90).

El coeficiente de variación debe ser calculado de la siguiente manera:

$$V = \frac{s}{\bar{X}} \times 100 \quad \text{Ec (4)}$$

Donde V representa el coeficiente de variación y \bar{X} corresponde al valor promedio de los datos.

Rango

El rango (R) se define como la diferencia entre el valor mayor y el valor menor de los datos (Nieves & Domínguez, 2012, p. 130). Representa un intervalo entre dos valores extremos, y también es conocido como amplitud o intervalo (Chaves, 2016, p. 96). El rango se calcula según la ecuación 5.

$$R = L_{sup} - L_{inf} \quad \text{Ec (5)}$$

Donde L_{sup} corresponde al límite superior de la última clase y L_{inf} es el límite inferior de la primera clase.

Evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia

El comité ACI 214R-02 (2002) indica que la magnitud de las variaciones en la resistencia de los especímenes de prueba de concreto es un resultado directo del grado de control ejercido sobre los materiales constituyentes, el proceso de producción y transporte de concreto, y los procedimientos de muestreo, preparación de muestras, curado y prueba. La variabilidad en la resistencia se puede rastrear a dos fuentes fundamentalmente diferentes:

- ❖ La variabilidad en las propiedades de producción de resistencia de la mezcla de concreto y los ingredientes, incluidos el procesamiento por lotes y la producción.
- ❖ La variabilidad en la resistencia media causada por variaciones inherentes al proceso de prueba.

El cuadro 6 resume las principales fuentes de variación de la resistencia.

CUADRO 6. PRINCIPALES FUENTES DE VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA	
Variación de las propiedades del concreto	Variación de los métodos de prueba
Cambios en la relación A/C causados por: -Poco control del agua. -Variación excesiva de la humedad en las mediciones de agregados o de humedad agregada variable. -Remoldeado	Procesos inapropiados de muestreo.
	Variación en las técnicas de fabricación: -Manejo, almacenamiento, y curados de los cilindros recientemente fabricados.
Variaciones en el agua requerida causadas por: -Cambios en la graduación del agregado, absorción, particularmente la forma. -Cambios en el cemento y las propiedades de la mezcla. -Tiempo de entrega y temperatura.	Cambios en curado: -Variación de la temperatura. -Variación del monitoreo y control. -Retrasos trayendo los cilindros al laboratorio. -Retrasos en el inicio del curado.
Variación en características y propiedades de los ingredientes: -Agregados. -Material del cemento, incluido las puzolanas. -Aditivos.	Malos procesos en las pruebas. -Preparación de especímenes. -Proceso de la prueba. -Mala calibración de los equipos.
Variación en la mezcla, transporte al lugar, y consolidación.	
Variaciones en la temperatura del concreto y el curado.	

Fuente: (American Concrete Institute, 2002)

Variaciones de la resistencia

$$s_1 = \frac{1}{d_2} \bar{R} \quad \text{Ec (6)}$$

Variaciones en los métodos de prueba

La variación dentro de la prueba se ve afectada por las variaciones en el muestreo, moldeado, consolidación, transporte, curado, tapado y prueba de especímenes. Sin embargo, el resultado de una prueba de resistencia única de una mezcla de concreto no proporciona datos suficientes para el análisis estadístico. Como con cualquier estimador estadístico, la confianza en la estimación es una función del número de resultados de la prueba.

La desviación estándar dentro de la prueba se estima a partir del rango promedio R de al menos 10 (preferiblemente más), de los resultados de la prueba de resistencia de una mezcla de concreto, probada a la misma edad, y los valores apropiados de d_2 en cuadro 7 usando la ecuación 6. En la ecuación 7, el coeficiente de variación dentro de la prueba, en porcentaje, se determina a partir de la desviación estándar dentro de la prueba y la fuerza promedio.

$$V_1 = \frac{s_1}{\bar{X}} \times 100 \quad \text{Ec (7)}$$

Donde s_1 es el valor de la desviación estándar dentro de la prueba, \bar{R} es el rango promedio dentro de la prueba de al menos 10 pruebas, d_2 es el factor para calcular la desviación estándar dentro de la prueba del rango promedio, V_1 es el coeficiente de variación dentro de la prueba, y \bar{X} es el resultado de la prueba de resistencia promedio.

Pruebas de hipótesis

Las pruebas de hipótesis consisten en plantear preguntas las cuales permiten introducir las ideas básicas de análisis inferencial mediante pruebas de hipótesis. La adaptación de este método en estadística parte de dos hipótesis lógicas: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa representadas como H_0 y H_1 . La hipótesis nula H_0 siempre establece el parámetro (desconocido) de interés, la hipótesis alterna H_1 establece que el parámetro es menor que ($<$), mayor que ($>$), o simplemente no igual (\neq) (Nieves & Domínguez, 2012, p. 416). En otras palabras, una prueba de hipótesis es una aseveración o conjetura respecto a una o más poblaciones (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012, p. 319).

Se debe seleccionar el nivel de significancia al cual se va a someter a prueba la hipótesis (generalmente entre 5% y 1%).

Distribución normal

Es una de las distribuciones de probabilidad más utilizadas y que corresponde a una variable continua. También es llamada distribución Gaussiana. En la figura 3 se aprecia de forma gráfica una distribución normal.

CUADRO 7. FACTORES PARA EL CÁLCULO DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR INHERENTE A LA PRUEBA		
N	d2	1/d2
2	1,128	0,887
3	1,693	0,591
4	2,059	0,486
25	3,931	0,254
26	4,042*	0,247
27	4,082*	0,245
28	4,121*	0,243
29	4,159*	0,240
30	4,195*	0,238

Fuente: (Neubauer, 2018, p. 78)

*Datos obtenidos a partir de la ecuación de mejor ajuste.

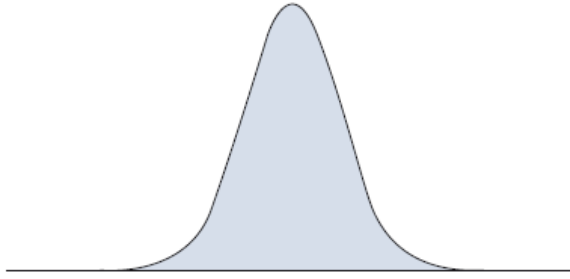


Figura 3. Forma gráfica de distribución normal
Fuente:(Moya & Robles, 2010)

La prueba de Ryan-Joiner que es similar a la prueba Shapiro-Wilk proporciona un coeficiente que indica la correlación entre sus datos y las puntuaciones normales de sus datos. Si el coeficiente de correlación es cercano a 1, sus datos se acercan al gráfico de probabilidad normal. Si cae por debajo del valor crítico apropiado, rechazará la hipótesis nula de normalidad (Minitab 18, 2018). En la ecuación 8 se presenta la forma de calcular la normalidad empleada en el software Minitab 2018.

$$R_p = \frac{\sum Y_i b_i}{\sqrt{s^2(n-1)\sum b_i^2}} \quad \text{Ec (8)}$$

Donde Y_i son observaciones ordenadas, b_i corresponde a puntajes normales de sus datos ordenados y s^2 es la varianza de la muestra.

Características

Como lo menciona Ólger Chaves (2016), la distribución Gaussiana posee ciertas características en común:

- ✓ Si se prepara una distribución de frecuencias, existe una simetría alrededor de la media.
- ✓ Si se reduce sustancialmente el intervalo de las clases, el polígono de frecuencias obtenido sigue la forma de una campana (llamada campana de Gauss).
- ✓ La probabilidad de encontrar un valor mayor a la media a una distancia dada es igual a la de encontrar otro menor a la misma distancia.
- ✓ Es posible normalizar o estandarizar las poblaciones mediante el uso de un

estadístico z para analizarlas y compararlas.

Las distribuciones de normalidad dependen de dos parámetros, la media (\bar{X}), y de desviación estándar (s); en la figura 4 se presenta una descripción de dos curvas normales con medias iguales y diferentes desviaciones estándar, en la figura 5 se representa tres curvas de distribución normal con igual media, pero con diferentes desviaciones estándar para una prueba a la compresión axial del concreto.

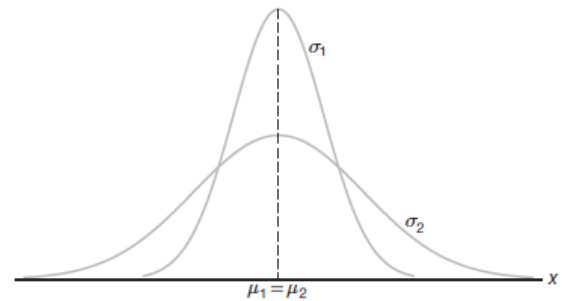


Figura 4. Curvas normales con diferente desviación estándar
Fuente: (Walpole et al., 2012, p. 174)

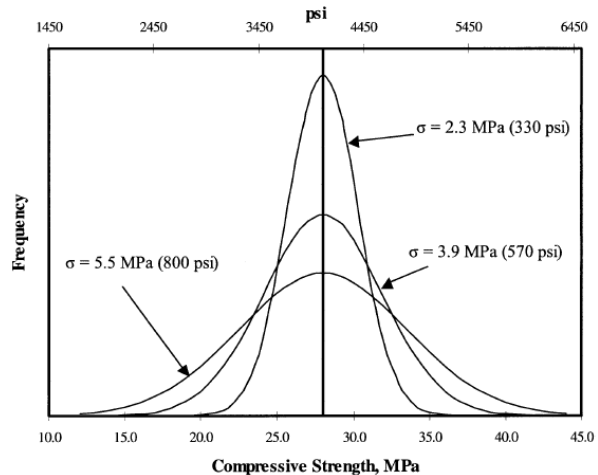


Figura 5. Curvas de distribución de frecuencias normal para tres distribuciones con igual media y diferentes desviaciones estándar.

Fuente: (American Concrete Institute, 2002, p. 4)

Una vez definida la distribución normal es posible definir intervalos determinados donde se pueda precisar la probabilidad de ocurrencia de un evento. Por ejemplo, se sabe que para una distribución Gaussiana el 68% de los valores recaerán en el área incluida dentro del intervalo $\mu \pm \sigma$ y un 95% de los valores estarán dentro del

área de $\mu \pm 2\sigma$ y esto es igual para todas las distribuciones Gaussianas. En la figura 6 se observa para una prueba a la compresión axial del concreto diferentes intervalos con su respectiva probabilidad de incidencia.

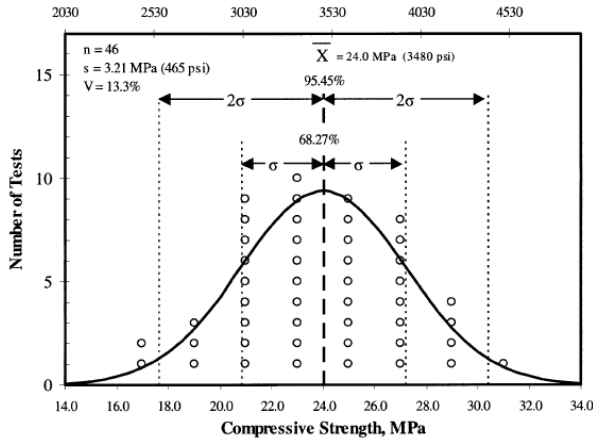


Figura 6. Distribución de frecuencias normal para la resistencia a la compresión axial.

Fuente: (American Concrete Institute, 2002, p. 4)

Intervalos de confianza

Un intervalo de confianza consiste en un intervalo de valores en el cual, se confíe con algún nivel de certeza que la media se encuentre dentro de ese intervalo con una probabilidad específica. Para obtener ese intervalo se utiliza la distribución de probabilidad del estimador puntual.

Los intervalos de confianza dependen de: el tamaño de la muestra (n), la media poblacional (μ) la varianza poblacional (σ), y el nivel de confianza deseado, sin embargo, también se puede hacer uso de los intervalos de confianza cuando lo que tenemos es una muestra de la población (Moya & Robles, 2010).

Para un intervalo de confianza (IC) del 95% quiere decir que alrededor del 95% de los datos obtenidos estarán dentro de este rango cercano a la media.

Análisis de varianzas (ANOVA)

Su objetivo principal consiste en analizar diferencias entre las medias de dos o más poblaciones. Los análisis de varianza toman en cuenta los grupos o niveles pertenecientes a uno o más factores de interés.

Para poder ejecutar este análisis es necesario tener una variable de respuesta continua, y los grupos o niveles del factor que se va a estudiar deben representar poblaciones cuyas mediciones resultantes son tomadas de manera aleatoria e independiente, que siguen una distribución normal y varianzas iguales (Berenson & Levine, 1995, p. 527).

Se utilizan las siguientes ecuaciones:

Suma de cuadrados:

$$SST = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X})^2 \quad \text{Ec (9)}$$

$$SSA = \sum_{j=1}^c n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2 \quad \text{Ec (10)}$$

$$SSW = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \quad \text{Ec (11)}$$

Donde SST : es la variación total, SSA es la variación entre grupos, SSW es la variación dentro del grupo. X_{ij} es la i -ésima observación del grupo o nivel j , n_j es el número de observaciones del grupo o nivel, n es el total de número de observaciones en todos los grupos combinados, c es el número de grupos o niveles del factor de interés, \bar{X}_j : es la media de muestras del grupo, \bar{X} es la media general o gran media.

Varianza

$$MSA = \frac{SSA}{c-1} \quad \text{Ec (12)}$$

$$MSW = \frac{SSW}{n-c} \quad \text{Ec (13)}$$

$$MST = \frac{SST}{n-1} \quad \text{Ec (14)}$$

$$F = \frac{MSA}{MSW} \quad \text{Ec (15)}$$

Donde n es el total de número de observaciones en todos los grupos combinados, c es el número de grupos o niveles del factor de interés.

Prueba de Tukey

Este procedimiento consiste en determinar cuáles de todas las medidas son significativamente diferentes entre sí, el procedimiento es formulado después de que los datos han sido inspeccionados.

El procedimiento de Tukey (También conocido como método de la diferencia significativa honesta) nos permite examinar simultáneamente comparaciones entre todos los pares de grupos. Este procedimiento puede ser aplicado solo si los tamaños de las muestras no difieren (Benson & Levine, 1995, p. 537). Para esta prueba se utiliza la ecuación 16.

$$W = q_{(\alpha,k,v)} \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad \text{Ec (16)}$$

Donde W corresponde al valor de resultado de la diferencia significativa honesta, $q_{(\alpha,k,v)}$ es la amplitud total estandarizado (valor encontrado en tablas y que está en función del nivel de significancia), α es el nivel de significancia, k corresponde al número de tratamientos, v son los grados de libertad, s^2 es el cuadrado medio del error del análisis de varianza, y n es el número de observaciones por tratamiento (Walpole et al., 2012, p. 526).

Metodología

El presente proyecto de graduación fue desarrollado con base en los datos recabados de forma experimental, por medio de los ensayos de lavado de la arena, caracterización, curado y resistencia a la compresión. Las pruebas fueron llevadas a cabo en el LabCIVCO y son basados en las normas ASTM (American Society of Testing Materials).

Por otra parte, se realizó un análisis estadístico para determinar el cumplimiento de la normalidad de los datos, los valores de la estadística descriptiva, análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey, estos análisis se realizaron en el programa Minitab 18 y los datos fueron organizados y manejados en el programa Microsoft Excel.

Diseño experimental

En el cuadro 8 se presenta la matriz experimental utilizada como guía para la fabricación de las mezclas de microconcreto.

CUADRO 8. MATRIZ UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LAS MEZCLAS DE MICROCONCRETO

Edad:		7 días			
Relación A/C \ Agregado	20%	30%	40%	50%	
	0,4	35 cilindros	35 cilindros	35 cilindros	35 cilindros
0,5	35 cilindros	35 cilindros	35 cilindros	35 cilindros	
0,6	35 cilindros	35 cilindros	35 cilindros	35 cilindros	
Edad:		28 días			
Relación A/C \ Agregado	20%	30%	40%	50%	
	0,4	35 cilindros	35 cilindros	35 cilindros	35 cilindros
0,5	35 cilindros	35 cilindros	35 cilindros	35 cilindros	
0,6	35 cilindros	35 cilindros	35 cilindros	35 cilindros	

Fabricación de moldes

En total se elaboraron cuatro moldes, cada uno poseía dos láminas acrílicas de 6 mm de espesor, una de ellas fue colocada a un tercio de la parte superior de los cilindros, la otra lámina se coloca en la parte inferior; los cilindros se realizaron de policloruro de vinilo (PVC). Ambas láminas se sujetaron con tornillos de carrocería de 4", y se atornillaron con tuercas de mariposa y tuercas hexagonales, junto con dos arandelas por cada tornillo, en total fueron necesarios 10 tornillos por cada molde, en la figura 7 se puede observar uno de los moldes descritos anteriormente.

Cada uno de los moldes tiene un total de nueve cilindros de policloruro de vinilo y las dimensiones promedio de los moldes se observa en el cuadro 9.

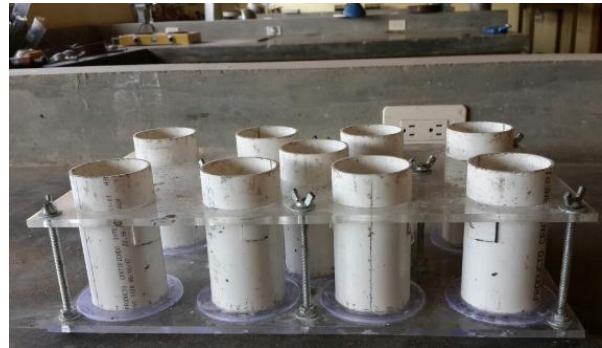


Figura 7. Moldes a escala reducida.

CUADRO 9. TAMAÑO APROXIMADO DE CILINDROS A ESCALA

Medición	Diámetro (mm)	Altura (mm)
1	55,38	110,97
2	55,42	110,72
3	55,30	110,78
Promedio	55,37	110,82

Caracterización

Se caracterizó el agregado fino a utilizar (arena), esto para el diseño de mezcla y se sigue los siguientes procedimientos.

Materiales más finos que la malla N° 200

Se realiza el lavado por el tamiz N°200 (figura 8) de toda la arena utilizada para la mezcla, según la norma ASTM C 117 (2018).

- Se colocó una cantidad de arena adecuada en un recipiente y se agregó la cantidad suficiente de agua para cubrirlo.
- Se agito vigorosamente el recipiente con el agua para separar las partículas orgánicas de las más gruesas y que queden suspendidas en el agua.
- Se vertió el exceso de agua sobre la malla N°200 (la cual debe estar protegida por una malla de mayor tamaño).
- Se evitó en la medida de lo posible que las partículas más gruesas fueran vertidas en las mallas.
- Se agregó agua al material retenido en la malla N°200 para asegura el paso del material orgánico sobre dicha malla, y que el material retenido estuviese completamente limpio.
- Se vertió el material retenido en una nueva bandeja limpia de cualquier material o producto ajeno a la arena.
- Se agregó nuevamente agua suficiente al recipiente con la arena inicial hasta que la arena quedara cubierta.
- Se repitió nuevamente el procedimiento anterior hasta lograr que el agua saliera translúcida.
- Se agrega todo el material a la bandeja limpia y se colocó en el horno hasta que la arena estuviera completamente seca.



Figura 8. Lavado de la arena por el tamiz No 200.

Análisis granulométrico

En este caso, la granulometría fue controlada, ya que, la arena fue tamizada, dividida y almacenada en bolsas plásticas según su tamaño de partícula; posteriormente, se mezclaron los diferentes tamaños asegurando que la arena se encontrara entre los límites granulométricos establecidos; para determinar la cantidad de arena necesario por cada tamaño de partícula, se utilizó la ecuación 17:

$$P_{req} = \left(\frac{100 - \%P_{as_{ideal}}}{100} \right) \times P_{const} - \sum P_{req_{ant}} \quad \text{Ec (17)}$$

Donde P_{req} corresponde al peso retenido en el tamiz, $\%P_{as_{ideal}}$ es el valor intermedio de los límites superior e inferior establecidos por la norma para el porcentaje pasando, P_{const} corresponde al peso final que se desea obtener, y $\sum P_{req_{ant}}$ es el peso requerido calculado para el tamiz anterior.

Se utiliza el método manual de tamizado para realizar el análisis granulométrico de la arena,

según la norma ASTM C 136 (2018), en la figura 9 se observa el proceso de tamizado. A continuación, se describe el procedimiento seguido:

- Se secó la muestra en el horno a 110 ± 5 °C hasta obtener masa constante.
- Se prepararon los tamices con las aberturas indicadas por la norma.
- Se retiró la muestra del horno y se dejó enfriar por unos minutos.
- Se inicia con el proceso de tamizado, primero con el tamiz de mayor abertura, y se continúa con los demás tamices en orden descendiente según la abertura del tamiz.
- Se limitó la cantidad de muestra en cada tamiz para garantizar que todas las partículas pudieran estar en contacto con la malla.
- Una vez que toda la muestra fue tamizada, se pesó el material retenido; continuó con el proceso de suficiencia hasta que el material retenido no disminuyera su masa en un 1%.
- Una vez finalizado el proceso de tamizado en todos los tamices, se verificó que el error fuese menor al 0,3% indicado por la norma, esto se realiza con ecuación 18.

$$\%E = \frac{W_{seco} - \sum W_{ret}}{W_{seco}} * 100 \quad \text{Ec (18)}$$

Donde W_{seco} corresponde al peso seco de la muestra, $\sum W_{ret}$ es la sumatoria del peso retenido en cada uno de los tamices.

- Se calculó los porcentajes de los pesos retenidos, los porcentajes de los pesos retenidos acumulados, los porcentajes de los pesos pasando, y porcentajes de pesos pasando acumulado para cada uno de los tamices.
- Se determinó el módulo de finura de la arena, para ello se suma el porcentaje retenido acumulado de los siguientes tamices: 150 μm ; 300 μm ; 600 μm ; 1,18 mm; 2,36 mm; 4,75 mm; 9,5 mm y se divide entre 100.



Figura 9. Tamizado de forma manual para determinar la distribución granulométrica.

Pesos unitarios y vacíos

Se determinó el peso unitario de la arena y la cantidad de vacíos según el método de percusión designado en la norma ASTM C 29 (2018); el procedimiento utilizado se describe a continuación:

- Se pesó el recipiente vacío antes de iniciar el ensayo.
- Se secó la arena en el horno a una temperatura 110 ± 5 °C hasta obtener masa constante.
- Se colocó el recipiente normado sobre una bandeja vacía para evitar la pérdida del material.
- Se agrega la arena en el recipiente desde una altura de 5 cm de la parte superior, con una herramienta adecuada para mantener un flujo constante de caída del material.
- El recipiente fue llenado en tres capas de un espesor aproximadamente igual.

- Se levantó los lados del recipiente de forma alternada y se dejó caer de aproximadamente una altura de 5 cm.
- En cada una de las tres capas, el recipiente se dejó caer 50 veces (25 de cada lado).
- Para la última capa se llenó constantemente el recipiente cuando se producía derrame del material, esto antes de finalizadas las 50 caídas.
- Una vez finalizadas las tres capas, se enrazó el recipiente rellenando los espacios vacíos hasta que la superficie quedara completamente plana.
- Se limpió el recipiente en la parte exterior y se pesó.
- Se repitió el procedimiento anterior hasta garantizar que los valores individuales no defiriera en más del 1%.

Gravedad específica y absorción

Este ensayo fue realizado según lo indicado por la norma ASTM C 128 (2018), y el procedimiento fue el siguiente:

- Una muestra de agregado de aproximadamente 1,5 kg fue saturada con agua durante 24 horas.
- Una vez transcurridas las 24 horas se retiró el agua excedente de la muestra, utilizando una manguera, evitando a medida de lo posible la pérdida del material más fino presente en la muestra.
- Como se observa en la figura 10, se colocó la bandeja con la muestra sobre una cocina eléctrica y se movió el material con una cuchara constantemente para lograr una pérdida paulatina de la humedad excedente en la muestra.
- Cuando el material se observó relativamente seco, suelto, y en el fondo de la bandeja no quedaba indicios de humedad tras el contacto con la arena; la bandeja fue retirada de la cocina eléctrica y se dejó enfriar por unos minutos.
- Cuando la muestra estaba fría, se colocó el cono truncado sobre una bandeja de acrílico, se llenó completamente hasta rebozar y con el apisonador se le dieron 25 golpes; si la muestra se compactaba completamente dejando el cono con un

espacio vacío, se volvió a llenar antes de completar los 25 golpes.

- El material excedido por el proceso anterior fue retirado de la lámina acrílica (figura 11); posteriormente se levantó el cono verticalmente; esto produjo que la arena callera por gravedad.
- Una vez que la arena se mantuvo con la forma cónica, se consideró que se encontraba en estado saturado superficie seca y se procedió a llenar el picnómetro con aproximadamente 500 g de arena.
- Se agregó agua al picnómetro hasta que estuviera aproximadamente a un 90% de su capacidad de aforo.
- Posteriormente, el picnómetro fue agitado con movimientos circulares en la mano, o sobre un paño hasta que todas las burbujas fueron retirados, en este paso también se hizo uso de una bomba de vacío.
- Luego se llenó el picnómetro con agua hasta la marca de aforo, comprobando que el agua estuviese a una temperatura de 23 ± 2 °C y se pesó como se observa en la figura 12.
- Una vez pesado, se retiró la muestra del picnómetro y se depositó en un recipiente metálico previamente pesado, después se introdujo la muestra en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta obtener masa constante.
- Finalmente se obtuvieron los parámetros necesarios.



Figura 10. Proceso de eliminación del exceso de humedad en la cocina eléctrica.



Figura 12. Medición de la temperatura del agua dentro del picnómetro.



Figura 11. Eliminación del material excedente en la lámina acrílica.

Para obtener la gravedad específica seca (G_{ss}) se utilizó la ecuación 19.

$$G_{bs} = \frac{A}{(B+S-C)} \quad \text{Ec (19)}$$

Donde A corresponde a la masa de la muestra de ensayo seca al horno (g), B es la masa del picnómetro con agua hasta la marca de aforo (g), S es la masa de la muestra saturada superficie seca (g), y C es la masa del picnómetro con la muestra de ensayo y agua hasta la marca de aforo (g).

La gravedad específica saturada superficie seca se calcula de la siguiente manera:

$$G_{sss} = \frac{S}{(B+S-C)} \quad \text{Ec (20)}$$

Donde B es la masa del picnómetro con agua hasta la marca de aforo (g), S es la masa de la muestra saturada superficie seca (g), y C es la masa del picnómetro con la muestra de ensayo y agua hasta la marca de aforo (g). Para la gravedad específica aparente (G_s) se tiene:

$$G_s = \frac{A}{(B+A-C)} \quad \text{Ec (21)}$$

Donde A corresponde a la masa de la muestra de ensayo seca al horno (g), B es la masa del picnómetro con agua hasta la marca de aforo (g), y C es la masa del picnómetro con la muestra de ensayo y agua hasta la marca de aforo (g). Para el porcentaje de absorción se tiene:

$$\% Ab = \left[\frac{(S-A)}{A} \right] \times 100 \quad \text{Ec (22)}$$

Donde S corresponde a la masa de la muestra saturada superficie seca (g), y A es la masa de la muestra de ensayo seca al horno (g).

Mezcla de microconcreto

Se dosificó por peso la cantidad de agregado para cada una de las mezclas, de forma tal que se varió la cantidad de agregado en cuatro porcentajes diferentes 20%, 30%, 40%, y 50%, con respecto al volumen total de cada cilindro, además, se utilizaron tres relaciones A/C, (0,4; 0,5 y 0,6). El cemento utilizado fue de uso general (tipo UG), en el anexo 1 se encuentra la ficha técnica de este cemento.

Lo valores mostrados anteriormente fueron seleccionados con el propósito de identificar el comportamiento de las mezclas de microconcreto.

Para obtener las cantidades empleadas en la dosificación, y basado en las ecuaciones utilizadas por Edwin Espinoza (1991), se dedujeron las siguientes formulas:

$$P_s = G_{bs} \times \gamma_w \times \%Ag \times V_T \quad \text{Ec (23)}$$

$$P_c = \gamma_c \times V_T \times \left[\frac{(1-\%Ag)-\%Aire}{G_{sc} \times (A/C)+1} \right] \quad \text{Ec (24)}$$

$$V_w = \frac{P_s \times \%D}{\gamma_w} + \frac{\gamma_c}{\gamma_w} \times (A/C) \times \frac{(1-\%Ag) \times V_T - \%Aire \times V_T}{G_{sc} \times (A/C)+1} \quad \text{Ec (25)}$$

Dónde:

Ps: Peso sólido del agregado.

Pc: Peso del cemento.

Vw: Volumen del agua.

V_T: Volumen total del cilindro

γ_w: Densidad del agua.

γ_c: Densidad del cemento

%D: Porcentaje de absorción.

%Aire: Porcentaje de aire atrapado.

%Ag: Porcentaje de agregado

G_{sc}: Gravedad específica del cemento.

El cemento y la arena fueron dosificadas por peso, mientras que el agua se dosifico por volumen. Para cada una de las mezclas realizadas se efectuó una corrección por humedad.

En la sección de apéndices (específicamente en el apéndice 1), se encuentra la deducción completa de las fórmulas anteriormente mencionadas.

Nomenclatura

Por facilidad se definió una nomenclatura para identificar las mezclas y las fechas en que debían ser falladas. En la figura 13 se muestra un ejemplo de la nomenclatura utilizada.

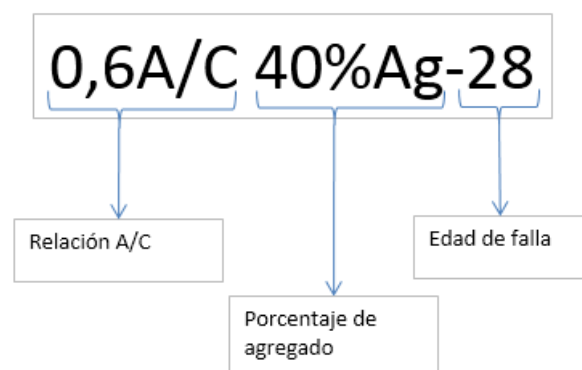


Figura 13. Nomenclatura utilizada para la identificación de mezclas

Moldeo de cilindros

La mezcla de microconcreto fue elaborada en una batidora industrial (figura 14), esto se debió a la disminución del desperdicio de los materiales de la mezcla y a la facilidad de uso de este equipo; por esta razón, se sigue el procedimiento pertinente a la norma ASTM C 305 (2018), no obstante, se utilizó solo la velocidad uno de mezclado, ya que, si se utilizaba la velocidad dos, se producía derrame.



Figura 14. Batidora industrial utilizada para la fabricación del microconcreto.

Para la fabricación de los cilindros se contó con cuatro moldes de nueve cilindros cada uno, se utilizó una batidora pequeña en la cual se realizaron cuatro batidas para moldear los 35 cilindros.

Debido a que los recipientes utilizados para moldear el microconcreto eran cilíndricos, se hizo uso de dos varillas de acero con punta redondeada para la etapa de consolidación de la mezcla por el método de varillado; las dimensiones del diámetro de las varillas se muestran en el cuadro 10.

CUADRO 10. DIMENSIONES DE VARILLAS DE COMPACTACIÓN DEL MICROCONCRETO		
Medición	Diámetro Varilla 1 (mm)	Diámetro Varilla 2 (mm)
1	8,02	7,91
2	7,93	8,00
3	7,93	7,93
Promedio	7,96	7,95

A continuación, se presenta el procedimiento seguido para el mezclado del microconcreto:

- Primeramente, se dosificó el agua y se agregó al recipiente de la batidora mecánica.
- Se agregó el cemento al agua y se da inicio al mezclado durante 30 segundos.
- En los siguientes 30 segundos se agregó la totalidad de la arena.
- Se mezcló durante 30 segundos y al finalizar ese tiempo se detuvo la batidora y se dejó reposar la mezcla durante 90 segundos; en los primeros 15 segundos de ese intervalo de tiempo, se arrastró hacia el fondo todo el material depositado en las paredes del recipiente.
- Finalmente, se reinició el mezclado durante 60 segundos y una vez concluido ese lapso se da por concluido el proceso de mezclado.

El proceso de moldeo de los cilindros fue basado en la norma ASTM C 192 (2018), no obstante, se debieron cambiar algunos pasos, esto porque los cilindros eran más pequeños. Los cilindros fueron moldeados en dos capas, la

compactación fue realizada con varilla, para cada capa se dieron 25 introducciones de la varilla, además se golpeó 12 veces el costado de cada cilindro en tres diferentes puntos, esto se hizo para cada una de las capas. El procedimiento seguido se describe a continuación:

- Se agregó a los cilindros con una cuchara de pulpero la mezcla producida en la batidora hasta la mitad de cada cilindro
- Se introdujo 25 veces la varilla de compactación, procurando no golpear el fondo de los cilindros.
- Con la punta de la varilla de compactación se golpearon los costados de los cilindros en tres puntos diferentes hasta completar 12 golpes, esto en la parte inferior.
- Seguidamente se agrega la siguiente capa de mezcla hasta rebozar el cilindro.
- De igual forma se vuelve a introducir 25 veces la varilla de compactación en los cilindros, procurando de que la varilla fuese brevemente introducida en la capa inferior. Cuando la mezcla dejó de sobrepasar la parte superior del cilindro, se agregó una pequeña cantidad de microconcreto antes de completar los 25 golpes.
- Se golpeó el costado de los cilindros 12 veces tal como se indica en los pasos anteriores, no obstante, estos golpes se realizan en la parte superior.
- Se enrasó la parte superior del cilindro hasta obtener una superficie plana.
- Los cilindros fueron tapados con bolsas plásticas durante 24 horas.
- Finalmente, transcurridas las 24 horas, se desencofraron y se introdujeron en la cámara húmeda.



Figura 15. Mezcla finalizada de microconcreto



Figura 16. Cilindros de microconcreto dentro de la cámara húmeda

Falla de cilindros

La falla de los cilindros se basa en la norma ASTM C 39 (2018), la velocidad de falla es la misma que se utiliza en los cilindros estándar ($0,25 \pm 0,05$ MPa/s); no obstante, en las fallas no se hizo uso de la almohadilla de neopreno, la razón de esto se debe a que no se contaba con una almohadilla de neopreno que se ajustara al tamaño de los cilindros. Además, se hicieron fallas utilizando la almohadilla de neopreno de los cilindros estándar; sin embargo, las fallas presentaban un patrón diferente, en la figura 17 se aprecia la colocación de los cilindros en la máquina de falla, y en la figura 18 se observa la falla de dos cilindros con y sin la almohadilla de neopreno.

Las fallas se efectuaron a los 7 y 28 días de edad de la mezcla y se respetó los rangos de tolerancia de edades de falla mostrados en el cuadro 11.



Figura 17. Colocación y falla de cilindro de muestra en la máquina de ensayo.



Figura 18. Cilindros fallados haciendo uso de la almohadilla de neopreno (cilindro de la izquierda) y sin usar almohadilla de neopreno (cilindro de la derecha).

CUADRO 11. TOLERANCIA PERMITIDA PARA LA FALLA DE LOS CILINDROS	
Edad de prueba	Tolerancia
24 h	±0,5 horas
3 días	±2 horas
7 días	±6 horas
28 días	±20 horas
90 días	±2 días

Fuente: (ASTM C 39, 2018, p. 4)

Análisis estadístico

Para el proceso de fabricación se logró controlar la mayor cantidad de variables que pudieran afectar de alguna forma la variable respuesta (resistencia) de las mezclas, entre ellas se encuentran:

- ✓ Tipo de cemento
- ✓ Tamaño máximo de agregado.
- ✓ Distribución granulométrica.
- ✓ Relación A/C.
- ✓ Edad de falla.

Lo anterior se realizó para disminuir en la medida de lo posible la variación no controlada, no obstante, no se logró controlar, por completo, todas las variables que fueran causantes de distorsiones en las resistencias.

Al identificar las variables que, si se lograron controlar, se proponen diferentes tratamientos o combinaciones para 7 y 28 días de edad de falla, los cuales se presentan en el cuadro 12.

CUADRO 12. TRATAMIENTO UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO	
Relación A/C	Porcentaje de agregado (%)
0,4	20
0,4	30
0,4	40
0,4	50
0,5	20
0,5	30
0,5	40
0,5	50
0,6	20
0,6	30
0,6	40
0,6	50

Estadística descriptiva

Para cada edad según cada uno de los tratamientos, se calcularon los siguientes estadísticos haciendo uso del software Minitab 18:

- Media (\bar{X})
- Desviación estándar (s)
- Varianza (s^2)
- Coeficiente de variación (CV)
- Rango (R)
- Intervalos de confianza (IC)

Análisis de varianza (ANOVA)

Para las dos edades de falla (7 y 28 días) fue realizado un análisis de varianza con dos factores (relación A/C y porcentaje de agregado), con 30

muestras por cada grupo, para este análisis y selección se utilizó el software Minitab 2018.

Dicha prueba fue utilizada para comparar los promedios de las resistencias y determinar si existen o no diferencias significativas entre ellas y si existe una interacción con la variable respuesta.

Para este análisis se estableció la siguiente hipótesis:

$$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2 = \dots = \bar{X}_n \quad \text{Ec (26)}$$

$$H_1: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2 \neq \dots \neq \bar{X}_n \quad \text{Ec (27)}$$

Prueba de Tukey

Al determinar con el análisis de varianza que existían diferencias significativas se aplica esta prueba para comparar todas las medias para cada edad utilizando el criterio de Tukey; esto con el fin de identificar las combinaciones en las que se presentaban dichas diferencias.

Resultados

Caracterización

Arena

La arena que se utilizó no proviene de una fuente única, por lo que se usó una mezcla de diferentes agregados, no obstante, todo el material pasó por el tamiz de 9,5 mm y se retiene en el tamiz de 75 μm .

Granulometría

La distribución granulométrica cumple con los intervalos establecidos por la norma ASTM C 136 (2018); en el cuadro 13 se muestran los valores obtenidos y en la figura 19 se presenta de forma gráfica la curva obtenida.

El porcentaje de error y el módulo de finura obtenidos se muestran en el cuadro 14.

CUADRO 13. VALORES OBTENIDOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
Tamiz		% Pasando	Límites teóricos	
(in)	(mm)		Inferior	Superior
No. 3/8	9,5	100,0	100	100
No. 4	4,75	97,6	95	100
No. 8	2,37	90,0	80	100
No. 16	1,18	67,6	50	85
No. 30	0,6	42,8	25	60
No. 50	0,3	20,5	10	30
No. 100	0,15	6,6	2	10
No. 200	0,075	0,2	0	4

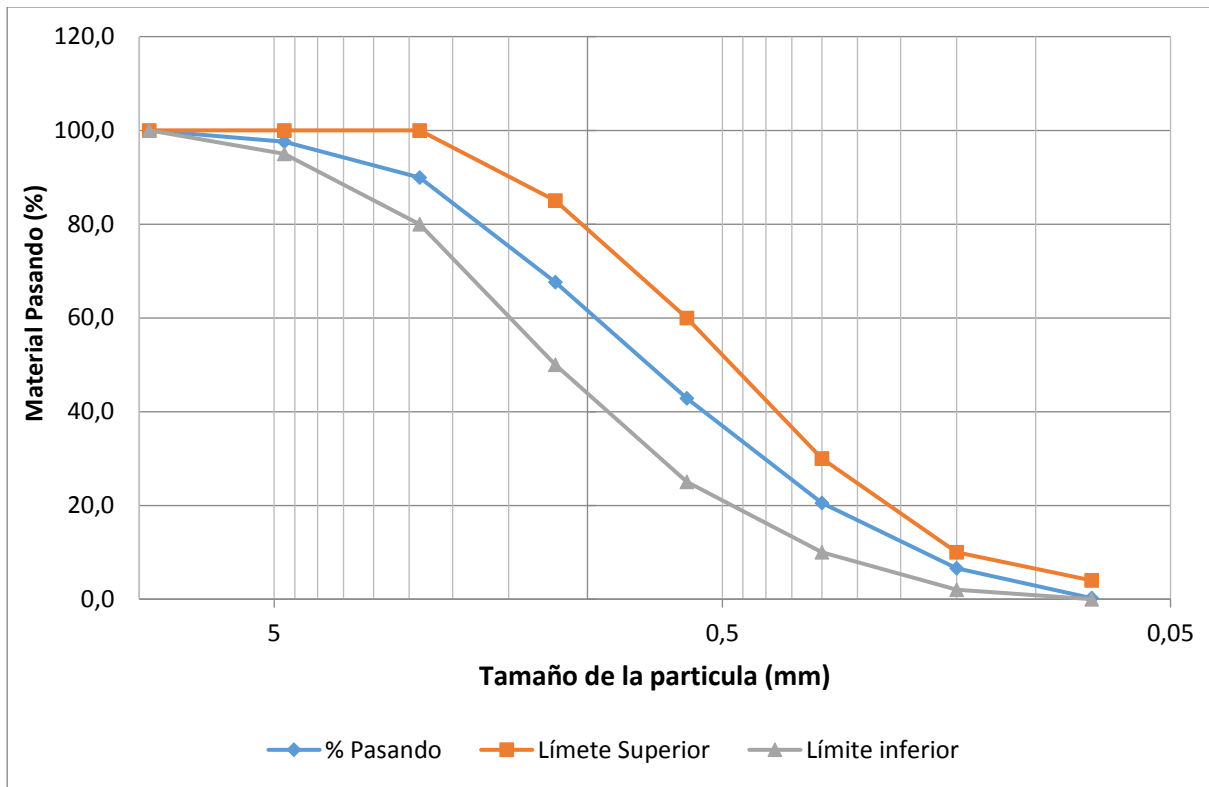


Figura 19. Curva granulométrica para la arena utilizada.

CUADRO 14. PARÁMETROS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA		
Descripción	Valor práctico	Valor teórico
Error (%)	0,1	0,3
Módulo de finura	2,75	

CUADRO 15. PESOS UNITARIOS OBTENIDOS DE LA ARENA		
Agregado	Vol. Recipientes (m ³)	Peso unitario (kg/m ³)
Suelto	0,0028	1473
Compactado	0,0028	1615

Pesos unitarios y vacíos

Este procedimiento fue realizado según la norma ASTM C 29 (2018). Los resultados de los pesos unitarios para la arena presentan en el cuadro 15.

Gravedad específica y absorción

En el cuadro 16 se presentan los valores obtenidos pertinentes a este ensayo de gravedad específica y porcentaje de absorción; este ensayo fue realizado según la norma ASTM C 128 (2018).

CUADRO 16. VALORES DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN PARA LA ARENA UTILIZADA		
Característica	Abreviatura	Resultados
Gravedad específica aparente	Gs	2,8
Gravedad específica seca	Gbs	2,4
Gravedad específica saturada superficie seca	Gsss	2,5
Porcentaje de absorción	%Abs	4,8
Porcentaje de vacíos	%Vacíos	33,6

Resumen de resistencias

En el cuadro 17 se presenta el resumen de las resistencias obtenidas; los valores son promedios de 30 resistencias al realizar un muestreo aleatorio de 35 resistencias obtenidas en laboratorio. En el apéndice 2 se presentan todos los datos completos de las resistencias a la compresión axial y las dimensiones de cada uno de los cilindros.

CUADRO 17. RESUMEN DE LOS VALORES DE LAS RESISTENCIAS OBTENIDAS (MPa)				
Edad:	7 días			
Agregado	20%	30%	40%	50%
Relación A/C				
0,4	23,67	21,99	29,54	14,56
0,5	15,92	17,55	17,57	20,01
0,6	9,99	8,23	11,16	12,03
Edad:	28 días			
Agregado	20%	30%	40%	50%
Relación A/C				
0,4	32,52	34,84	44,26	23,37
0,5	24,49	28,29	28,42	33,42
0,6	14,76	15,08	20,34	22,01

Estadística descriptiva

En los cuadros 18 y 19 se encuentran los valores de la estadística descriptiva que presenta cada una de las mezclas realizadas, a los 7 y 28 días respectivamente.

CUADRO 18. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE CILINDROS FALLADOS A 7 DÍAS

Mezcla	Media (MPa)	Desviación Estándar (MPa)	Varianza (MPa ²)	Coficiente de Variación (%)	Rango (MPa)	N
0,4A/C 20%Ag-7	23,67	3,465	12,006	14,639	12,93	30
0,5A/C 20%Ag-7	15,92	1,123	1,260	7,054	4,41	30
0,6A/C 20%Ag-7	9,99	0,602	0,362	6,021	1,97	30
0,4A/C 30%Ag-7	21,99	2,429	5,898	11,045	9,64	30
0,5A/C 30%Ag-7	17,55	1,282	1,643	7,304	5,89	30
0,6A/C 30%Ag-7	8,23	0,406	0,165	4,938	1,73	30
0,4A/C 40%Ag-7	29,54	1,332	1,774	4,509	5,91	30
0,5A/C 40%Ag-7	17,57	1,332	1,775	7,585	5,58	30
0,6A/C 40%Ag-7	11,16	0,673	0,452	6,028	2,87	30
0,4A/C 50%Ag-7	14,56	4,057	16,459	27,856	14,32	30
0,5A/C 50%Ag-7	20,01	1,058	1,120	5,290	4,67	30
0,6A/C 50%Ag-7	12,03	0,772	0,597	6,419	2,82	30

CUADRO 19. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE CILINDROS FALLADOS A 28 DÍAS

Mezcla	Media (MPa)	Desviación Estándar (MPa)	Varianza (MPa ²)	Coficiente de Variación (%)	Rango (MPa)	N
0,4A/C 20%Ag-28	32,52	4,559	20,782	14,019	17,66	30
0,5A/C 20%Ag-28	24,49	2,127	4,522	8,682	9,17	30
0,6A/C 20%Ag-28	14,76	0,683	0,467	4,631	2,61	30
0,4A/C 30%Ag-28	34,84	3,590	12,885	10,304	15,25	30
0,5A/C 30%Ag-28	28,29	1,637	2,678	5,785	5,57	30
0,6A/C 30%Ag-28	15,08	1,004	1,009	6,662	3,56	30
0,4A/C 40%Ag-28	44,26	3,224	10,397	7,286	12,51	30
0,5A/C 40%Ag-28	28,42	3,167	10,033	11,147	14,02	30
0,6A/C 40%Ag-28	20,34	1,464	2,144	7,201	5,38	30
0,4A/C 50%Ag-28	23,37	4,130	17,058	17,675	13,63	30
0,5A/C 50%Ag-28	33,42	1,457	2,122	4,359	6,33	30
0,6A/C 50%Ag-28	22,01	1,226	1,502	5,568	3,94	30

Evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia

En los cuadros 20 y 21 se encuentra la evaluación realizada a los valores de las resistencias a los 7 y 28 días respectivamente, también se presentan valores importantes como intervalos de confianza, máximos, y mínimos.

CUADRO 20. EVALUACIÓN DE LAS RESISTENCIA PARA CILINDROS A 7 DÍAS							
Mezcla	Mínimo (MPa)	Máximo (MPa)	Desviación estándar dentro de la prueba S_1 (MPa)	Coficiente de variación dentro de la prueba V_1 (%)	Intervalo de confianza de 95% de la media (MPa)		N
0,4A/C 20%Ag-7	16,95	29,88	3,082	13,023	22,38	24,96	30
0,5A/C 20%Ag-7	13,33	17,74	1,051	6,606	15,50	16,33	30
0,6A/C 20%Ag-7	9,03	11,00	0,470	4,700	9,77	10,22	30
0,4A/C 30%Ag-7	17,05	26,69	2,298	10,452	21,08	22,90	30
0,5A/C 30%Ag-7	14,47	20,36	1,404	8,002	17,07	18,03	30
0,6A/C 30%Ag-7	7,14	8,87	0,412	5,011	8,08	8,38	30
0,4A/C 40%Ag-7	26,32	32,23	1,409	4,770	29,04	30,03	30
0,5A/C 40%Ag-7	14,31	19,89	1,330	7,573	17,07	18,06	30
0,6A/C 40%Ag-7	10,03	12,90	0,684	6,132	10,91	11,41	30
0,4A/C 50%Ag-7	9,87	24,19	3,414	23,440	13,05	16,08	30
0,5A/C 50%Ag-7	17,48	22,15	1,113	5,565	19,61	20,40	30
0,6A/C 50%Ag-7	10,36	13,18	0,672	5,586	11,75	12,32	30

CUADRO 21. EVALUACIÓN DE LAS RESISTENCIA PARA CILINDROS A 28 DÍAS

Mezcla	Mínimo (MPa)	Máximo (MPa)	Desviación estándar dentro de la prueba S_1 (MPa)	Coeficiente de variación dentro de la prueba V_1 (%)	Intervalo de confianza de 95% de la media (MPa)		N
0,4A/C 20%Ag-28	24,85	42,51	4,210	12,947	30,82	34,22	30
0,5A/C 20%Ag-28	20,88	30,05	2,186	8,925	23,70	25,29	30
0,6A/C 20%Ag-28	13,28	15,89	0,622	4,216	14,50	15,01	30
0,4A/C 30%Ag-28	28,02	43,27	3,636	10,436	33,50	36,18	30
0,5A/C 30%Ag-28	25,74	31,31	1,328	4,694	27,68	28,90	30
0,6A/C 30%Ag-28	12,96	16,52	0,849	5,630	14,70	15,45	30
0,4A/C 40%Ag-28	36,83	49,34	2,982	6,739	43,05	45,46	30
0,5A/C 40%Ag-28	21,53	35,55	3,342	11,762	27,23	29,60	30
0,6A/C 40%Ag-28	16,87	22,25	1,283	6,307	19,79	20,88	30
0,4A/C 50%Ag-28	17,43	31,06	3,249	13,905	21,83	24,91	30
0,5A/C 50%Ag-28	30,60	36,93	1,509	4,515	32,88	33,96	30
0,6A/C 50%Ag-28	19,91	23,85	0,939	4,267	21,56	22,47	30

Normalidad

En el cuadro 22 se aprecia un resumen del análisis realizado en el software Minitab 18 para determinar si los valores de las resistencias poseen o no un comportamiento normal. En el apéndice 3 se encuentran todos los gráficos utilizados para determinar la normalidad de los datos.

CUADRO 22. PRUEBA DE NORMALIDAD DE LAS RESISTENCIAS					
Mezcla	P obtenido para mezclas a 7 días	P obtenido para mezclas a 28 días	P crítico	RJ para mezclas a 7 días	RJ para mezclas a 28 días
0,4A/C 20%Ag	Valor P >	Valor P >	0,10	0,988	0,985
0,5A/C 20%Ag	Valor P >	Valor P >	0,10	0,987	0,979
0,6A/C 20%Ag	Valor P >	Valor P >	0,10	0,971	0,976
0,4A/C 30%Ag	Valor P >	Valor P >	0,10	0,989	0,995
0,5A/C 30%Ag	Valor P >	Valor P >	0,10	0,990	0,984
0,6A/C 30%Ag	Valor P >	Valor P >	0,10	0,983	0,971
0,4A/C 40%Ag	Valor P >	Valor P >	0,10	0,976	0,981
0,5A/C 40%Ag	Valor P >	Valor P >	0,10	0,976	0,996
0,6A/C 40%Ag	Valor P >	Valor P >	0,10	0,982	0,973
0,4A/C 50%Ag	Valor P <	Valor P >	0,10	0,903	0,976
0,5A/C 50%Ag	Valor P >	Valor P >	0,10	0,992	0,988
0,6A/C 50%Ag	Valor P >	Valor P >	0,10	0,984	0,980

Análisis de varianza (ANOVA)

Para el análisis de varianza (ANOVA) que fue realizado en el software Minitab 18, se presenta en el cuadro 23, los valores obtenidos para los especímenes fallados a los 7 días y en el cuadro 24 los datos arrojados por el software para la edad de 28 días; este análisis realiza una comparación de todas las mezclas para determinar si se cumple o no la hipótesis nula.

**CUADRO 23. ANÁLISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES
A 7 DÍAS DE EDAD DE FALLA**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
A/C	2	8911,9	4455,96	1228,92	0,00
%AG	3	837,1	279,02	76,95	0,00
A/C * %AG	6	3085,3	514,21	141,82	0,00
Error	348	1261,8	3,63	-	-
Total	359	14096,1	-	-	-

**CUADRO 24. ANÁLISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES
A 28 DÍAS DE EDAD DE FALLA**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
A/C	2	15398	7698,83	1079,29	0,00
%AG	3	2408	802,69	112,53	0,00
A/C * %AG	6	6643	1107,13	155,21	0,00
Error	348	2482	7,13	-	-
Total	359	26931	-	-	-

Prueba de Tukey

Sabiendo que existen diferencias significativas entre los promedios según, el análisis ANOVA de dos factores; se procede a establecer cuáles son las combinaciones en las que existen estas diferencias, para así determinar la que puede ser la mejor relación A/C, porcentaje de agregado o combinación de ambas; estos análisis son mostrados en los cuadros 25, 26, 27 y en los cuadros 28, 29 y 30, para las edades de falla de 7 y 28 días respectivamente.

CUADRO 25. PRUEBA DE TUKEY PARA LA RELACIÓN A/C CON UNA CONFIANZA DE 95% A 7 DÍAS DE EDAD DE FALLA			
A/C	N	Media	Agrupación
0,4	120	22,44	A
0,5	120	17,76	B
0,6	120	10,35	C
<i>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</i>			

CUADRO 26. PRUEBA DE TUKEY PARA EL PORCENTAJE DE AGREGADO CON UNA CONFIANZA DE 95% A 7 DÍAS DE EDAD DE FALLA			
%AG	N	Media	Agrupación
40	90	19,42	A
20	90	16,53	B
30	90	15,92	B, C
50	90	15,54	C
<i>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</i>			

CUADRO 27. PRUEBA DE TUKEY PARA LA INTERACCIÓN A/C*%AG CON UNA CONFIANZA DE 95% A 7 DÍAS DE EDAD DE FALLA			
A/C * %AG	N	Media	Agrupación
0,4 * 40	30	29,54	A
0,4 * 20	30	23,67	B
0,4 * 30	30	21,99	C
0,5 * 50	30	20,01	D
0,5 * 40	30	17,57	E
0,5 * 30	30	17,55	E
0,5 * 20	30	15,92	F
0,4 * 50	30	14,56	F
0,6 * 50	30	12,03	G
0,6 * 40	30	11,16	G, H
0,6 * 20	30	9,99	H
0,6 * 30	30	8,23	I
<i>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</i>			

CUADRO 28. PRUEBA DE TUKEY PARA LA RELACIÓN A/C CON UNA CONFIANZA DE 95% A 28 DÍAS DE EDAD DE FALLA			
A/C	N	Media	Agrupación
0,4	120	33,74	A
0,5	120	28,66	B
0,6	120	18,05	C
<i>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</i>			

CUADRO 29. PRUEBA DE TUKEY PARA EL PORCENTAJE DE AGREGADO CON UNA CONFIANZA DE 95% A 28 DÍAS DE EDAD DE FALLA			
%AG	N	Media	Agrupación
40	90	31,00	A
50	90	26,27	B
30	90	26,07	B
20	90	23,92	C
<i>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</i>			

CUADRO 30. PRUEBA DE TUKEY PARA LA INTERACCIÓN A/C*%AG CON UNA CONFIANZA DE 95% A 28 DÍAS DE EDAD DE FALLA			
A/C * %AG	N	Media	Agrupación
0,4 * 40	30	44,26	A
0,4 * 30	30	34,84	B
0,5 * 50	30	33,42	B, C
0,4 * 20	30	32,52	-
0,5 * 40	30	28,42	-
0,5 * 30	30	28,29	-
0,5 * 20	30	24,49	-
0,4 * 50	30	23,37	-
0,6 * 50	30	22,01	-
0,6 * 40	30	20,34	-
0,6 * 30	30	15,08	-
0,6 * 20	30	14,76	-
<i>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</i>			

Resistencia vs. Porcentaje de agregado

En la figura 20, se presentan de forma gráfica los resultados obtenidos en la falla de los cilindros a la edad de los 7 días según su porcentaje de agregado (Ag).

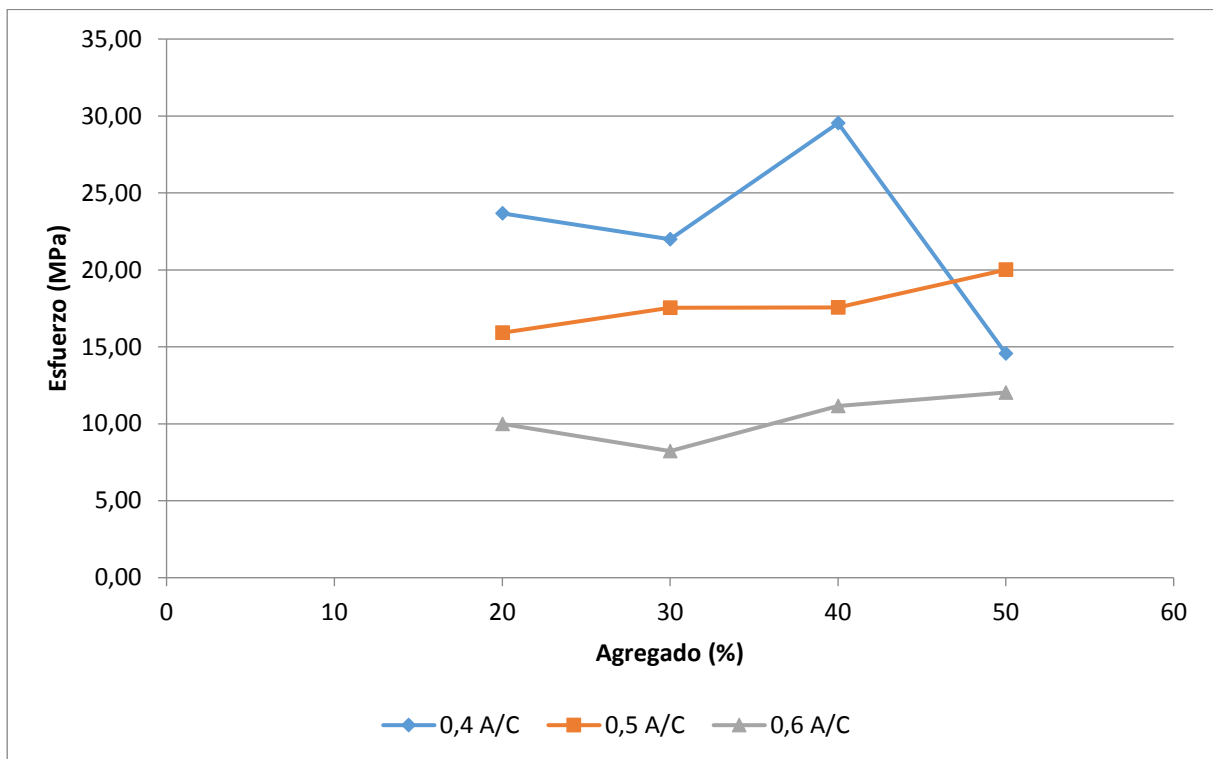


Figura 20. Resistencia a la compresión vs porcentaje de agregado para diferentes relaciones A/C a 7 días de edad de falla.

Por otra parte, en la figura 21, se presenta de forma gráfica los valores de las resistencias para los 28 días.

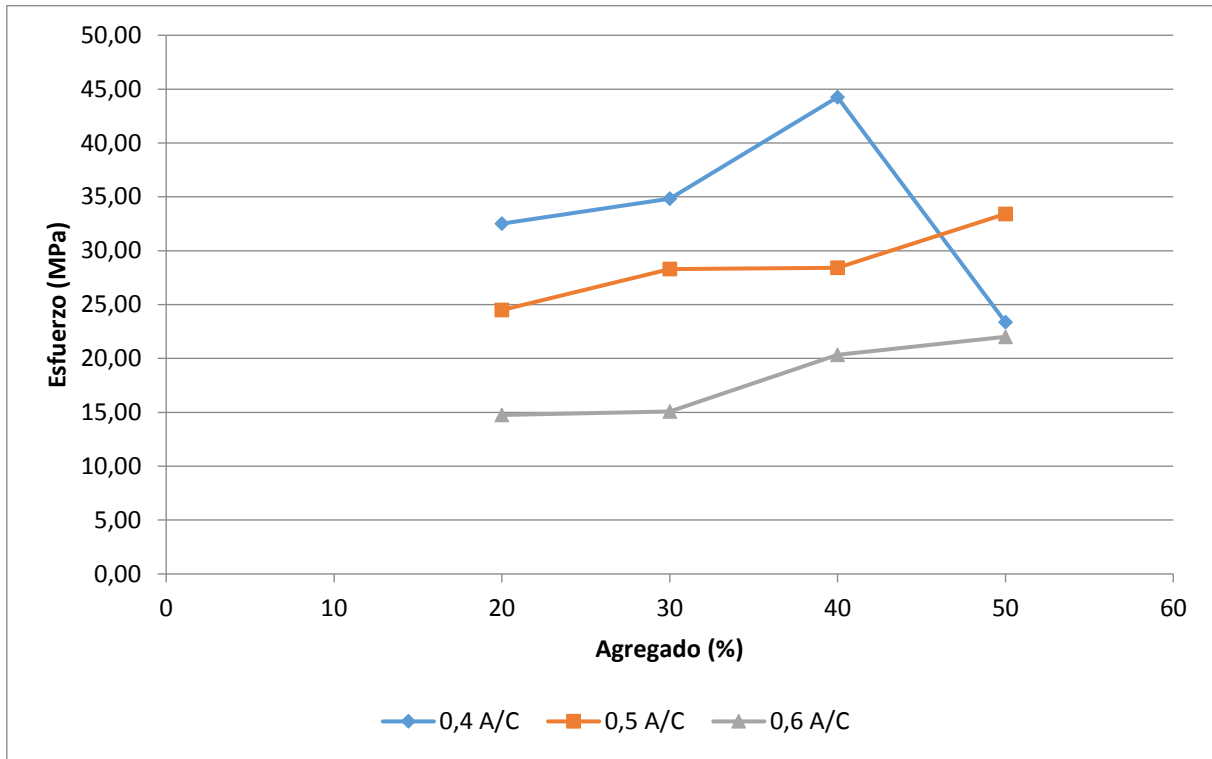


Figura 21. Resistencia a la compresión vs porcentaje de agregado para diferentes relaciones A/C a 28 días de edad de falla.

Resistencia vs. Relación A/C

A continuación, en la figura 22, se presentan los resultados obtenidos de las resistencias, en función de las relaciones agua-cemento, alcanzadas a la edad de 7 días.

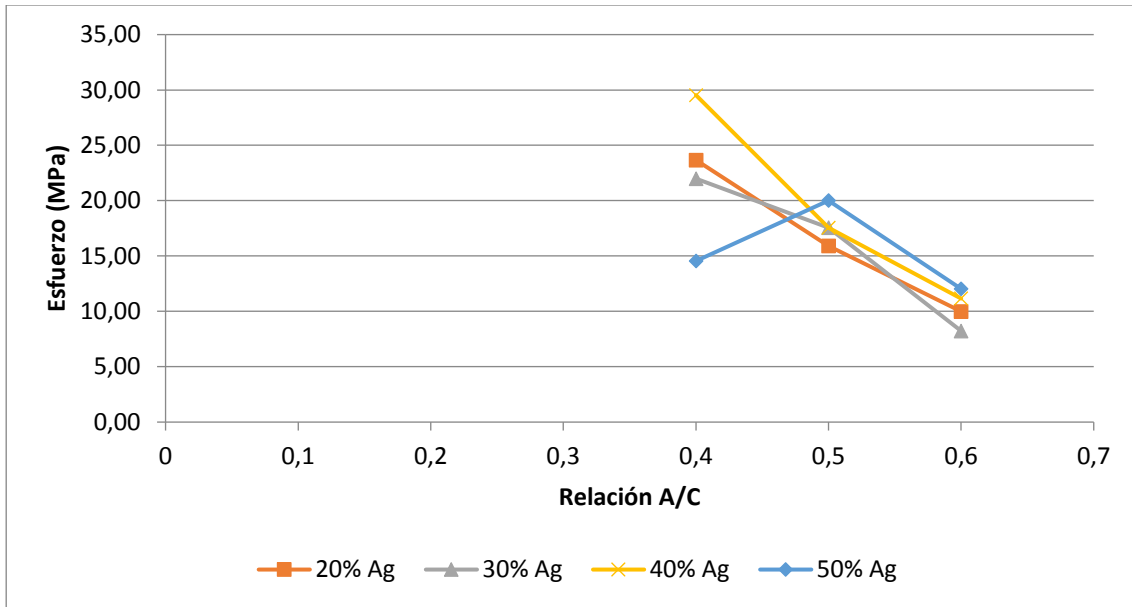


Figura 22. Resistencia a la compresión vs relación A/C con diferentes porcentajes de agregado a 7 días de edad de falla.

En la figura 23, se presentan los resultados obtenidos de las resistencias en función de las relaciones A/C para la edad de 28 días.

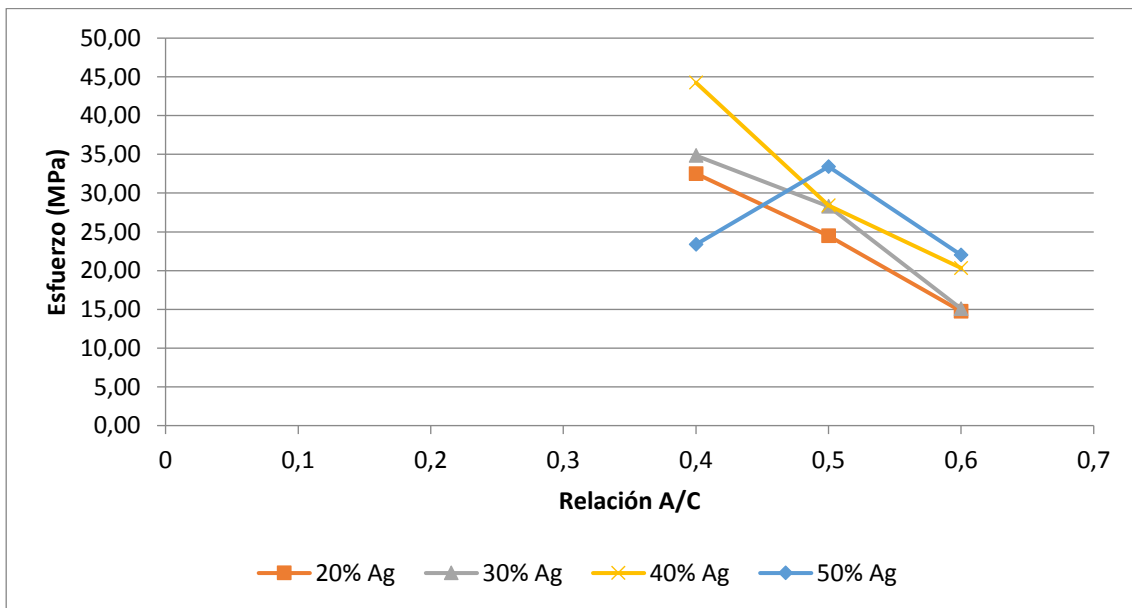


Figura 23. Resistencia a la compresión vs relación A/C con diferentes porcentajes de agregado a 28 días de edad de falla.

Desarrollo de resistencia

En el cuadro 33 se presenta los porcentajes de resistencia obtenidos para los cilindros fallados a los 7 y 28 días. Por otra parte, en el apéndice 4 se presentan las curvas de desarrollo de resistencia para cada una de las mezclas; es importante recalcar que las gráficas fueron basadas en los valores teóricos obtenidos por Araya (2013), para determinar los valores de las resistencias intermedias previas a los 28 días, además no se utiliza ninguna regresión lineal, sino que representan el comportamiento natural de los datos, consecuencia de la unión de los promedios de resistencia a las distintas edades.

CUADRO 31. AUMENTO DE LA RESISTENCIA CON LA EDAD				
Mezcla	Porcentaje de resistencia a 3 días (%)	Porcentaje de resistencia a 7 días (%)	Porcentaje de resistencia a 14 días (%)	Porcentaje de resistencia a 28 días (%)
0,4A/C 20%Ag	55*	73	85*	100
0,4A/C 30%Ag	46*	63	79*	100
0,4A/C 40%Ag	52*	67	83*	100
0,4A/C 50%Ag	46*	62	79*	100
0,5A/C 20%Ag	49*	65	81*	100
0,5A/C 30%Ag	46*	62	79*	100
0,5A/C 40%Ag	46*	62	79*	100
0,5A/C 50%Ag	43*	60	78*	100
0,6A/C 20%Ag	52*	68	83*	100
0,6A/C 30%Ag	36*	55	74*	100
0,6A/C 40%Ag	36*	55	74*	100
0,6A/C 50%Ag	36*	55	74*	100

*Porcentaje teórico obtenido según la resistencia a los 7 días presentados en el del cuadro 5.

Análisis de los resultados

Caracterización de agregado

Los ensayos de caracterización del agregado fueron llevados a cabo con el fin de obtener los parámetros básicos de la arena y así poder llevar a cabo los cálculos correspondientes a las dosificaciones empleadas.

En primera instancia a todo el material se le realizó un lavado por el tamiz de 75 μm , según la norma ASTM C 117 (2018), con el fin de eliminar el material más fino que presentaba la arena; esto, debido a que este material puede ser perjudicial para las mezclas de microconcreto y alterar los resultados de las resistencias.

Se prestó la mayor atención al análisis granulométrico del agregado, en especial a cumplir con los límites establecidos por la norma, lo cual, consistió en una de las metas principales que el material debía cumplir.

Para garantizar que la arena cumpliera con dichos límites, se tamizó todo el material que fue utilizado en las mezclas y se dividió por tamaño de partícula en bolsas plásticas. Posteriormente, el material fue mezclado, pero controlando el peso utilizado por cada uno de los tamaños de partícula y de esta manera se pudo garantizar que todas las mezclas realizadas tuviesen la misma granulometría en su agregado. Con la ecuación (17) se determinó el peso necesario retenido para cada tamaño de partícula. Esto implica que no importa la arena utilizada, ya que, si se aplica el procedimiento anterior se puede construir una granulometría que se ajusta a los límites establecidos por la norma. En el cuadro 13 se encuentran los valores de los porcentajes obtenidos para la granulometría y en la figura 19 se observa que la arena utilizada si cumplió con los límites granulométricos.

Por otra parte, los cilindros utilizados para fabricar el microconcreto poseen un diámetro de aproximadamente 55,37 cm (cuadro 9); se utilizó un tamaño máximo de 9,75 mm, ya que, al dividir

el valor del diámetro del cilindro entre cinco obtenemos un resultado de 11,074 mm y el tamaño de partícula inmediatamente menor es de 9,75 mm.

El módulo de finura obtenido para la arena utilizada fue de 2,75; y se puede clasificar según su tamaño de partícula (cuadro 3) como un agregado mediano. El módulo de finura no es indicador de calidad del agregado, no obstante, las arenas cuyo módulo de finura es menor a 2,3. Normalmente se consideran demasiado finas e inconvenientes para las mezclas, porque suelen requerir mayores consumos de pasta de cemento; esto repercute adversamente en los cambios volumétricos y en el costo. Para el extremo opuesto, arenas con un módulo de finura mayor a 3,1 resultan demasiado gruesas y también se les juzga porque tienden a producir mezclas ásperas, segregables y proclives al sangrado (Instituto de Ingeniería UNAM, 1994, p. 104).

Referente al peso unitario compactado y suelto de la arena, se obtuvo 1615 kg/m^3 y 1475 kg/m^3 respectivamente. Esto indica que el agregado se puede clasificar como un material normal según el cuadro 1, y se encuentra entre los valores normales de pesos unitarios típicos respecto al cuadro 2. En el cuadro 16, se muestra el porcentaje de vacíos y el porcentaje de absorción obtenidos que corresponden a 4,8 y 33,6 respectivamente. Estos resultados no son satisfactorios, ya que, Kosmatka (2004, p. 114) indica que la cantidad de los niveles de absorción típicos para el agregado fino, se encuentra entre 0,2% o 4% y el porcentaje de vacíos oscila entre 40% o 50%. A pesar de esto el agregado utilizado se encuentra muy cercano a los valores típicos. Es importante recalcar que el agregado fue utilizado para una mezcla de microconcreto, por lo tanto, sus características deberían ser intermedias entre el agregado grueso y fino, ya que, en el microconcreto debe existir un

porcentaje de material que simule un agregado grueso como en el concreto convencional.

En cuanto a la gravedad específica, Kosmatka (2004, p. 114) menciona que la mayoría de los agregados naturales tienen masas específicas que varían entre 2,4 a 2,9. Para el caso del agregado utilizado en el cuadro 16, se encuentran los valores obtenidos para este ensayo; estos se hallan entre los rangos mencionados.

Por las razones anteriormente mencionadas se puede afirmar que el agregado utilizado en las mezclas de microconcreto, cumple con los estándares establecidos para un material de buena calidad.

Estadística descriptiva

Al comparar los resultados obtenidos del coeficiente de variación inherente a la prueba (V_1) con los resultados obtenidos de la varianza, para cada una de las mezclas (cuadro 18, cuadro 19, cuadro 20, y cuadro 21). Se puede afirmar que los ensayos presentan mayor variabilidad que los valores determinados según el comité ACI 214 R (2002), puesto que, solo 5 de las doce mezclas (0,5A/C 30%Ag-7; 0,6A/C 30%Ag-7; 0,4A/C 40%Ag-7; 0,6A/C 40%Ag-7; 0,5A/C 50%Ag-7) falladas a 7 días presentan coeficientes de varianzas menores que los coeficientes inherentes a la prueba. Para las mezclas falladas a los 28 días, solo 4 de estas (0,5A/C 20%Ag-28; 0,4A/C 30%Ag-28; 0,5A/C 40%Ag-28; 0,5A/C 50%Ag-28) presentan coeficientes de varianza menores a los coeficientes inherentes a la prueba. No obstante, cabe mencionar que los coeficientes inherentes a las pruebas son evaluados y determinados bajo condiciones muy estrictas de control.

Entre las posibles causas de dichas variaciones se puede mencionar, la variación de las condiciones ambientales; la hora y el día en que se desarrollaron las mezclas fueron variados. También no se controló la preparación de los especímenes para el proceso de falla (cabeceo o capeo), ya que los cilindros eran colocados directamente sobre la superficie de la máquina de falla.

Normalidad

Para determinar si los datos tenían o no un comportamiento normal se realiza la prueba Shapiro-Wilk, esta prueba es la más recomendada por la literatura encontrada (Zuluaga, Millán, & Mosquera, 2013). A partir de los resultados obtenidos de esta prueba, mostrados en el cuadro 22, se puede afirmar que la mayoría de los valores de las resistencias obtenidas tienen un comportamiento normal, ya que, casi todos los valores de P son mayores que el valor crítico 0,1; esto quiere decir, que los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión axial de las mezclas tienen un comportamiento normal con una confianza del 95%. Sin embargo, la mezcla 0,4A/C 50%Ag, tiene un valor de P menor a 0,1; lo que indica que, los datos obtenidos para esta mezcla no son normales.

La causa principal por la cual la mezcla 0,4A/C 50%Ag, no cumple con el parámetro de normalidad se debe a que por su composición (0,4 de relación A/C y 50% de agregado) no es apta para un proceso adecuado de fabricación y moldeo, debido que su trabajabilidad se ve reducida por la baja cantidad de agua y la gran proporción de agregado que posee la mezcla.

Los valores obtenidos de los coeficientes RJ son muy cercanos a uno, lo cual, confirma que los valores de las resistencias poseen una buena aproximación a un comportamiento normal.

Varianza de dos factores (ANOVA)

Este análisis fue aplicado con el fin de determinar si existían o no diferencias significativas entre las medias de los distintos tratamientos. Fue aplicado de manera global agrupando los resultados por edad de falla, y tomando en cuenta el factor de la relación A/C, porcentaje de agregado, y la combinación de ambos; estos afectan la variable respuesta (resistencia).

En el cuadro 23 se observa que, para la edad de falla de 7 días, los valores P obtenidos, son iguales a 0 y menores a 0,05 que corresponde al nivel de significancia de la hipótesis nula. Esto es corroborado, porque los valores F están muy alejados de 1, lo cual confirma el rechazo de la hipótesis nula y la

aceptación de la hipótesis alternativa (Berenson & Levine, 1995, p. 536); con esto, podemos decir que las medias son significativamente diferentes entre sí.

En el cuadro 24 se logra apreciar que los valores P (valor $P=0$) son menores que 0,05, y los valores F están muy alejados de 1. Por lo tanto, de igual forma se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa; esto da como conclusión que las medias son significativamente diferentes para la edad de falla a los 28 días.

Más a fondo, con los resultados obtenidos de este análisis se puede afirmar que todos los factores afectan de forma significativa los resultados de la respuesta; en otras palabras, al variar, ya sea la relación A/C, o el porcentaje de agregado, se obtendrán resistencias diferentes basados en el análisis de varianzas.

Prueba de Tukey

Con esta prueba fue posible determinar de forma apropiada los niveles de cada uno de los factores, incluyendo la combinación de ambos (relación A/C y porcentaje de agregado). Esto permite identificar cuál mezcla presenta mayores y menores resistencias en ambas edades de falla (7 y 28 días).

Para la edad de falla a 7 días se determina en el cuadro 25 que al utilizar la relación A/C de 0,4 se obtiene la mayor resistencia y con 0,6 de relación A/C se obtiene la menor. En cuadro 26 se observa que el porcentaje de agregado con el cual se obtiene la mayor resistencia, es de 40% y la menor resistencia se obtiene con un 50% de agregado. Finalmente, en el cuadro 27 se observa que al combinar los dos factores se determina que la mayor resistencia se logró al producir una mezcla con una relación A/C de 0,4 y un porcentaje de agregado de 40; la menor resistencia se obtuvo con la combinación de 0,6 de relación A/C y 30% de agregado.

En el análisis realizado para la edad de falla a los 28 días, se aprecia en el cuadro 27, que la relación A/C con mayor desempeño fue de 0,4 y el de menor desempeño corresponde a la relación A/C de 0,6. Se determina que el porcentaje de agregado utilizado que generó mayor resistencia fue de 40% y el que produjo menor resistencia fue de 20% (cuadro 29). Finalmente se afirma en el cuadro 29 que al

utilizar la relación A/C de 0,4 y un 40% de agregado se obtiene la mayor resistencia que corresponde a 44,26 MPa; además, si se combina la relación A/C de 0,6 con 20% de agregado se genera la menor resistencia con 14,76 MPa.

El comportamiento de los resultados obtenidos para las edades de falla de 7 y 28 días es similar, por lo que se puede concluir que existe una relación directa entre ambos factores que inciden en la resistencia.

Resistencia vs. Porcentaje de agregado

El comportamiento que muestra la relación de la resistencia y el porcentaje de agregado era el esperado. Tanto para las mezclas falladas a los 7 días como para las mezclas falladas a los 28 días, se considera que las tendencias son similares, ya que, ambas son lineales y crecientes.

En la figura 20, al igual que en la figura 21, se aprecia que para un 50% de agregado con 0,4 de relación A/C, se genera un decaimiento considerable de la resistencia. Esto se debió a que la trabajabilidad con esta mezcla se ve disminuida debido a la baja cantidad de agua y a la gran cantidad de agregado que impiden un deslizamiento entre las partículas; por esta razón, no se recomienda el uso de esa dosificación.

Ishai como se citó en Harris & Sabnis (1999), indica que el módulo de elasticidad de las mezclas de microconcreto sufre una disminución del módulo de elasticidad en un intervalo crítico de concentración de agregado, lo que se ve plasmado en la figura 1. El módulo de elasticidad es proporcional a la resistencia de los concretos y en este caso del microconcreto. Por ello, se puede deducir, que este intervalo crítico ronda entre 45% a 65% de agregado y provocando que las curvas tengan una tendencia a la disminución de la resistencia a partir de un porcentaje determinado de agregado. Sin embargo, para el caso del presente proyecto este suceso se presenta solo en la mezcla con 0,4 de relación A/C y 50% de agregado, ya que, las otras mezclas se encuentran en un intervalo creciente de resistencia. Si la cantidad de agregado hubiera aumentado, posiblemente la resistencia hubiese disminuido, por ellos, es recomendable

realizar nuevas investigaciones con mayores porcentajes de agregado.

Resistencia vs. Relación A/C

Es posible apreciar en la figura 22 y figura 23 que se presenta una disminución de las resistencias conforme aumenta la relación A/C. Este comportamiento era el esperado, debido a que Harris (1999, p. 136) en su investigación presenta un comportamiento similar de las mezclas investigadas; esto se observa en la figura 2.

Cabe mencionar que durante el proceso de moldeo de los cilindros se observó que algunas de las mezclas con relación A/C alta (0,6 A/C) y porcentaje de agregado bajo (20% y 30%), se presenta el fenómeno de asentamiento y sangrado. Como se mencionó, este fenómeno consiste en que los materiales más pesados descienden y los más livianos ascienden en la mezcla (Instituto de Ingeniería UNAM, 1994, p. 28). Quizás la causa de la presencia de este fenómeno no se debió a la mala distribución granulométrica del agregado, puesto que, esta se pudo controlar y siempre se encontraba entre los límites granulométricos; más bien, se debió a la baja cantidad de agregado dentro de la mezcla. Por esta razón, se recomienda emplear mezclas de microconcreto con la consistencia menos fluida que pueda colocarse satisfactoriamente en la estructura o recipiente y que posea el menor contenido de agua posible; también, utilizar agregado con buena forma y textura superficial y con adecuada composición granulométrica, en especial, con un contenido de finos adecuado.

De igual forma, en estas gráficas (figura 22 y figura 23) se observa una baja en la resistencia para la mezcla con 0,4 de relación A/C y un 50% de agregado; no obstante, esta disminución de resistencias se explicó en la sección anterior.

Desarrollo de resistencia

La resistencia a la compresión axial que el microconcreto logra, tiene como actores principales la cantidad de hidratación que la pasta alcanza con el agua, el proceso de curado y las condiciones ambientales en las que se encontraron los especímenes. Sin embargo, este

último factor no se controló completamente, ya que, las condiciones ambientales fueron variables de una mezcla a otra. La hidratación y el curado si se controló adecuadamente.

Cabe mencionar que en la primera etapa del proceso de hidratación los cilindros fueron cubiertos con bolsas plásticas con el fin de evitar el escape del agua, debido a la evaporación, una vez concluida las 24 horas, los cilindros fueron trasladados a una cámara humedad donde la humedad relativa ambiental fue controlada. Se puede afirmar que los especímenes recibieron un proceso adecuado de hidratación y curado, lo que garantiza un desarrollo apropiado de la resistencia.

Se puede apreciar, en el cuadro 31, que las resistencias adquiridas a los 7 días se encuentran entre 55% y 73% de la resistencia final alcanzada por los especímenes. La ganancia de la resistencia con la edad se presenta de forma gráfica en el apéndice 4. En todas las mezclas se presenta un aumento creciente de la resistencia; esto es un comportamiento normal y adecuado en el concreto, mortero y para este caso del microconcreto, no obstante, Espinoza (1991, p. 74) indica que a los 7 días, la resistencia debe ser de aproximadamente el 70% de la resistencia a los 28 días, lo cual, no se cumplió en todas las mezclas.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se elaboró una arena que cumplió con los límites granulométricos, y a pesar de que la granulometría es un factor que puede ser controlado sin importar el tipo de arena, no fue posible controlar otras propiedades tales como la gravedad específica, el porcentaje de absorción y el peso unitario.
- El peso unitario de la arena utilizada se encuentra entre los valores típicos, mientras que la gravedad específica seca del agregado fue de 2,4; y también de que se encuentra entre los límites determinados por Kosmatka (2004), sin embargo, se puede afirmar que al tener un valor bajo, el agregado es poroso.
- Todas las mezclas elaboradas poseen un comportamiento normal a excepción de la mezcla que contó con una relación A/C de 0,4 y un porcentaje de agregado del 50%, lo cual, afectó el proceso de moldeado de los cilindros debido a que, por su baja trabajabilidad provocó mayores variaciones de las resistencias.
- Cuando se aumenta la relación A/C se produce una separación entre las partículas de cemento, lo cual, no permite un entrecruzamiento adecuado de los cristales que brindan resistencia a la mezcla (disminución de la resistencia a la compresión). Cuando se aumenta el porcentaje de agregado, este, transfiere y aporta resistencia dentro de la matriz del microconcreto. Por lo tanto, según la prueba de varianzas (ANOVA), tanto la relación A/C como el porcentaje de agregado afectan la variable respuesta (resistencia).
- Se determina que el coeficiente de varianza no cumple con el coeficiente de variación dentro de la prueba, por tanto, las variables no fueron completamente controladas.
- La magnitud de las varianzas en la resistencia de los cilindros a escala reducida del microconcreto, dependen del control apropiado de los materiales, el proceso de fabricación y de las pruebas de falla de los cilindros a escala.
- Con base en la prueba de Tukey se puede afirmar que: con una relación A/C de 0,4 y 40% de agregado, se obtuvo la mezcla con mayor desempeño en su resistencia a los 28 días; esta tiene un valor promedio de 44,26 MPa. La menor resistencia fue obtenida por la mezcla con una relación A/C de 0,6 y un 20% de agregado, lo que corresponde a un valor de 14,76 MPa.
- Las resistencias adquiridas a los 7 días se encuentran entre 55% a 73% de la resistencia final alcanzada por los especímenes a los 28 días. Este rango tiene como hipótesis principal, que los cilindros fallados a 7 y 28 días no fueron moldeados con una misma mezcla, sino, con mezclas realizadas en distintos días, pero con las mismas proporciones.
- A pesar de que la máquina para el ensayo de falla a la compresión axial es de elevada capacidad (200 toneladas), se considera que los valores obtenidos de la resistencia poseen una precisión adecuada de los datos.
- Las curvas de microconcreto pueden ser utilizadas para la simplificación de futuras dosificaciones de mezclas.

Recomendaciones

- En caso de que se desee reproducir las mezclas, es necesario que se controlen los mismos factores que se controlaron en este proyecto.
- Si se desea utilizar las curvas mostradas para un mayor volumen de mezcla, se recomienda hacer uso de una batidora con mayor capacidad, efectuando mezclas previas para determinar si el comportamiento de las resistencias es similar.
- Cuando se desee realizar mezclas de microconcreto es recomendable probar con anterioridad los equipos que van a utilizar, esto con el fin de tener la certeza de que no se generen imprevistos que pueden conducir a la pérdida de tiempo y errores implícitos, no siempre detectables, y que afectan el resultado; además, es recomendable realizar especímenes de prueba previos para garantizar que la curva de aprendizaje no afecte los resultados finales.
- Se recomienda utilizar equipos adecuados, que satisfagan las necesidades de precisión y varianza de los resultados obtenidos; ya que, si se utilizan equipos de elevadas capacidades es posible obtener resultados erróneos de estos factores.
- No se recomienda el uso de la mezcla 0,4A/C 50%Ag, debió su baja trabajabilidad y poca facilidad para la fabricación de los cilindros.
- Debido a que la relación A/C es un factor influyente en la resistencia del microconcreto, es necesario realizar la debida corrección por humedad que puede presentar el agregado.
- Tratar en la medida de lo posible, que el mismo operador sea el que manipule la fabricación de las mezclas y el moldeo de los cilindros, ya que, si más de una persona realiza los procedimientos anteriormente mencionados, esto podría traer repercusiones en la reproducibilidad de los resultados.
- Se recomienda el uso de un proceso adecuado de cabeceo o capeo de los cilindros, debido a que, las irregularidades en la cara superior de los mismos pudieron ser un factor negativo en su capacidad para resistir cargas.
- Es recomendable realizar nuevos estudios en donde se amplíen los porcentajes de agregado, y las relaciones A/C, ya que, no se conoce con certeza el rango crítico donde se presenta la disminución de la resistencia; así como, realizar más pruebas en el microconcreto con el objetivo de conocer más a fondo sus propiedades. Por ejemplo, uno de los ensayos recomendados es la medición de la densidad del microconcreto.
- Se recomienda el uso de aditivos para mejorar algunas propiedades en específicas en el microconcreto como lo es la trabajabilidad.

Referencias

- American Concrete Institute. (2002). *Evaluation of strength test results of concrete*. http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20214R-11%20Guide%20to%20Evaluation%20of%20Strength%20Test%20Results%20of%20Concrete_MyCivil.ir.pdf.
- Araya, M. (2013). Dosificación de concretos. *Ingeniería En Construcción*, 1(1), 24–29.
- ASTM C 117. (2018). *Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No . 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*. <https://doi.org/10.1520/C0117-17>.
- ASTM C 125. (2018). *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates* 1. <https://doi.org/10.1520/C0125-18.2>
- ASTM C 128. (2018). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine* (Vol. i). <https://doi.org/10.1520/C0128-15.2>
- ASTM C 136. (2018). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. <https://doi.org/10.1520/C0136>
- ASTM C 192. (2018). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*. <https://doi.org/10.1520/C0192>
- ASTM C 270. (2018). *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*. <https://doi.org/10.1520/C0270-14A>.
- ASTM C 29. (2018). *Standard Test Method for Bulk Density (" Unit Weight ") and Voids in Aggregate*. <https://doi.org/10.1520/C0029>
- ASTM C 305. (2018). *Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency*. <https://doi.org/10.1520/C0305-14.2>
- ASTM C 39. (2018). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens* 1. <https://doi.org/10.1520/C0039>
- Berenson, M., & Levine, D. (1995). *Estadística básica en administración*. (6, Ed.). Juárez.
- Chaves, Ó. A. (2016). *Estadística descriptiva con aplicaciones a las ciencias agroforestales* (1st ed.). San José.
- Espinoza, E. (1991). *Mezclas de microconcreto para modelos estructurales*. Universidad de Costa Rica.
- Gómez, M. (1998). *Elementos de estadística descriptiva* (3rd ed.). San José.
- González, G. (2010). *Diseño de mezclas de Micro-concreto con aditivos*. Univesidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Harris, H., & Sabnis, G. (1999). *Structural modeling and experimental techniques* (Segunda). Florida.
- Hernández, O. (n.d.). *Tecnología del Microconcreto*.
- Instituto de Ingeniería UNAM. (1994). *Manual de Tecnología del Concreto*.
- INTE C14. (2018). *Concreto y mortero hidráulico premezclado-Requisitos y métodos de ensayo*. San José.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (1st ed.).
- Minitab 18. (2018). Minitab.
- Moya, M., & Robles, N. (2010). *Probabilidad y estadística. Un enfoque teórico práctico* (2nd ed.). Cartago.
- Muñoz, F. de M. (1998). *Componentes Principales de las Mezclas de Concreto* (1st ed.). San José.
- Navas, A., & Sáenz, A. (2011). CONFINADA EN ESCALA REDUCIDA CON DUCTILIDAD LOCAL ÓPTIMA STRUCTURAL BEHAVIOR OF REDUCED SCALE CONFINED MASONRY WALLS WITH OPTIMAL LOCAL DUCTILITY. *Universidad de Costa Rica*, 21(1).
- Neubauer, D. V. (2018). *Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis*.
- Nieves, A., & Domínguez, F. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería un enfoque*

moderno (1st ed.).
Rivera, G. (2009). *Concreto simple*.
Rodríguez, H. (2010). *Aporte de vigas de amarre en placas aisladas de marcos de concreto. Evaluación en modelos a escala reducida*. Universidad de Costa Rica.
RTC 383. Reglamento Técnico de Cementos Hidráulicos, Especificaciones. (2004). Costa Rica.
Troxell, G., Davis, H., & Kelly, J. (1968). *Composition and Properties of Concrete*.
Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (9th ed.).
Zuluaga, E. A., Millán, J. J., & Mosquera, J. (2013). NORMALIDAD BAJO DIFERENTES

ESCENARIOS DE SIMULACIÓN.
Heurística, 15, 13–22.

Apéndices

1. Deducción completa de fórmulas para dosificación

2. Resistencias y dimensiones de los cilindros

3. Análisis de normalidad para cada mezcla

4. Desarrollo de resistencia

Apéndice 1. Deducción completa de fórmulas para dosificación

Suponiendo que el agregado se encontraba seco

$$V_B = \%Ag \times V_T$$

$$P_s = G_{bs} \times V_B \times \gamma_w$$

$$P_s = G_{bs} \times \gamma_w \times \%Ag \times V_T$$

$$V_{aire} = \%Aire \times V_T$$

$$V_w = V_{WL} + V_{WD}$$

$$V_T = V_{aire} + V_{WL} + V_{WD} + V_B + V_C$$

$$V_B = \%Ag \times V_T$$

$$\%Ag \times V_T = V_{aire} + V_{WL} + V_{WD} + V_C$$

$$(1 - \%Ag)V_T = V_{aire} + V_w + V_C$$

$$\frac{A}{C} = \frac{P_w}{P_c} = \frac{\gamma_w \times V_w}{\gamma_c \times V_c}$$

$$V_w = \frac{(A/C) \times \gamma_c \times V_c}{\gamma_w}$$

$$(1 - \%Ag)V_T = V_{aire} + \left(\frac{(A/C) \times \gamma_c}{\gamma_w} + 1 \right) \times V_c$$

$$\frac{(1 - \%Ag)V_T - V_{aire}}{\left(\frac{(A/C) \times \gamma_c}{\gamma_w} + 1 \right)} = V_c$$

$$\frac{(1 - \%Ag)V_T - \%Aire \times V_T}{\left(\frac{(A/C) \times \gamma_c}{\gamma_w} + 1 \right)} = V_c$$

$$\frac{(1 - \%Ag)V_T - \%Aire \times V_T}{\left(\frac{(A/C) \times \gamma_C}{\gamma_W} + 1\right)} = \frac{P_C}{V_C}$$

Por lo tanto, se determina que el peso del cemento se obtiene a partir de la siguiente ecuación

$$P_C = \left[\frac{(1 - \%Ag) - \%Aire}{(G_{sc} \times (A/C) \times + 1)} \right] \times V_T \times \gamma_C$$

$$V_W = V_{WL} + V_{WD}$$

$$P_{WD} = P_s \times \%D$$

$$V_{WD} = \frac{P_{WD}}{\gamma_W}$$

$$V_{WD} = \frac{P_s \times \%D}{\gamma_W}$$

$$V_{WL} = \frac{\gamma_C}{\gamma_W} \times (A/C) \times V_C$$

$$V_{WL} = \frac{\gamma_C}{\gamma_W} \times (A/C) \times \frac{(1 - \%Ag)V_T - \%Aire \times V_T}{\left(\frac{(A/C) \times \gamma_C}{\gamma_W} + 1\right)}$$

Finalmente, el volumen del agua se obtiene:

$$V_w = \frac{P_s \times \%D}{\gamma_w} + \frac{\gamma_c}{\gamma_w} \times (A/C) \times \frac{(1 - \%Ag) \times V_T - \%Aire \times V_T}{G_{sc} \times (A/C) + 1}$$

Donde:

P_s: Peso sólido

P_C: Peso del cemento

P_{WD}: Peso del agua libre

V_{WL}: Volumen de agua libre

V_w: Volumen del agua

V_{WD}: Volumen de absorción

V_T: Volumen total del cilindro

γ_w: Densidad del agua

γ_c: Densidad del cemento

G_{sc}: Gravedad específica del cemento

%D: Porcentaje de absorción

%Aire: Porcentaje de aire atrapado

%Ag: Porcentaje de agregado

Apéndice 2. Resistencias y dimensiones de los cilindros

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LAS MEZCLA 0,4A/C 20%Ag-7

Especimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,31	55,12	55,22	110,04	110,26	110,150	22,46	53,80	229,03
2	55,33	55,07	55,20	110,26	110,40	110,330	23,09	55,30	235,45
3	54,98	55,36	55,17	110,74	110,09	110,415	27,20	65,10	277,36
4	55,21	55,06	55,14	110,07	110,12	110,095	25,53	61,10	260,33
5	55,22	55,01	55,12	110,56	110,68	110,620	19,81	47,40	202,01
6	54,96	55,07	55,02	110,97	110,85	110,910	29,88	71,50	304,69
7	55,03	55,36	55,20	110,23	110,22	110,225	16,95	40,60	172,84
8	55,07	54,82	54,95	110,84	110,76	110,800	19,46	46,70	198,44
9	55,18	54,98	55,08	111,21	110,89	111,050	28,18	67,40	287,36
10	54,96	55,19	55,08	110,68	110,44	110,560	23,87	57,10	243,41
11	55,26	54,84	55,05	110,47	111,28	110,875	21,73	52,00	221,58
12	54,84	55,22	55,03	110,78	110,87	110,825	23,90	57,20	243,71
13	55,18	55,14	55,16	111,09	111,11	111,100	21,85	52,30	222,81
14	55,13	55,28	55,21	110,43	110,77	110,600	28,56	68,40	291,23
15	55,34	55,00	55,17	111,14	110,81	110,975	21,45	51,30	218,73
16	55,28	55,12	55,20	111,37	111,46	111,415	17,34	41,50	176,82
17	54,64	55,30	54,97	110,89	110,70	110,795	26,53	63,50	270,53
18	55,01	55,24	55,13	111,27	111,68	111,475	24,91	59,20	254,01
19	55,81	55,18	55,50	111,54	111,07	111,305	22,35	53,50	227,91
20	55,41	55,30	55,36	111,33	111,34	111,335	26,75	64,00	272,77
21	55,08	55,42	55,25	110,56	110,62	110,590	24,38	58,40	248,61
22	55,00	55,11	55,06	111,42	111,45	111,435	26,36	63,10	268,80
23	55,26	55,17	55,22	110,83	110,98	110,905	26,33	63,00	268,49
24	55,33	55,33	55,33	110,56	110,56	110,560	23,52	56,30	239,84
25	55,00	55,00	55,00	111,45	111,13	111,290	17,00	41,00	173,35
26	55,13	54,85	54,99	110,77	110,78	110,775	24,77	59,30	252,58
27	55,18	55,23	55,21	110,86	110,15	110,505	24,50	58,70	249,83
28	54,99	55,22	55,11	111,08	111,25	111,165	28,02	67,00	285,72
29	55,35	54,90	55,13	110,60	110,62	110,610	19,60	46,90	199,86
30	55,16	55,11	55,14	111,08	110,93	111,005	23,80	57,00	242,69

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LAS MEZCLA 0,5A/C 20%Ag-7

Especímen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,12	55,35	55,24	110,39	110,56	110,475	16,07	38,50	163,87
2	55,01	55,33	55,17	110,23	110,41	110,320	16,60	39,80	169,27
3	55,19	55,04	55,12	110,12	110,73	110,425	16,27	38,90	165,91
4	55,47	55,04	55,26	110,40	110,38	110,390	16,12	38,60	164,38
5	55,18	55,09	55,14	110,37	110,44	110,405	17,04	40,80	173,76
6	55,06	54,95	55,01	110,02	110,61	110,315	14,48	34,70	147,65
7	55,31	55,36	55,34	110,77	110,41	110,590	13,33	31,90	135,93
8	55,29	55,24	55,27	110,04	110,26	110,150	17,57	42,00	179,16
9	55,32	55,07	55,20	110,26	110,40	110,330	14,83	35,50	151,22
10	54,97	55,21	55,09	110,74	110,09	110,415	15,25	36,50	155,51
11	55,34	55,26	55,30	110,07	110,12	110,095	15,02	36,00	153,16
12	55,11	55,17	55,14	110,56	110,68	110,620	16,10	38,50	164,17
13	55,06	55,21	55,14	110,97	110,85	110,910	16,58	39,70	169,07
14	55,30	55,29	55,30	110,23	110,22	110,225	15,74	37,70	160,50
15	55,12	55,24	55,18	110,05	109,94	109,995	14,46	34,60	147,45
16	55,24	55,19	55,22	110,70	110,44	110,570	17,63	42,20	179,78
17	55,24	55,86	55,55	111,05	111,18	111,115	16,26	38,90	165,81
18	55,07	55,17	55,12	110,39	110,76	110,575	17,74	42,50	180,90
19	55,04	55,26	55,15	110,76	110,34	110,550	16,72	40,00	170,50
20	55,14	55,13	55,14	110,06	110,20	110,130	14,82	35,50	151,12
21	55,42	55,08	55,25	111,04	111,29	111,165	14,93	35,70	152,24
22	54,88	54,56	54,72	110,22	110,73	110,475	17,46	41,80	178,04
23	54,98	55,22	55,10	110,56	110,25	110,405	17,50	41,90	178,45
24	55,34	55,11	55,23	110,87	110,97	110,920	15,39	36,90	156,93
25	55,18	55,12	55,15	110,45	110,94	110,695	15,89	38,00	162,03
26	55,22	54,90	55,06	110,09	110,58	110,335	15,57	37,30	158,77
27	55,24	54,79	55,02	110,05	110,22	110,135	16,89	40,30	172,23
28	55,21	55,17	55,19	110,50	110,25	110,375	14,93	35,70	152,24
29	55,50	55,10	55,30	110,56	110,86	110,710	14,66	35,10	149,49
30	55,35	55,20	55,28	110,88	110,82	110,850	15,60	37,40	159,08

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LAS MEZCLA 0,6A/C 20%Ag-7

Especimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,14	55,16	55,15	108,80	109,00	108,900	9,75	23,30	99,42
2	55,13	55,20	55,17	108,50	109,00	108,750	9,15	21,80	93,30
3	55,00	55,30	55,15	108,70	108,90	108,800	11,00	26,30	112,17
4	55,05	55,20	55,13	109,00	109,10	109,050	10,28	24,50	104,83
5	55,10	55,25	55,18	109,20	109,00	109,100	9,26	22,10	94,43
6	55,02	55,22	55,12	109,40	108,90	109,150	9,81	23,40	100,03
7	55,06	55,26	55,16	109,50	109,30	109,400	10,77	25,70	109,82
8	54,98	55,33	55,16	108,90	109,00	108,950	9,19	21,90	93,71
9	55,07	55,23	55,15	108,80	109,10	108,950	9,81	23,40	100,03
10	55,20	55,10	55,15	108,90	108,48	108,690	9,03	21,50	92,08
11	54,37	54,30	54,34	108,97	108,71	108,840	9,97	23,80	101,67
12	55,44	55,22	55,33	108,15	109,01	108,580	10,63	25,40	108,40
13	55,11	55,30	55,21	108,33	108,43	108,380	10,73	25,60	109,42
14	55,25	55,30	55,28	107,21	107,15	107,180	9,18	21,90	93,61
15	55,15	55,20	55,18	108,69	108,99	108,840	10,62	23,30	108,29
16	55,24	55,43	55,34	109,88	109,03	109,455	9,76	23,30	99,52
17	55,40	55,45	55,43	109,27	108,04	108,655	10,54	25,20	107,48
18	55,00	55,22	55,11	108,02	108,35	108,185	9,36	22,30	95,45
19	54,83	55,10	54,97	109,35	109,49	109,420	10,58	25,20	107,89
20	55,31	54,98	55,15	109,41	109,03	109,220	10,28	24,50	104,83
21	54,88	55,42	55,15	109,01	108,95	108,980	9,17	21,90	93,51
22	55,31	54,84	55,08	109,16	109,31	109,235	10,54	25,10	107,48
23	55,01	55,40	55,21	109,56	109,65	109,605	10,74	25,60	109,52
24	55,40	54,87	55,14	108,22	108,73	108,475	9,25	22,80	94,32
25	55,21	55,09	55,15	109,43	109,57	109,500	10,27	24,50	104,72
26	55,04	55,20	55,12	108,19	108,10	108,145	10,35	24,70	105,54
27	55,26	54,85	55,06	108,65	109,16	108,905	9,97	23,80	101,67
28	55,07	55,32	55,20	109,02	108,47	108,745	10,39	24,80	105,95
29	55,11	55,04	55,08	109,35	109,14	109,245	9,54	22,70	97,28
30	55,33	55,00	55,17	109,22	109,20	109,210	9,87	23,60	100,65

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LAS MEZCLA 0,4A/C 30%Ag-7

Espécimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,15	54,90	55,03	111,08	111,11	111,095	22,26	53,10	226,99
2	54,91	55,02	54,97	111,05	111,01	111,030	20,14	48,00	205,37
3	55,09	55,22	55,16	110,87	110,74	110,805	18,14	43,30	184,98
4	55,09	54,98	55,04	110,93	111,00	110,965	19,96	47,60	203,54
5	55,22	55,05	55,14	111,02	111,36	111,190	21,48	51,20	219,04
6	54,67	55,34	55,01	111,01	110,95	110,980	24,05	57,40	245,24
7	55,49	55,14	55,32	110,44	110,56	110,500	19,40	46,30	197,82
8	55,06	55,12	55,09	111,12	110,70	110,910	20,86	49,70	212,71
9	55,03	55,13	55,08	110,46	110,98	110,720	21,90	52,20	223,32
10	55,12	55,05	55,09	111,41	111,40	111,405	23,38	55,80	238,41
11	54,98	55,18	55,08	111,26	111,61	111,435	18,32	43,70	186,81
12	54,83	55,33	55,08	110,84	111,11	110,975	22,35	53,30	227,91
13	55,07	54,86	54,97	110,91	111,09	111,000	19,96	47,60	203,54
14	54,85	55,22	55,04	111,36	111,03	111,195	23,91	57,00	243,81
15	55,07	54,82	54,95	111,07	110,88	110,975	21,70	51,80	221,28
16	54,83	55,31	55,07	110,81	110,83	110,820	24,56	58,60	250,44
17	54,83	55,07	54,95	111,41	110,80	111,105	25,08	59,80	255,74
18	55,22	54,86	55,04	110,91	110,82	110,865	17,39	41,50	177,33
19	55,10	54,69	54,90	111,05	111,08	111,065	17,05	40,70	173,86
20	54,92	55,28	55,10	110,56	110,45	110,505	22,25	53,10	226,89
21	55,32	54,95	55,14	110,84	110,76	110,800	22,16	52,90	225,97
22	55,09	55,31	55,20	111,21	110,89	111,050	22,29	53,10	227,29
23	54,75	55,23	54,99	110,68	110,44	110,560	26,69	63,60	272,16
24	55,13	54,51	54,82	110,47	111,28	110,875	21,34	50,90	217,61
25	54,82	55,10	54,96	110,78	110,87	110,825	22,77	54,30	232,19
26	55,28	54,98	55,13	111,09	111,11	111,100	24,85	59,20	253,40
27	55,04	55,13	55,09	110,43	110,77	110,600	21,90	52,20	223,32
28	54,87	55,13	55,00	111,14	110,81	110,975	24,04	57,30	245,14
29	54,98	55,06	55,02	111,74	111,76	111,750	25,08	59,80	255,74
30	55,18	55,06	55,12	110,81	110,99	110,900	24,38	58,20	248,61

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LAS MEZCLA 0,5A/C 30%Ag-7

Especimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	54,88	55,52	55,20	111,11	111,11	111,110	17,66	42,10	180,08
2	55,00	54,76	54,88	11,63	111,79	61,710	20,36	48,50	207,61
3	55,09	55,12	55,11	111,58	111,72	111,650	16,44	39,20	167,64
4	55,17	55,34	55,26	110,87	111,09	110,980	18,30	43,60	186,61
5	55,30	55,11	55,21	111,55	111,03	111,290	16,95	40,40	172,84
6	55,43	54,84	55,14	110,73	110,81	110,770	18,71	44,60	190,79
7	55,27	55,31	55,29	110,71	110,70	110,705	18,11	43,20	184,67
8	54,88	55,21	55,05	110,86	110,73	110,795	18,97	43,30	193,44
9	55,37	54,85	55,11	110,77	110,71	110,740	18,25	43,50	186,10
10	55,17	55,20	55,19	111,54	111,73	111,635	17,86	42,60	182,12
11	55,20	54,95	55,08	111,59	111,97	111,780	17,15	40,90	174,88
12	55,29	54,98	55,14	111,61	111,66	111,635	17,25	41,20	175,90
13	55,35	55,22	55,29	111,37	111,46	111,415	19,43	46,30	198,13
14	55,32	55,33	55,33	110,89	110,70	110,795	16,65	39,70	169,78
15	55,07	55,20	55,14	111,27	111,68	111,475	17,91	42,70	182,63
16	55,33	55,03	55,18	111,54	111,07	111,305	17,16	40,90	174,98
17	54,99	55,37	55,18	111,33	111,34	111,335	17,22	41,10	175,60
18	55,20	55,03	55,12	110,56	110,62	110,590	16,94	40,40	172,74
19	55,11	55,06	55,09	111,42	111,45	111,435	16,23	38,70	165,50
20	55,05	55,34	55,20	110,83	110,98	110,905	17,60	42,00	179,47
21	55,22	55,01	55,12	110,56	110,56	110,560	14,47	34,50	147,55
22	55,26	55,03	55,15	111,45	111,13	111,290	19,66	46,90	200,48
23	55,16	54,97	55,07	110,77	110,78	110,775	16,69	39,80	170,19
24	55,41	55,11	55,26	110,86	110,15	110,505	16,44	39,20	167,64
25	55,16	55,21	55,19	111,08	111,25	111,165	16,48	39,30	168,05
26	55,25	55,04	55,15	110,60	110,62	110,610	15,00	35,80	152,96
27	55,05	55,20	55,13	111,08	110,93	111,005	17,70	42,20	180,49
28	54,80	55,32	55,06	111,87	111,88	111,875	18,75	44,70	191,20
29	55,35	55,23	55,29	110,67	110,85	110,760	17,47	41,70	178,14
30	55,19	54,97	55,08	111,34	111,55	111,445	18,64	44,40	190,08

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LAS MEZCLA 0,6A/C 30%Ag-7

Espécimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,02	55,40	55,21	110,40	110,61	110,505	8,47	20,30	86,37
2	55,16	55,35	55,26	110,67	110,28	110,475	7,99	19,10	81,48
3	55,36	55,31	55,34	110,62	110,52	110,570	8,87	21,30	90,45
4	54,86	55,13	55,00	110,65	110,64	110,645	8,27	19,80	84,33
5	54,81	55,04	54,93	110,45	110,67	110,560	8,12	19,50	82,80
6	55,05	55,14	55,10	110,89	110,25	110,570	8,24	19,70	84,02
7	55,33	54,98	55,16	111,12	110,96	111,040	8,30	19,90	84,64
8	55,11	55,24	55,18	111,27	110,83	111,050	7,71	18,50	78,62
9	55,33	54,95	55,14	110,31	110,83	110,570	8,58	20,50	87,49
10	55,06	55,03	55,05	110,82	110,76	110,790	8,05	19,30	82,09
11	55,12	55,09	55,11	110,32	110,29	110,305	8,83	21,10	90,04
12	55,02	55,25	55,14	110,95	110,50	110,725	8,10	19,40	82,60
13	54,82	55,31	55,07	110,13	110,50	110,315	8,66	20,80	88,31
14	55,34	55,03	55,19	111,48	111,50	111,490	8,01	19,20	81,68
15	55,28	55,03	55,16	110,50	110,59	110,545	7,58	18,20	77,29
16	55,24	55,37	55,31	111,10	110,96	111,030	8,34	20,00	85,04
17	55,38	55,23	55,31	109,54	110,11	109,825	8,11	19,40	82,70
18	54,86	55,37	55,12	110,23	110,50	110,365	7,14	17,10	72,81
19	55,10	55,36	55,23	111,05	111,04	111,045	8,34	20,00	85,04
20	55,05	55,33	55,19	111,53	111,33	111,430	8,57	20,50	87,39
21	55,16	55,15	55,16	110,93	110,80	110,865	8,00	19,10	81,58
22	55,08	55,26	55,17	111,62	111,56	111,590	8,27	19,80	84,33
23	55,03	55,45	55,24	110,82	110,54	110,680	8,68	20,80	88,51
24	54,90	55,36	55,13	111,63	111,61	111,620	7,87	18,80	80,25
25	54,92	55,26	55,09	111,50	111,28	111,390	7,56	18,00	77,09
26	54,95	55,45	55,20	110,95	111,03	110,990	8,42	20,20	85,86
27	55,30	55,28	55,29	111,21	110,66	110,935	8,56	20,50	87,29
28	55,40	55,28	55,34	110,92	110,86	110,890	8,54	20,50	87,08
29	55,13	55,22	55,18	110,53	110,27	110,400	7,95	19,00	81,07
30	55,07	55,25	55,16	110,82	110,57	110,695	8,77	21,00	89,43

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LAS MEZCLA 0,6A/C 40%Ag-7

Especimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,24	54,87	55,06	111,90	111,84	111,870	10,68	25,50	108,91
2	54,94	55,23	55,09	111,33	111,29	111,310	10,92	26,00	111,35
3	55,01	55,14	55,08	111,29	111,30	111,295	11,75	28,10	119,82
4	54,96	55,16	55,06	111,82	111,01	111,415	10,90	26,00	111,15
5	55,07	55,26	55,17	110,97	111,29	111,130	11,41	27,20	116,35
6	55,49	55,04	55,27	111,37	111,44	111,405	11,17	26,60	113,90
7	54,84	55,24	55,04	111,33	111,64	111,485	10,68	25,50	108,91
8	55,19	54,89	55,04	111,22	110,76	110,990	11,10	26,50	113,19
9	55,17	54,14	54,66	111,09	110,90	110,995	10,03	23,90	102,28
10	55,09	55,07	55,08	110,51	110,53	110,520	12,06	28,80	122,98
11	55,01	55,11	55,06	110,63	111,05	110,840	11,14	26,60	113,60
12	54,87	55,16	55,02	111,16	111,04	111,100	11,04	26,40	112,58
13	55,09	55,23	55,16	111,00	111,07	111,035	12,23	29,20	124,71
14	55,19	55,18	55,19	111,09	111,35	111,220	10,30	26,90	105,03
15	55,15	55,09	55,12	111,17	110,94	111,055	11,59	27,60	118,19
16	54,81	55,29	55,05	111,41	111,34	111,375	12,90	28,80	131,54
17	55,10	54,99	55,05	111,48	111,05	111,265	11,58	27,60	118,08
18	55,01	55,03	55,02	111,72	110,74	111,230	11,39	27,20	116,15
19	55,30	55,73	55,52	111,52	111,53	111,525	11,55	27,50	117,78
20	55,22	55,18	55,20	111,23	111,27	111,250	11,64	27,80	118,69
21	55,15	55,04	55,10	111,55	111,31	111,430	11,55	27,50	117,78
22	55,04	55,03	55,04	110,96	111,33	111,145	10,20	24,30	104,01
23	55,35	54,76	55,06	110,76	110,83	110,795	11,48	27,40	117,06
24	55,36	54,91	55,14	110,91	111,40	111,155	10,88	25,90	110,95
25	55,24	54,86	55,05	110,97	110,83	110,900	10,10	24,10	102,99
26	55,22	54,70	54,96	111,00	110,87	110,935	10,41	24,90	106,15
27	55,07	55,00	55,04	111,02	110,93	110,975	11,48	27,30	117,06
28	54,90	55,12	55,01	111,79	111,51	111,650	11,34	27,10	115,64
29	55,45	54,76	55,11	111,61	111,80	111,705	11,19	26,70	114,11
30	55,29	55,17	55,23	111,20	111,43	111,315	10,05	24,00	102,48

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LAS MEZCLA 0,4A/C 50%Ag-7

Espécimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	54,81	55,37	55,09	111,19	110,98	111,085	15,71	37,50	160,20
2	55,34	54,81	55,08	111,29	111,05	111,170	12,04	28,70	122,77
3	55,13	55,32	55,23	111,45	111,22	111,335	15,31	36,50	156,12
4	55,20	55,01	55,11	111,41	111,33	111,370	10,70	35,50	109,11
5	54,95	55,30	55,13	111,26	111,31	111,285	17,16	40,90	174,98
6	54,84	55,13	54,99	111,67	111,29	111,480	11,52	27,50	117,47
7	55,34	55,01	55,18	111,55	111,46	111,505	20,25	48,30	206,49
8	55,20	55,02	55,11	110,41	111,40	110,905	13,93	33,30	142,05
9	55,22	55,12	55,17	111,43	111,42	111,425	12,20	29,10	124,41
10	55,20	55,17	55,19	111,05	110,87	110,960	13,57	32,40	138,38
11	54,88	55,03	54,96	111,22	111,11	111,165	11,05	26,40	112,68
12	55,10	54,88	54,99	111,00	110,70	110,850	11,10	26,50	113,19
13	55,35	54,97	55,16	111,08	110,90	110,990	14,34	34,20	146,23
14	55,14	54,95	55,05	111,42	111,33	111,375	12,75	30,50	130,01
15	54,92	55,13	55,03	111,02	110,86	110,940	24,19	57,70	246,67
16	55,00	55,01	55,01	111,29	110,99	111,140	23,96	57,20	244,32
17	55,13	55,29	55,21	110,25	110,44	110,345	11,01	26,30	112,27
18	55,12	54,88	55,00	110,75	110,56	110,655	14,61	34,80	148,98
19	55,08	55,33	55,21	111,00	110,81	110,905	9,87	23,50	100,65
20	54,92	55,09	55,01	110,76	110,93	110,845	13,14	31,30	133,99
21	55,33	55,12	55,23	111,19	111,22	111,205	23,37	55,70	238,31
22	55,05	55,29	55,17	110,70	110,80	110,750	11,51	27,50	117,37
23	54,81	55,56	55,19	110,85	111,03	110,940	13,39	31,90	136,54
24	54,41	54,96	54,69	110,87	110,81	110,840	14,08	35,30	143,58
25	55,09	54,95	55,02	111,27	111,58	111,425	21,59	51,50	220,16
26	55,01	55,09	55,05	111,11	111,09	111,100	12,26	29,20	125,02
27	54,89	54,92	54,91	111,37	111,19	111,280	12,52	29,80	127,67
28	55,19	55,11	55,15	112,00	111,82	111,910	13,06	31,20	133,17
29	54,80	55,36	55,08	111,51	111,34	111,425	12,65	30,32	128,99
30	55,28	55,38	55,33	111,25	111,54	111,395	14,08	33,60	143,58

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LAS MEZCLA 0,5A/C 50%Ag-7									
Especimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,24	55,23	55,24	111,16	111,00	111,080	20,70	49,50	211,08
2	55,24	55,12	55,18	111,27	111,24	111,255	17,48	41,80	178,25
3	54,68	55,28	54,98	110,90	110,61	110,755	20,52	49,10	209,25
4	55,14	55,00	55,07	110,97	111,07	111,020	22,15	53,00	225,87
5	55,24	55,01	55,13	111,20	110,84	111,022	21,03	50,30	214,45
6	55,05	55,11	55,08	111,04	111,07	111,055	22,04	52,70	224,75
7	55,24	54,81	55,03	111,03	111,11	111,070	19,43	46,50	198,13
8	55,19	54,68	54,94	111,14	111,14	111,140	18,87	45,20	192,42
9	55,17	55,24	55,21	111,08	110,78	110,930	20,89	50,00	213,02
10	54,93	55,24	55,09	110,67	110,46	110,565	19,58	47,00	199,66
11	55,29	54,90	55,10	111,06	111,01	111,035	19,17	45,90	195,48
12	55,32	54,74	55,03	110,71	110,78	110,745	19,61	46,90	199,97
13	55,33	55,01	55,17	110,70	111,12	110,910	19,70	47,10	200,88
14	55,35	54,89	55,12	111,01	110,51	110,760	21,08	50,40	214,96
15	55,10	55,09	55,10	110,80	110,72	110,760	20,59	49,30	209,96
16	55,25	55,13	55,19	111,19	110,62	110,905	20,76	49,70	211,69
17	55,33	55,20	55,27	110,89	110,75	110,820	20,00	47,90	203,94
18	55,40	54,95	55,18	110,88	111,10	110,990	20,32	48,60	207,21
19	54,95	55,30	55,13	110,14	109,95	110,045	19,34	46,30	197,21
20	55,35	54,81	55,08	110,77	110,70	110,735	20,27	48,50	206,70
21	55,31	55,11	55,21	110,77	111,03	110,900	18,99	45,50	193,64
22	55,06	55,20	55,13	111,14	110,95	111,045	18,79	45,10	191,60
23	55,37	55,06	55,22	110,90	110,91	110,905	21,17	50,70	215,87
24	55,15	55,12	55,14	110,75	110,85	110,800	20,07	48,00	204,66
25	55,19	55,25	55,22	110,67	110,79	110,730	19,37	46,40	197,52
26	55,31	54,73	55,02	111,14	110,99	111,065	19,97	47,80	203,64
27	55,14	55,22	55,18	110,87	110,96	110,915	20,49	49,00	208,94
28	55,19	55,03	55,11	110,86	110,67	110,765	18,19	45,20	185,49
29	55,02	55,32	55,17	111,17	111,00	111,085	20,67	49,50	210,78
30	55,18	55,19	55,19	111,03	111,05	111,040	18,95	45,30	193,24

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LAS MEZCLA 0,6A/C 50%Ag-7

Espécimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,26	55,04	55,15	111,00	111,22	111,110	10,36	24,80	105,64
2	5,15	55,24	30,20	110,75	111,30	111,025	12,46	29,80	127,06
3	5,00	55,48	30,24	111,05	111,18	111,115	11,63	27,80	118,59
4	54,74	55,31	55,03	110,78	111,17	110,975	11,68	27,90	119,10
5	55,26	55,27	55,27	110,94	111,27	111,105	11,16	26,70	113,80
6	55,06	55,02	55,04	110,67	111,02	110,845	12,77	30,60	130,22
7	55,10	55,46	55,28	111,62	111,26	111,440	10,63	25,40	108,40
8	55,32	55,04	55,18	111,02	110,86	110,940	13,16	31,50	134,19
9	55,08	55,37	55,23	110,78	110,74	110,760	13,03	31,20	132,87
10	55,41	55,00	55,21	110,73	110,62	110,675	12,34	29,60	125,83
11	55,12	55,12	55,12	110,86	110,78	110,820	12,09	28,90	123,28
12	55,28	55,05	55,17	111,34	111,28	111,310	11,84	28,40	120,73
13	55,17	55,16	55,17	110,94	111,54	111,240	12,24	29,40	124,81
14	55,13	55,16	55,15	111,25	111,25	111,250	12,57	30,10	128,18
15	55,25	55,25	55,25	110,81	110,21	110,510	12,23	29,30	124,71
16	55,17	54,89	55,03	111,03	111,07	111,050	11,01	26,40	112,27
17	55,29	55,07	55,18	111,04	110,86	110,950	11,89	28,40	121,24
18	55,39	55,29	55,34	111,05	111,21	111,130	11,56	27,70	117,88
19	55,05	55,19	55,12	111,23	111,22	111,225	11,56	27,70	117,88
20	55,28	55,06	55,17	110,94	111,13	111,035	11,16	26,70	113,80
21	54,95	55,35	55,15	111,20	110,97	111,085	12,17	29,10	124,10
22	55,40	54,94	55,17	111,11	110,67	110,890	13,14	31,40	133,99
23	55,43	55,44	55,44	111,16	111,08	111,120	12,31	29,50	125,53
24	55,33	55,31	55,32	111,20	111,30	111,250	12,21	29,20	124,51
25	55,44	54,91	55,18	111,10	110,94	111,020	12,38	29,60	126,24
26	55,15	55,17	55,16	111,33	111,34	111,335	12,01	28,70	122,47
27	55,16	55,12	55,14	111,33	111,28	111,305	10,74	25,70	109,52
28	55,05	55,24	55,15	111,18	111,10	111,140	12,46	29,70	127,06
29	55,24	55,33	55,29	111,32	111,22	111,270	13,07	31,30	133,28
30	54,88	55,32	55,10	111,03	111,15	111,090	13,18	31,60	134,40

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA 0,4/C 20%Ag-28

Especimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,01	55,27	55,14	111,09	110,89	110,990	27,39	65,30	279,30
2	55,26	54,90	55,08	111,23	111,11	111,170	24,85	59,20	253,40
3	55,12	55,15	55,14	111,39	111,45	111,420	28,21	67,30	287,66
4	55,32	54,83	55,08	110,67	110,89	110,780	34,37	82,00	350,48
5	55,14	54,96	55,05	110,55	110,97	110,760	35,07	83,60	357,61
6	55,21	55,18	55,20	110,32	110,37	110,345	29,64	70,70	302,24
7	55,33	54,86	55,10	110,67	110,91	110,790	40,52	96,60	413,19
8	55,11	55,19	55,15	110,94	110,91	110,925	33,39	79,60	340,48
9	54,87	55,27	55,07	110,62	110,65	110,635	35,30	84,20	359,96
10	54,64	55,32	54,98	110,65	110,30	110,475	27,59	65,80	281,34
11	55,31	54,66	54,99	110,84	110,95	110,895	36,26	86,50	369,75
12	55,28	54,94	55,11	111,30	111,58	111,440	32,68	77,90	333,24
13	55,21	54,91	55,06	111,22	111,10	111,160	37,52	89,50	382,60
14	54,82	55,43	55,13	110,96	110,84	110,900	29,54	70,40	301,22
15	55,34	54,98	55,16	111,06	111,14	111,100	26,28	62,70	267,98
16	55,24	54,60	54,92	111,55	111,52	111,535	30,04	71,60	306,32
17	55,00	55,17	55,09	111,88	112,00	111,940	33,24	79,30	338,95
18	55,48	54,75	55,12	110,72	110,88	110,800	34,27	81,70	349,46
19	54,97	55,15	55,06	111,37	111,14	111,255	34,85	83,10	355,37
20	54,84	55,27	55,06	110,55	110,90	110,725	27,12	64,70	276,55
21	55,00	55,24	55,12	111,34	111,51	111,425	35,90	85,60	366,08
22	55,32	54,87	55,10	110,87	110,66	110,765	26,49	63,20	270,12
23	55,28	54,99	55,14	111,14	110,69	110,915	30,47	72,70	310,71
24	55,28	55,98	55,63	110,95	110,82	110,885	28,90	68,90	294,70
25	55,45	55,15	55,30	111,18	111,17	111,175	29,32	69,90	298,98
26	55,47	54,96	55,22	111,00	111,48	111,240	35,29	84,20	359,86
27	54,75	55,34	55,05	110,85	110,78	110,815	42,51	101,40	433,48
28	55,02	55,00	55,01	111,36	111,40	111,380	40,35	96,20	411,46
29	55,17	54,97	55,07	111,02	110,88	110,950	35,46	84,60	361,59
30	55,28	55,15	55,22	111,14	111,41	111,275	32,72	78,00	333,65

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA 0,5A/C 20%Ag-28

Espécimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,10	55,18	55,14	111,89	111,42	111,655	28,03	67,10	285,83
2	55,13	55,12	55,13	110,81	110,85	110,830	22,07	52,90	225,05
3	55,26	55,08	55,17	110,40	109,99	110,195	23,00	55,10	234,53
4	55,29	54,92	55,11	110,76	111,53	111,145	22,76	54,50	232,09
5	55,30	55,25	55,28	109,77	110,08	109,925	23,06	55,20	235,15
6	55,25	55,15	55,20	109,65	109,78	109,715	23,61	56,50	240,75
7	55,12	55,16	55,14	109,63	110,16	109,895	23,03	51,10	234,84
8	54,90	55,31	55,11	110,99	110,52	110,755	22,69	54,30	231,37
9	55,15	55,36	55,26	109,22	109,34	109,280	28,43	68,00	289,91
10	55,26	55,13	55,20	111,02	110,91	110,965	23,54	56,30	240,04
11	55,32	54,81	55,07	109,34	109,56	109,450	22,46	53,80	229,03
12	55,19	55,36	55,28	110,45	110,73	110,590	26,34	63,00	268,59
13	55,23	55,20	55,22	110,16	110,12	110,140	25,31	60,60	258,09
14	55,34	54,96	55,15	110,28	109,93	110,105	25,25	61,00	257,48
15	55,25	55,21	55,23	109,66	109,81	109,735	25,34	60,70	258,40
16	55,28	55,07	55,18	110,00	110,03	110,015	26,80	64,10	273,28
17	55,09	55,38	55,24	110,78	110,78	110,780	26,42	63,20	269,41
18	55,17	55,46	55,32	110,31	109,57	109,940	21,86	52,30	222,91
19	55,23	55,35	55,29	111,51	111,04	111,275	25,98	62,20	264,92
20	55,24	55,32	55,28	110,52	110,67	110,595	30,05	71,90	306,42
21	54,72	55,33	55,03	110,19	109,12	109,655	23,93	57,30	244,02
22	55,23	55,30	55,27	110,87	110,95	110,910	24,12	57,70	245,96
23	54,91	55,16	55,04	110,24	109,66	109,950	20,88	50,00	212,92
24	55,08	55,23	55,16	111,66	111,69	111,675	22,68	54,30	231,27
25	55,50	54,75	55,13	110,65	110,54	110,595	25,67	61,50	261,76
26	55,16	55,06	55,11	110,06	110,40	110,230	24,28	58,10	247,59
27	55,04	55,17	55,11	110,63	110,89	110,760	24,55	58,70	250,34
28	55,13	55,11	55,12	111,19	111,31	111,250	24,69	59,10	251,77
29	55,44	55,07	55,26	111,09	111,18	111,135	25,67	61,50	261,76
30	55,47	55,25	55,36	110,67	110,27	110,470	22,33	52,40	227,70

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA 0,6A/C 20%Ag-28

Especimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	54,84	55,24	55,04	109,38	109,51	109,445	13,83	33,10	141,03
2	55,36	55,26	55,31	108,42	108,10	108,260	15,73	37,70	160,40
3	55,20	55,14	55,17	108,86	109,26	109,060	14,47	34,60	147,55
4	55,26	55,11	55,19	107,81	107,81	107,810	15,08	36,10	153,77
5	55,19	55,30	55,25	108,49	108,41	108,450	14,43	34,60	147,15
6	55,03	55,45	55,24	109,02	108,96	108,990	15,89	38,00	162,03
7	55,25	55,19	55,22	108,01	108,21	108,110	15,25	36,50	155,51
8	55,15	55,88	55,52	108,30	108,76	108,530	15,25	36,50	155,51
9	55,13	54,25	54,69	107,28	107,43	107,355	15,40	36,90	157,04
10	55,02	55,41	55,22	108,34	108,82	108,580	14,88	35,60	151,73
11	55,25	55,31	55,28	109,42	109,40	109,410	15,52	37,10	158,26
12	55,30	54,64	54,97	107,99	107,47	107,730	13,89	33,20	141,64
13	55,44	55,01	55,23	108,29	108,21	108,250	14,21	34,00	144,90
14	54,99	55,32	55,16	108,93	108,80	108,865	15,29	36,60	155,91
15	55,02	55,35	55,19	108,89	108,56	108,725	14,68	35,20	149,69
16	55,44	55,34	55,39	109,12	109,17	109,145	14,66	35,10	149,49
17	55,15	55,17	55,16	107,47	107,45	107,460	15,14	36,20	154,39
18	55,28	55,19	55,24	107,70	107,25	107,475	13,52	32,40	137,87
19	55,00	55,29	55,15	107,62	107,42	107,520	15,32	36,70	156,22
20	55,07	55,37	55,22	107,97	107,96	107,965	15,19	36,40	154,89
21	55,17	55,35	55,26	109,36	109,41	109,385	14,04	33,60	143,17
22	55,23	55,10	55,17	108,47	108,45	108,460	15,11	36,20	154,08
23	55,39	55,00	55,20	109,54	109,51	109,525	14,00	33,50	142,76
24	55,32	55,29	55,31	109,04	108,84	108,940	15,22	36,40	155,20
25	55,39	55,14	55,27	108,14	108,25	108,195	15,29	36,60	155,91
26	55,35	54,84	55,10	108,97	108,89	108,930	14,15	33,90	144,29
27	55,17	55,29	55,23	108,27	107,92	108,095	14,46	34,60	147,45
28	55,42	54,98	55,20	108,50	108,44	108,470	15,39	36,90	156,93
29	55,30	55,11	55,21	108,90	109,10	109,000	13,28	31,80	135,42
30	55,21	54,90	55,06	109,46	109,08	109,270	14,14	33,90	144,19

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA 0,4A/C 30%Ag-28

Espécimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,24	55,21	55,23	111,01	111,50	111,255	35,97	86,10	366,79
2	55,31	55,06	55,19	111,13	111,09	111,110	30,96	74,10	315,70
3	55,39	54,80	55,10	110,80	110,52	110,660	35,70	85,40	364,04
4	55,29	55,09	55,19	111,16	111,24	111,200	32,97	78,90	336,20
5	55,30	55,30	55,30	110,82	110,98	110,900	38,26	91,60	390,14
6	55,22	54,88	55,05	111,12	111,30	111,210	43,27	103,60	441,23
7	55,02	55,19	55,11	110,75	110,71	110,730	36,52	87,40	372,40
8	55,04	54,82	54,93	110,63	110,95	110,790	28,02	67,00	285,72
9	55,54	55,08	55,31	110,71	110,70	110,705	34,78	83,20	354,66
10	55,21	55,37	55,29	110,51	110,90	110,705	31,00	74,20	316,11
11	55,12	55,35	55,24	111,02	111,19	111,105	37,37	89,50	381,07
12	55,38	54,85	55,12	111,40	110,97	111,185	33,45	80,10	341,10
13	55,26	54,94	55,10	110,28	110,31	110,295	34,41	82,40	350,88
14	55,29	55,02	55,16	111,20	111,36	111,280	32,48	77,70	331,20
15	55,38	55,11	55,25	110,96	111,10	111,030	38,14	91,30	388,92
16	55,12	55,08	55,10	110,99	111,02	111,005	29,95	71,70	305,41
17	55,00	55,34	55,17	111,08	110,93	111,005	31,28	74,90	318,97
18	55,41	54,91	55,16	110,87	111,21	111,040	37,94	90,80	386,88
19	55,33	54,97	55,15	110,88	111,32	111,100	33,55	80,30	342,11
20	55,24	55,10	55,17	111,11	110,87	110,990	29,38	70,30	299,59
21	55,25	55,30	55,28	110,86	111,05	110,955	40,90	97,90	417,06
22	55,35	54,85	55,10	110,96	110,87	110,915	30,40	72,80	309,99
23	55,12	55,24	55,18	111,08	111,17	111,125	39,60	94,80	403,81
24	54,97	55,23	55,10	110,71	111,76	111,235	35,67	85,40	363,73
25	55,28	54,96	55,12	111,02	111,32	111,170	37,24	89,20	379,74
26	54,89	55,25	55,07	110,54	110,56	110,550	34,83	83,40	355,17
27	55,03	55,03	55,03	111,56	111,22	111,390	38,31	91,70	390,65
28	55,15	55,26	55,21	111,60	111,68	111,640	34,71	83,10	353,94
29	55,17	55,15	55,16	110,74	111,38	111,060	35,53	85,00	362,31
30	55,26	55,02	55,14	110,59	110,96	110,775	32,49	77,80	331,31

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA 0,5A/C 30%Ag-28

Especimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,25	55,30	55,28	111,60	111,62	111,610	26,08	62,20	265,94
2	55,31	54,93	55,12	111,52	111,14	111,330	28,64	68,30	292,05
3	55,25	55,22	55,24	111,31	110,96	111,135	27,45	65,50	279,91
4	54,71	55,25	54,98	111,09	111,17	111,130	26,66	63,60	271,86
5	55,26	54,93	55,10	110,50	110,39	110,445	28,52	68,00	290,82
6	54,91	55,26	55,09	111,35	111,29	111,320	30,19	72,00	307,85
7	55,18	55,07	55,13	110,70	111,27	110,985	27,70	66,10	282,46
8	55,02	55,27	55,15	111,35	111,30	111,325	25,88	61,70	263,90
9	55,24	54,92	55,08	110,59	110,69	110,640	26,84	64,00	273,69
10	55,14	55,07	55,11	111,31	111,27	111,290	30,26	72,20	308,57
11	54,84	55,25	55,05	111,37	110,83	111,100	29,54	70,50	301,22
12	55,11	55,42	55,27	111,37	111,17	111,270	28,50	67,90	290,62
13	55,27	55,07	55,17	110,74	110,87	110,805	27,50	65,60	280,42
14	54,96	55,26	55,11	110,85	111,08	110,965	28,68	68,40	292,45
15	54,99	55,33	55,16	110,69	110,63	110,660	26,17	62,40	266,86
16	55,07	55,25	55,16	111,25	111,07	111,160	27,73	66,10	282,77
17	55,16	55,20	55,18	110,67	110,22	110,445	28,66	68,30	292,25
18	54,81	55,24	55,03	111,30	111,11	111,205	28,83	68,70	293,98
19	55,31	55,06	55,19	111,38	111,00	111,190	29,39	70,10	299,69
20	55,28	54,99	55,14	110,92	111,06	110,990	29,86	71,20	304,49
21	54,90	55,25	55,08	111,42	111,50	111,460	26,69	63,60	272,16
22	54,88	55,19	55,04	110,74	111,27	111,005	31,31	74,70	319,27
23	55,03	55,10	55,07	110,77	111,11	110,940	30,58	72,90	311,83
24	55,14	55,32	55,23	110,58	110,57	110,575	27,62	65,90	281,65
25	54,80	55,48	55,14	111,02	110,80	110,910	26,43	63,00	269,51
26	54,88	55,03	54,96	111,06	110,91	110,985	29,42	70,10	300,00
27	54,78	55,39	55,09	110,36	110,36	110,360	30,38	72,40	309,79
28	55,07	55,19	55,13	111,30	111,24	111,270	25,74	61,40	262,47
29	55,26	54,98	55,12	111,59	111,28	111,435	30,84	73,50	314,48
30	55,10	55,40	55,25	111,32	111,74	111,530	26,64	63,50	271,65

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA 0,6A/C 30%Ag-28

Espécimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,14	55,09	55,12	110,61	110,24	110,425	13,51	32,20	137,76
2	55,19	55,13	55,16	109,95	110,30	110,125	15,80	37,70	161,12
3	55,11	55,25	55,18	110,24	110,13	110,185	14,14	33,70	144,19
4	55,19	55,23	55,21	111,28	111,20	111,240	15,41	36,70	157,14
5	55,27	55,01	55,14	110,58	110,26	110,420	13,76	32,80	140,31
6	54,97	55,28	55,13	110,61	110,54	110,575	14,38	34,30	146,64
7	55,08	55,38	55,23	110,19	110,24	110,215	15,04	35,90	153,37
8	54,87	55,39	55,13	111,16	110,48	110,820	15,37	36,60	156,73
9	55,19	54,86	55,03	110,47	110,30	110,385	15,79	37,60	161,01
10	54,92	55,21	55,07	110,82	110,94	110,880	15,70	37,40	160,10
11	54,85	55,23	55,04	110,15	110,25	110,200	13,78	32,90	140,52
12	55,15	54,84	55,00	109,81	110,22	110,015	14,17	33,80	144,49
13	55,08	55,20	55,14	109,34	109,65	109,495	14,04	33,50	143,17
14	55,26	54,92	55,09	110,63	110,49	110,560	14,48	34,60	147,65
15	55,39	54,79	55,09	110,25	110,07	110,160	16,03	38,20	163,46
16	55,25	55,11	55,18	110,65	110,33	110,490	13,25	31,60	135,11
17	55,21	54,92	55,07	110,32	110,97	110,645	15,73	37,50	160,40
18	55,19	55,23	55,21	110,24	110,65	110,445	15,35	36,60	156,53
19	55,22	55,18	55,20	111,01	110,52	110,765	15,82	37,70	161,32
20	54,88	55,37	55,13	110,70	110,65	110,675	16,04	38,30	163,56
21	54,91	55,40	55,16	111,01	110,76	110,885	15,81	37,70	161,22
22	55,08	55,13	55,11	110,75	110,75	110,750	15,12	36,10	154,18
23	54,84	55,45	55,15	110,48	111,03	110,755	14,66	35,00	149,49
24	55,06	55,24	55,15	111,29	111,05	111,170	16,40	39,10	167,23
25	55,26	55,10	55,18	110,85	110,75	110,800	12,96	28,60	132,16
26	55,21	55,26	55,24	111,30	111,25	111,275	15,74	37,50	160,50
27	55,05	55,25	55,15	110,78	110,72	110,750	16,00	38,20	163,15
28	55,24	55,28	55,26	111,38	111,45	111,415	15,12	36,10	154,18
29	54,89	55,10	55,00	109,80	110,42	110,110	16,52	39,40	168,46
30	55,01	55,34	55,18	110,64	110,41	110,525	16,34	39,00	166,62

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA 0,4/C 40%Ag-28

Especimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	54,91	55,29	55,10	110,92	111,38	111,150	42,91	102,30	437,56
2	55,11	55,26	55,19	110,63	110,90	110,765	45,55	108,60	464,48
3	54,94	55,00	54,97	110,96	110,96	110,960	36,83	87,80	375,56
4	54,89	55,22	55,06	110,51	110,76	110,635	40,36	96,30	411,56
5	55,19	55,37	55,28	110,99	110,92	110,955	38,55	92,00	393,10
6	54,85	55,24	55,05	110,84	110,94	110,890	46,52	110,90	474,37
7	55,44	55,82	55,63	110,70	111,02	110,860	40,43	96,40	412,27
8	55,32	55,24	55,28	110,93	111,23	111,080	46,50	110,90	474,17
9	55,18	54,84	55,01	110,84	110,93	110,885	39,46	94,10	402,38
10	55,13	54,74	54,94	111,20	110,36	110,780	45,46	108,40	463,56
11	54,64	55,36	55,00	110,82	110,87	110,845	43,01	102,60	438,58
12	54,69	55,30	55,00	111,10	111,12	111,110	42,71	101,90	435,52
13	54,86	55,37	55,12	110,94	110,92	110,930	44,83	106,90	457,14
14	55,22	55,07	55,15	111,16	111,13	111,145	46,70	111,40	476,21
15	54,79	55,10	54,95	110,72	110,63	110,675	47,66	113,60	486,00
16	55,17	55,25	55,21	111,28	111,07	111,175	46,64	111,20	475,60
17	55,05	55,19	55,12	111,17	111,11	111,140	43,87	104,60	447,35
18	54,53	55,14	54,84	111,01	110,67	110,840	49,34	117,70	503,13
19	55,34	55,13	55,24	111,50	111,41	111,455	45,84	109,30	467,44
20	55,22	55,04	55,13	111,06	110,92	110,990	47,83	114,10	487,73
21	54,91	55,39	55,15	111,24	110,93	111,085	43,61	104,00	444,70
22	55,24	55,07	55,16	110,92	110,79	110,855	44,31	105,60	451,84
23	55,34	55,02	55,18	110,89	111,02	110,955	46,47	110,80	473,86
24	54,76	55,34	55,05	110,80	110,99	110,895	42,08	100,40	429,10
25	55,13	55,26	55,20	110,88	111,04	110,960	45,67	108,90	465,70
26	55,22	55,33	55,28	110,99	111,03	111,010	38,99	93,00	397,59
27	55,35	54,86	55,11	110,90	110,81	110,855	48,23	115,00	491,81
28	55,03	55,25	55,14	111,05	111,00	111,025	43,78	104,40	446,43
29	54,84	55,20	55,02	110,80	110,73	110,765	48,85	116,50	498,13
30	55,08	55,08	55,08	111,13	111,15	111,140	44,70	106,80	455,81

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA 0,5A/C 40%Ag-28

Espécimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,08	54,90	54,99	111,01	111,15	111,080	27,53	65,90	280,73
2	55,04	55,29	55,17	111,28	111,05	111,165	32,76	78,40	334,06
3	55,26	54,96	55,11	111,19	110,81	111,000	29,19	69,90	297,66
4	55,18	55,09	55,14	111,84	111,97	111,905	26,38	63,10	269,00
5	55,07	55,17	55,12	111,05	111,65	111,350	25,00	59,80	254,93
6	55,18	55,35	55,27	110,75	110,78	110,765	28,47	68,12	290,31
7	55,11	55,20	55,16	111,13	110,68	110,905	29,16	69,80	297,35
8	55,07	55,13	55,10	111,66	111,49	111,575	25,10	60,10	255,95
9	55,11	54,94	55,03	111,99	111,67	111,830	21,53	51,50	219,54
10	55,13	55,11	55,12	111,75	111,63	111,690	24,26	58,10	247,38
11	55,18	55,14	55,16	111,62	111,78	111,700	31,14	74,50	317,54
12	54,95	55,39	55,17	111,05	111,41	111,230	30,65	73,30	312,54
13	55,08	55,29	55,19	112,05	111,42	111,735	26,23	62,80	267,47
14	55,26	54,75	55,01	111,23	111,00	111,115	31,87	76,30	324,98
15	55,13	55,08	55,11	111,20	110,94	111,070	33,29	79,70	339,46
16	55,41	54,80	55,11	111,84	111,60	111,720	29,94	71,60	305,30
17	54,93	55,19	55,06	110,84	111,20	111,020	24,95	59,70	254,42
18	55,14	55,19	55,17	110,33	110,22	110,275	28,38	67,90	289,40
19	54,96	55,44	55,20	111,44	111,33	111,385	28,40	68,00	289,60
20	55,26	55,44	55,35	110,98	111,51	111,245	27,46	65,70	280,01
21	55,37	55,21	55,29	110,78	110,74	110,760	26,19	62,70	267,06
22	55,25	55,37	55,31	111,91	111,51	111,710	23,06	55,20	235,15
23	55,06	55,28	55,17	111,81	112,13	111,970	29,19	69,90	297,66
24	55,29	55,15	55,22	111,74	111,49	111,615	26,44	63,30	269,61
25	55,23	55,05	55,14	111,13	111,22	111,175	35,55	85,10	362,51
26	55,09	55,19	55,14	111,55	111,39	111,470	30,40	72,80	309,99
27	54,94	55,27	55,11	111,50	110,94	111,220	31,00	74,20	316,11
28	55,00	55,24	55,12	112,05	111,78	111,915	27,61	66,10	281,54
29	54,92	55,30	55,11	111,34	111,48	111,410	30,83	73,80	311,12
30	55,22	54,71	54,97	110,85	111,78	111,315	30,51	73,00	311,12

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA 0,6A/C 40%Ag-28

Especimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,20	55,38	55,29	111,67	111,51	111,590	19,52	46,70	199,05
2	55,22	55,27	55,25	110,95	111,01	110,980	21,95	52,50	223,83
3	55,05	55,27	55,16	111,80	111,53	111,665	21,30	51,00	217,20
4	55,23	55,18	55,21	111,44	111,61	111,525	19,40	46,50	197,82
5	55,26	54,94	55,10	111,86	111,74	111,800	20,10	48,10	204,96
6	55,06	55,19	55,13	111,91	111,67	111,790	22,11	52,90	225,46
7	55,11	54,90	55,01	111,18	111,16	111,170	22,23	53,20	226,68
8	55,15	55,26	55,21	111,26	110,94	111,100	20,07	48,10	204,66
9	55,25	55,12	55,19	111,34	111,42	111,380	20,12	42,20	205,17
10	55,19	55,24	55,22	110,61	111,06	110,835	19,12	45,80	194,97
11	55,16	55,24	55,20	111,55	111,08	111,315	20,59	49,30	209,96
12	55,08	55,10	55,09	111,04	111,00	111,020	20,34	48,70	207,41
13	55,08	55,34	55,21	111,74	111,99	111,865	21,42	51,30	218,42
14	55,18	55,07	55,13	112,16	112,04	112,100	21,10	50,50	215,16
15	54,96	55,29	55,13	111,53	111,57	111,550	18,68	44,70	190,48
16	55,27	55,13	55,20	111,30	110,85	111,075	20,97	50,20	213,83
17	55,34	55,24	55,29	112,05	111,71	111,880	22,18	53,10	226,17
18	55,32	54,94	55,13	110,74	110,59	110,665	20,52	49,10	209,25
19	55,11	55,28	55,20	111,36	111,22	111,290	19,44	46,50	198,23
20	55,04	55,24	55,14	110,91	111,05	110,980	22,25	53,20	226,89
21	55,40	55,23	55,32	110,41	110,41	110,410	18,44	49,10	188,04
22	55,26	55,14	55,20	111,09	111,21	111,150	20,98	50,20	213,94
23	55,08	55,34	55,21	111,13	111,59	111,360	21,62	51,70	220,46
24	55,10	55,29	55,20	111,55	111,24	111,395	21,34	51,10	217,61
25	55,31	55,20	55,26	111,05	111,39	111,220	16,87	40,40	172,03
26	55,19	55,28	55,24	111,34	111,19	111,265	17,33	41,50	176,72
27	55,25	55,25	55,25	111,87	111,22	111,545	20,26	48,50	206,59
28	55,05	55,35	55,20	111,77	111,61	111,690	20,57	49,30	209,76
29	55,12	55,30	55,21	111,38	111,83	111,605	17,74	42,50	180,90
30	55,12	55,27	55,20	111,79	111,64	111,715	21,49	51,40	219,14

DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA 0,4A/C 50%Ag-28

Espécimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	54,97	54,94	54,96	110,92	110,95	110,935	23,92	57,00	243,92
2	54,62	55,00	54,81	110,90	111,29	111,095	21,39	51,00	218,12
3	55,01	55,03	55,02	111,40	111,39	111,395	22,86	54,50	233,11
4	55,07	54,79	54,93	110,86	110,54	110,700	18,20	43,40	185,59
5	54,87	55,22	55,05	111,01	110,91	110,960	19,83	47,30	202,21
6	54,86	55,28	55,07	111,20	111,03	111,115	28,32	67,50	288,78
7	55,00	55,10	55,05	110,82	110,96	110,890	21,14	50,40	215,57
8	54,89	54,78	54,84	111,75	111,02	111,385	21,03	50,20	214,45
9	55,34	54,91	55,13	111,20	111,20	111,200	26,48	63,20	270,02
10	54,89	55,21	55,05	111,37	110,89	111,130	31,06	74,10	316,72
11	55,00	55,17	55,09	110,81	111,17	110,990	18,81	44,80	191,81
12	54,77	55,20	54,99	111,24	110,84	111,040	18,20	43,40	185,59
13	54,99	55,33	55,16	110,97	110,76	110,865	24,67	58,80	251,56
14	55,22	55,19	55,21	111,29	111,11	111,200	21,00	50,10	214,14
15	55,05	55,14	55,10	111,88	110,86	111,370	25,50	60,80	260,03
16	54,27	55,29	54,78	111,83	111,11	111,470	29,47	70,30	300,51
17	55,23	55,31	55,27	111,33	111,45	111,390	22,59	53,90	230,35
18	55,10	55,31	55,21	111,50	111,01	111,255	17,72	42,30	180,69
19	54,53	54,32	54,43	111,23	111,19	111,210	30,88	73,70	314,89
20	54,91	55,11	55,01	110,98	110,85	110,915	17,43	41,60	177,74
21	54,95	55,03	54,99	110,91	111,10	111,005	20,88	49,80	212,92
22	55,12	55,05	55,09	111,06	111,34	111,200	20,90	49,90	213,12
23	54,81	55,26	55,04	110,96	111,01	110,985	29,16	69,50	297,35
24	54,89	55,21	55,05	111,35	111,28	111,315	19,02	45,30	193,95
25	55,13	55,29	55,21	111,57	111,03	111,300	20,71	49,40	211,18
26	55,26	55,07	55,17	111,37	111,37	111,370	27,93	66,60	284,81
27	55,92	55,17	55,55	111,56	111,37	111,465	24,73	59,00	252,18
28	55,20	55,22	55,21	111,35	111,39	111,370	24,62	58,70	251,05
29	55,38	55,11	55,25	111,67	111,62	111,645	23,71	56,50	241,77
30	55,32	55,02	55,17	111,23	111,49	111,360	28,87	68,90	294,39

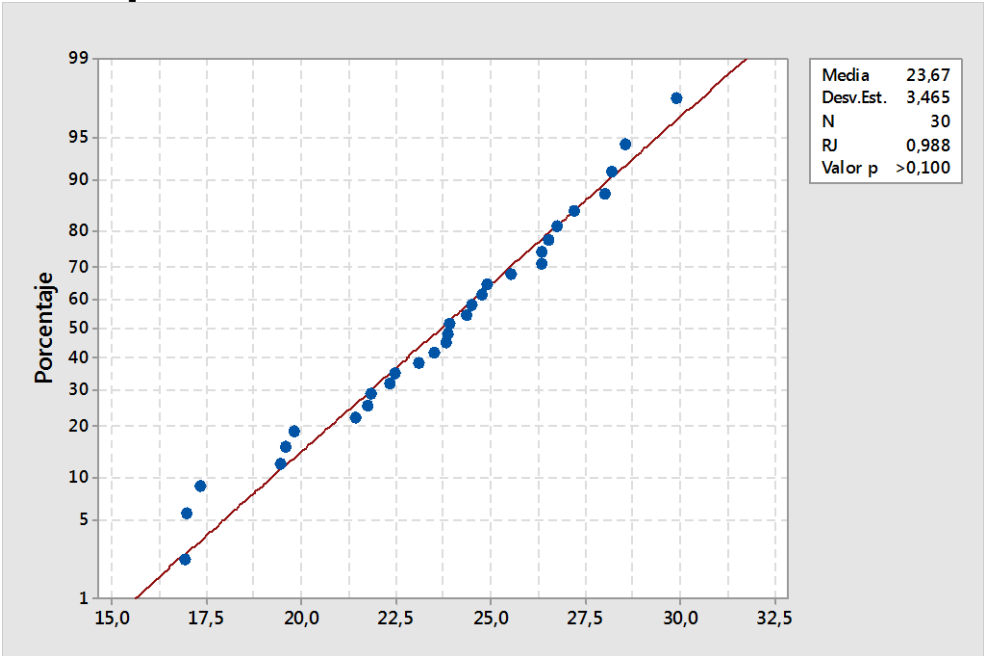
DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA 0,5A/C 50%Ag-28

Especimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,23	54,92	55,08	110,72	110,89	110,805	31,16	74,30	317,74
2	55,20	54,74	54,97	110,99	111,07	111,030	30,60	73,00	312,03
3	54,94	55,33	55,14	111,08	111,00	111,040	36,93	88,10	376,58
4	55,30	54,76	55,03	110,98	110,58	110,780	33,85	81,00	345,17
5	55,23	54,92	55,08	110,90	111,26	111,080	32,12	76,60	327,53
6	55,21	54,67	54,94	110,73	110,82	110,775	30,95	73,80	315,60
7	55,00	55,15	55,08	110,64	110,65	110,645	32,85	78,30	334,98
8	55,11	54,84	54,98	110,73	110,97	110,850	31,29	74,60	319,07
9	55,19	54,93	55,06	110,84	110,87	110,855	32,60	77,70	332,43
10	55,24	55,09	55,17	111,15	111,15	111,150	32,85	78,30	334,98
11	55,28	55,08	55,18	111,25	111,22	111,235	34,65	82,60	353,33
12	55,35	55,04	55,20	111,06	110,95	111,005	34,20	81,80	348,74
13	55,09	55,22	55,16	111,17	111,07	111,120	33,00	78,70	336,51
14	54,94	55,26	55,10	111,16	111,30	111,230	34,92	83,30	356,08
15	55,06	55,32	55,19	110,96	110,91	110,935	35,81	85,40	365,16
16	55,30	55,10	55,20	110,98	110,92	110,950	34,29	81,80	349,66
17	55,36	54,83	55,10	110,94	110,95	110,945	34,08	81,30	347,52
18	55,21	54,96	55,09	110,95	111,76	111,355	35,19	83,90	358,84
19	55,24	55,00	55,12	111,25	110,90	111,075	32,98	78,60	336,30
20	55,30	55,17	55,24	110,05	110,82	110,435	33,04	78,80	336,91
21	54,86	55,07	54,97	110,85	111,04	110,945	34,55	82,40	352,31
22	55,24	54,93	55,09	110,93	111,25	111,090	34,16	81,60	348,34
23	54,90	54,85	54,88	111,06	111,13	111,095	32,19	76,80	328,25
24	55,34	54,94	55,14	110,66	110,85	110,755	33,14	79,10	337,93
25	55,16	54,89	55,03	111,00	111,30	111,150	33,29	79,40	339,46
26	55,11	55,06	55,09	111,24	110,81	111,025	34,73	82,80	354,15
27	55,23	54,94	55,09	110,65	111,13	110,890	34,56	82,40	352,41
28	55,03	54,95	54,99	110,92	111,02	110,970	32,96	78,60	336,10
29	55,18	55,22	55,20	111,14	111,08	111,110	32,89	78,40	335,38
30	55,21	55,08	55,15	110,40	110,41	110,405	32,75	77,60	333,96

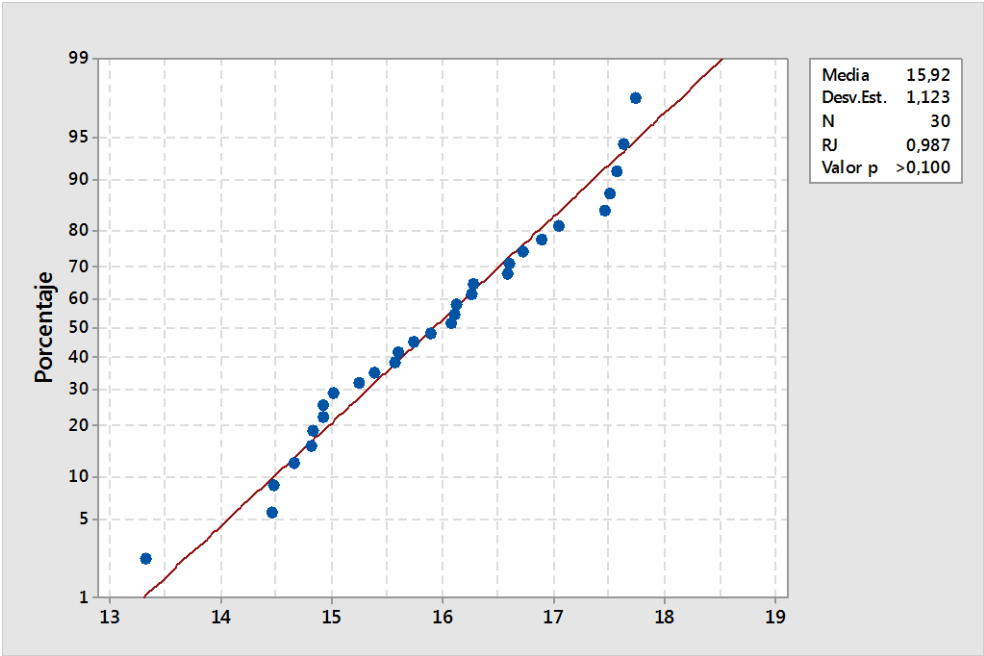
DATOS COMPLETOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA 0,6A/C 50%Ag-28

Espécimen	Diámetro (mm)		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)		Altura promedio (mm)	Esfuerzo		
							(MPa)	(KN)	(kg/cm ²)
1	55,28	55,27	55,28	111,18	111,14	111,160	22,92	54,90	233,72
2	55,11	55,25	55,18	111,33	111,17	111,250	23,24	55,60	236,98
3	54,77	55,19	54,98	111,29	111,45	111,370	22,14	53,00	225,77
4	55,11	55,37	55,24	111,53	111,38	111,455	21,24	50,80	216,59
5	55,36	55,33	55,35	110,55	110,83	110,690	21,38	51,20	218,02
6	55,23	55,01	55,12	111,39	111,44	111,415	20,42	48,90	208,23
7	55,18	55,17	55,18	111,29	111,22	111,255	20,10	48,10	204,96
8	55,26	55,06	55,16	111,18	111,32	111,250	22,39	53,60	228,31
9	55,30	55,01	55,16	111,26	111,20	111,230	23,30	55,80	237,59
10	55,38	54,99	55,19	110,85	111,10	110,975	21,55	51,60	219,75
11	55,29	55,09	55,19	111,35	111,27	111,310	21,54	51,60	219,65
12	55,07	55,44	55,26	111,11	111,24	111,175	23,85	57,10	243,20
13	55,11	55,27	55,19	111,20	110,96	111,080	20,65	49,40	210,57
14	55,38	55,08	55,23	111,05	110,83	110,940	21,61	51,70	220,36
15	55,22	55,09	55,16	111,09	110,99	111,040	23,68	56,70	241,47
16	55,44	55,08	55,26	110,98	110,90	110,940	23,75	56,80	242,18
17	55,22	55,15	55,19	111,13	111,10	111,115	20,13	48,20	205,27
18	54,95	55,18	55,07	110,87	110,74	110,805	23,56	56,40	240,25
19	55,23	55,08	55,16	111,02	111,11	111,065	20,77	49,70	211,80
20	55,20	55,08	55,14	111,26	111,30	111,280	19,91	47,70	203,03
21	54,81	55,36	55,09	111,22	111,34	111,280	21,81	52,20	222,40
22	55,23	55,18	55,21	111,40	111,36	111,380	22,87	54,80	233,21
23	55,13	55,35	55,24	110,91	110,81	110,860	22,42	53,60	228,62
24	55,17	55,24	55,21	111,30	111,28	111,290	21,71	52,00	221,38
25	54,87	55,20	55,04	111,28	110,99	111,135	22,84	54,60	232,90
26	55,20	55,44	55,32	111,07	111,35	111,210	23,39	56,00	238,51
27	55,13	55,17	55,15	110,88	111,04	110,960	20,39	48,80	207,92
28	55,14	55,22	55,18	111,54	111,51	111,525	21,21	50,80	216,28
29	55,23	55,11	55,17	111,48	111,34	111,410	23,32	55,80	237,80
30	55,13	55,01	55,07	111,50	111,45	111,475	22,31	53,40	227,50

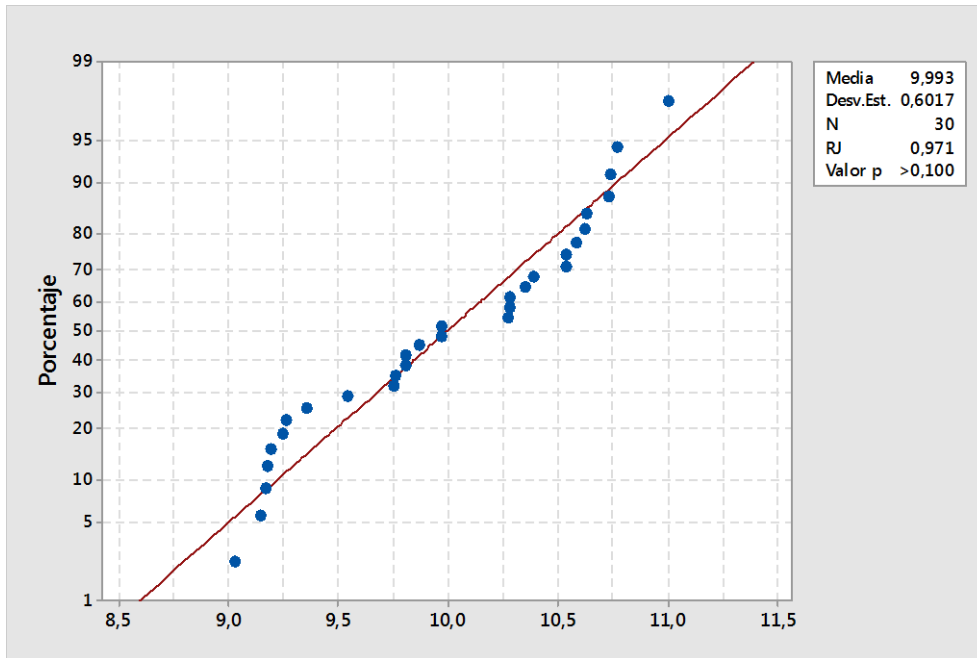
Apéndice 3. Análisis de normalidad para cada mezcla



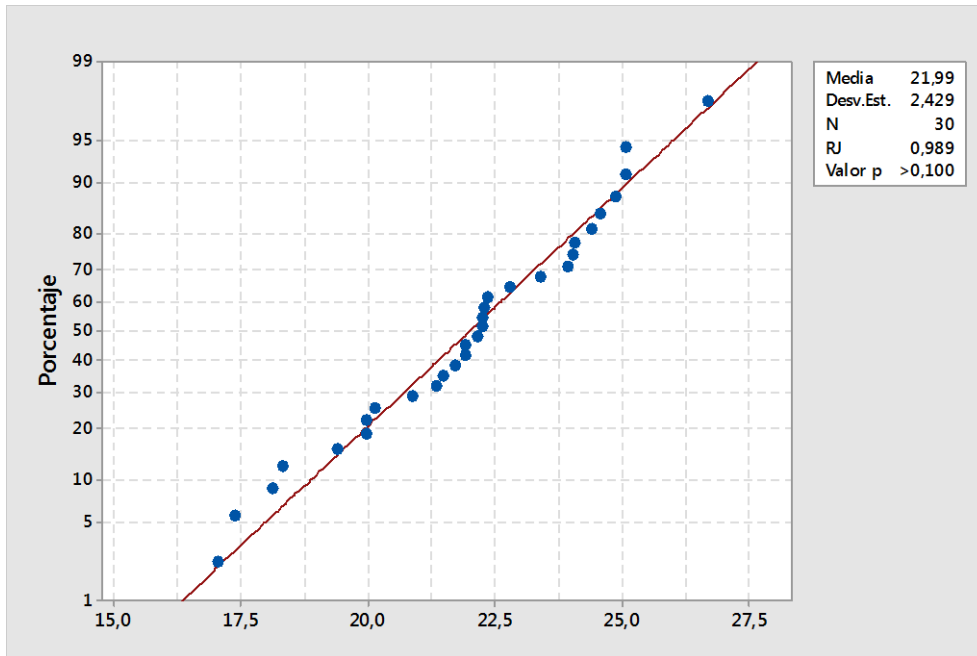
Grafica de normalidad para la mezcla 0,4A/C 20%Ag-7



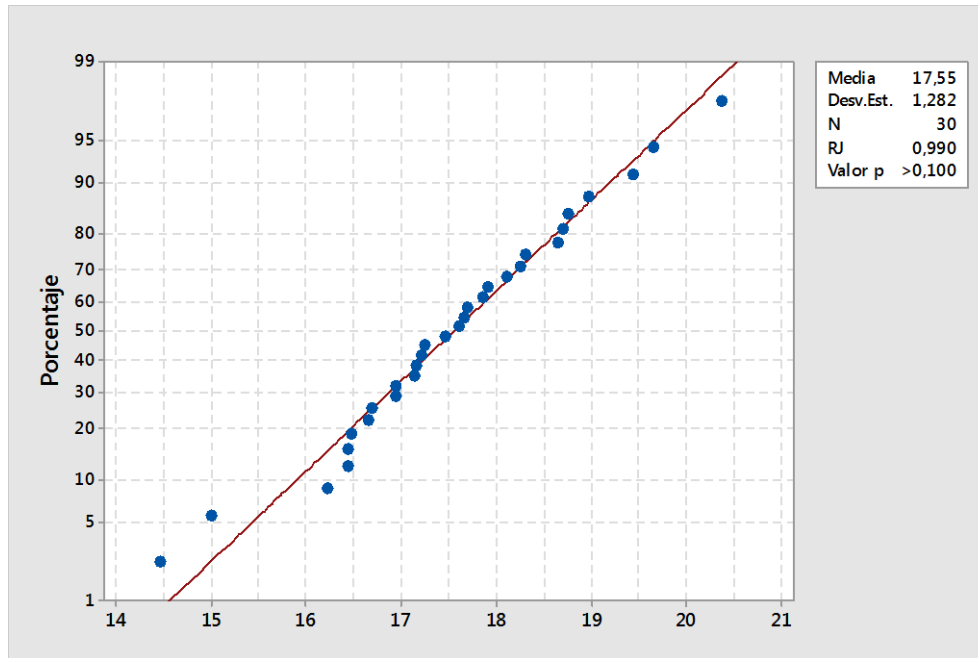
Grafica de normalidad para la mezcla 0,5A/C 20%Ag-7



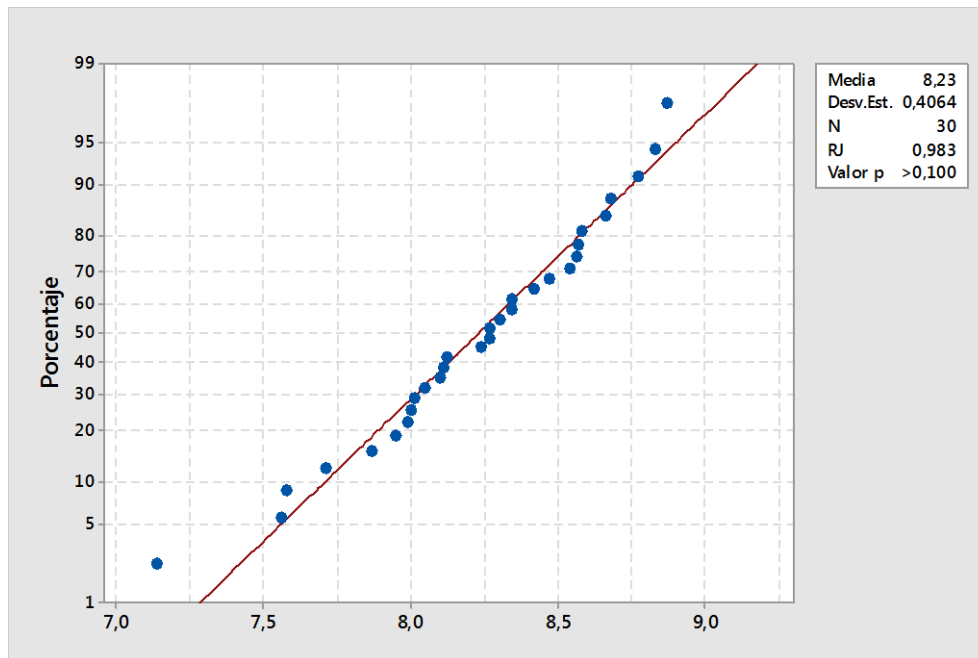
Grafica de normalidad para la mezcla 0,6A/C 20%Ag-7



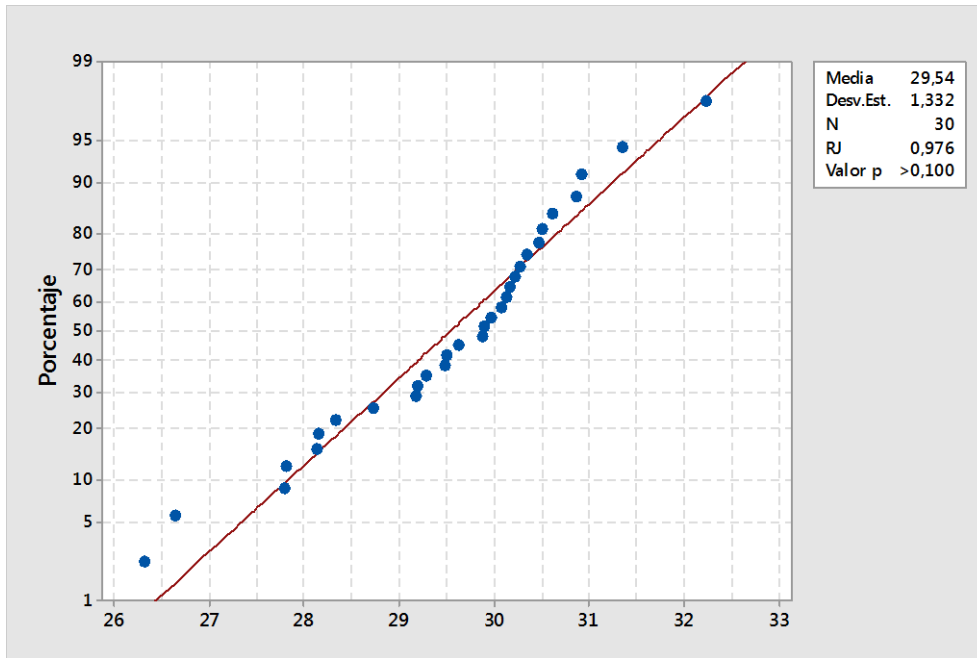
Grafica de normalidad para la mezcla 0,4A/C 30%Ag-7



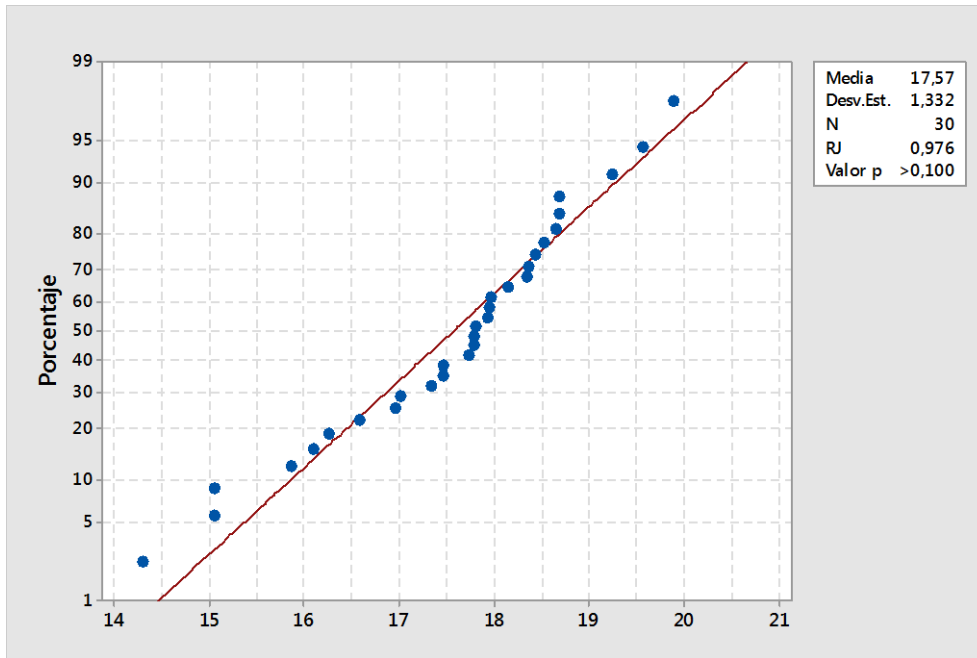
Grafica de normalidad para la mezcla 0,5A/C 30%Ag-7



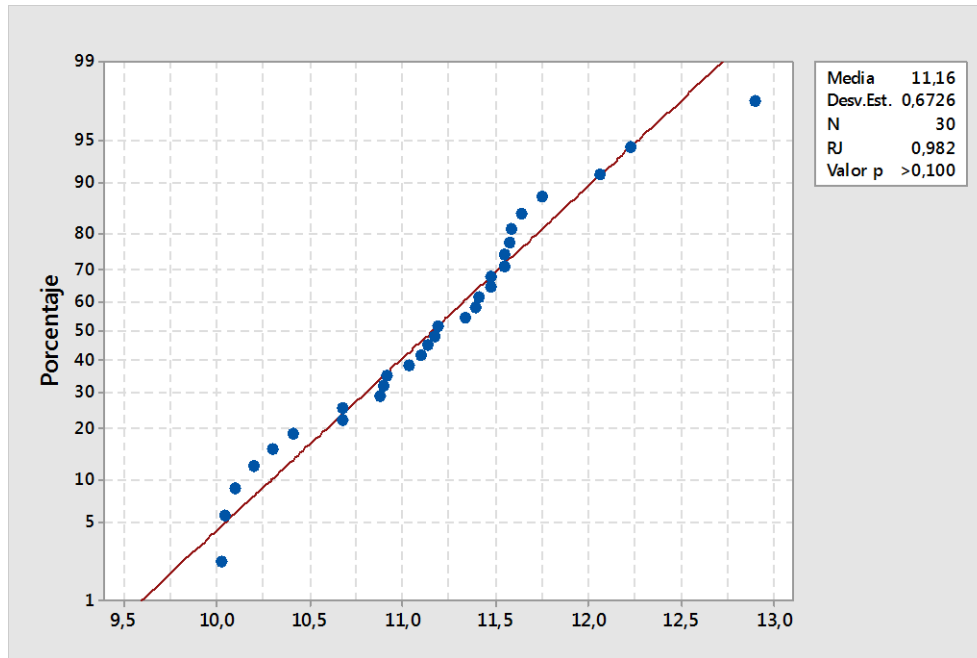
Grafica de normalidad para la mezcla 0,6A/C 30%Ag-7



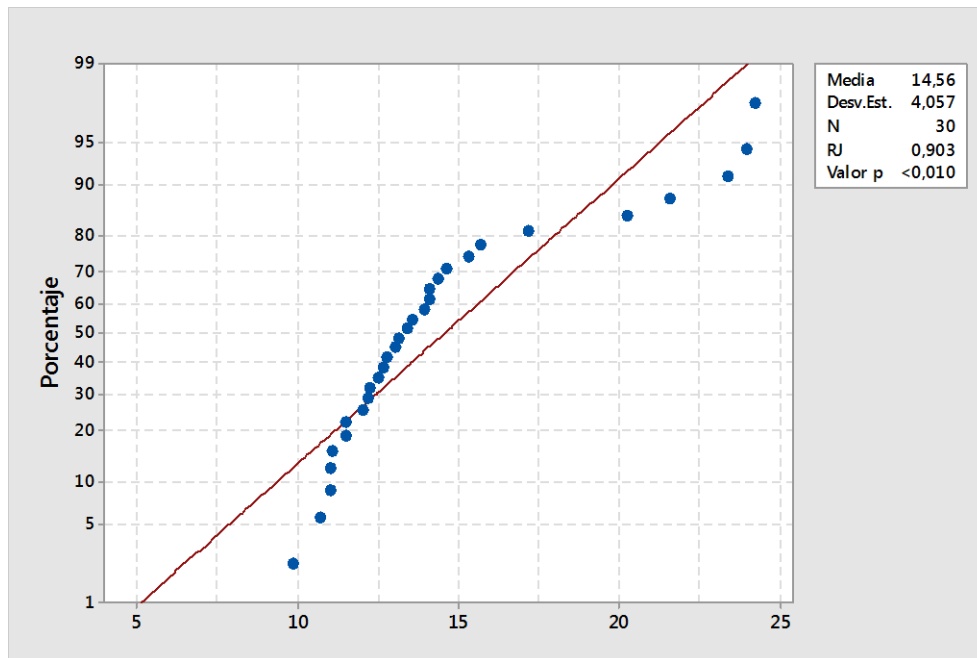
Grafica de normalidad para la mezcla 0,4A/C 40%Ag-7



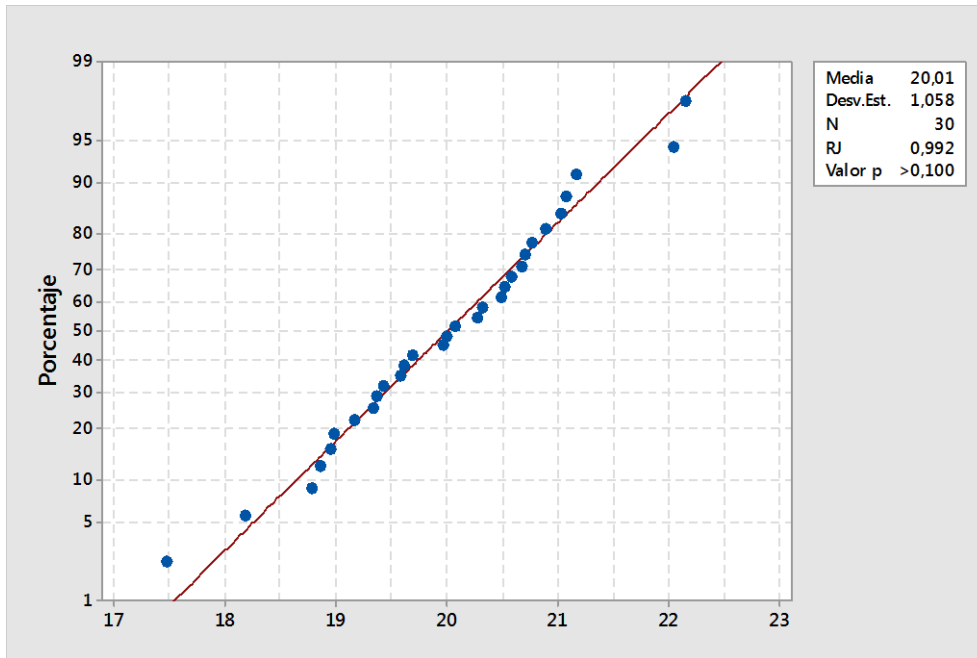
Grafica de normalidad para la mezcla 0,5A/C 40%Ag-7



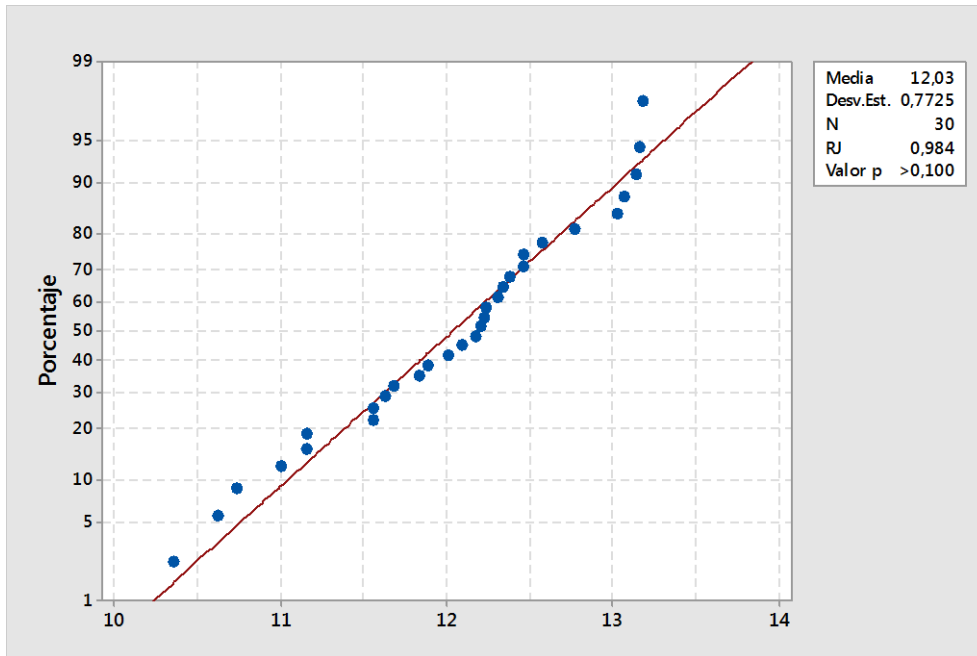
Grafica de normalidad para la mezcla 0,6A/C 40%Ag-7



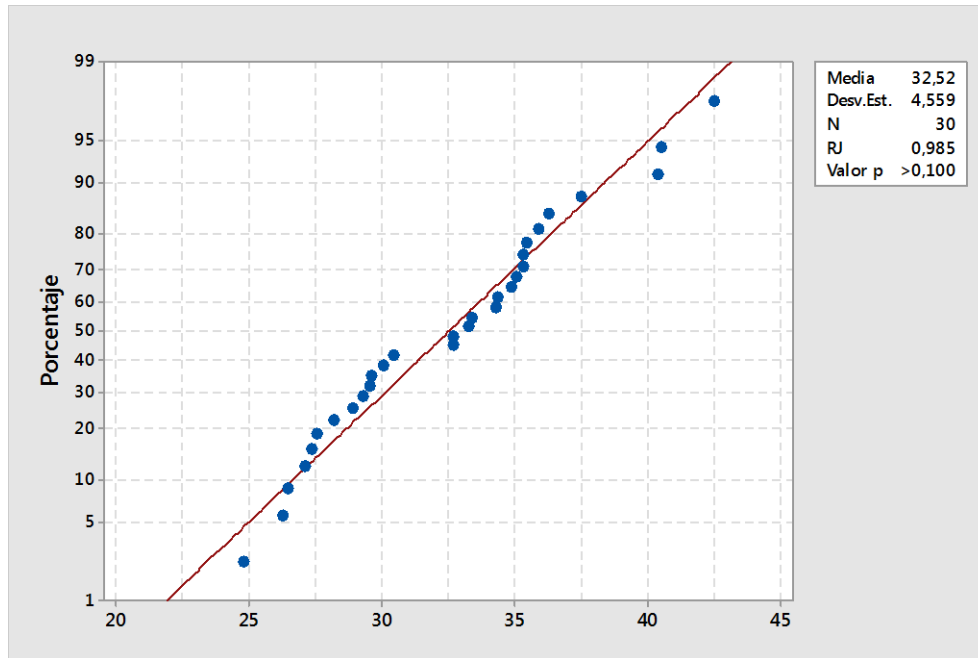
Grafica de normalidad para la mezcla 0,4A/C 50%Ag-7



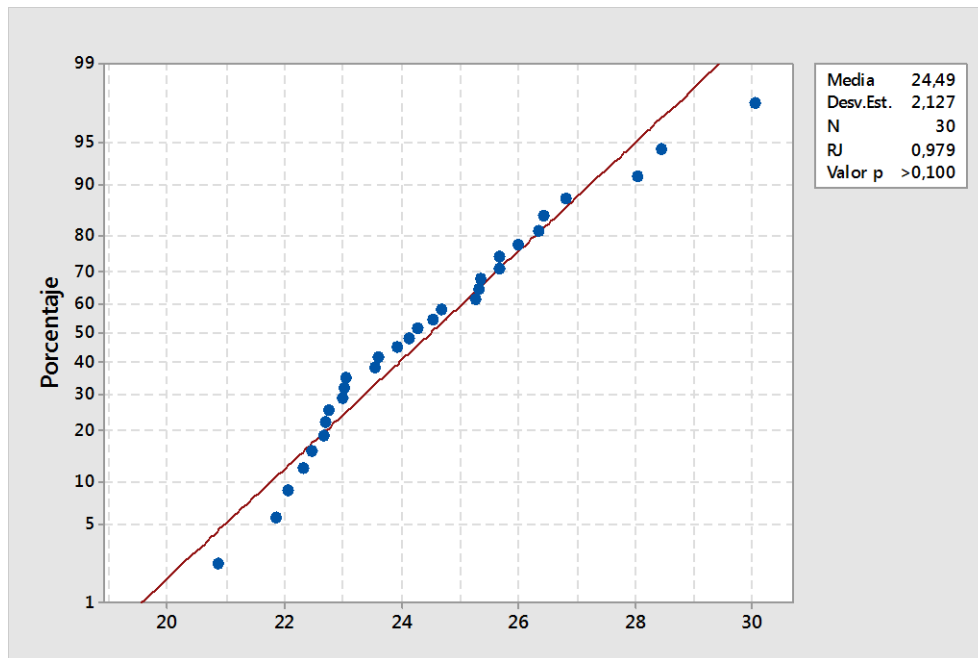
Grafica de normalidad para la mezcla 0,5A/C 50%Ag-7



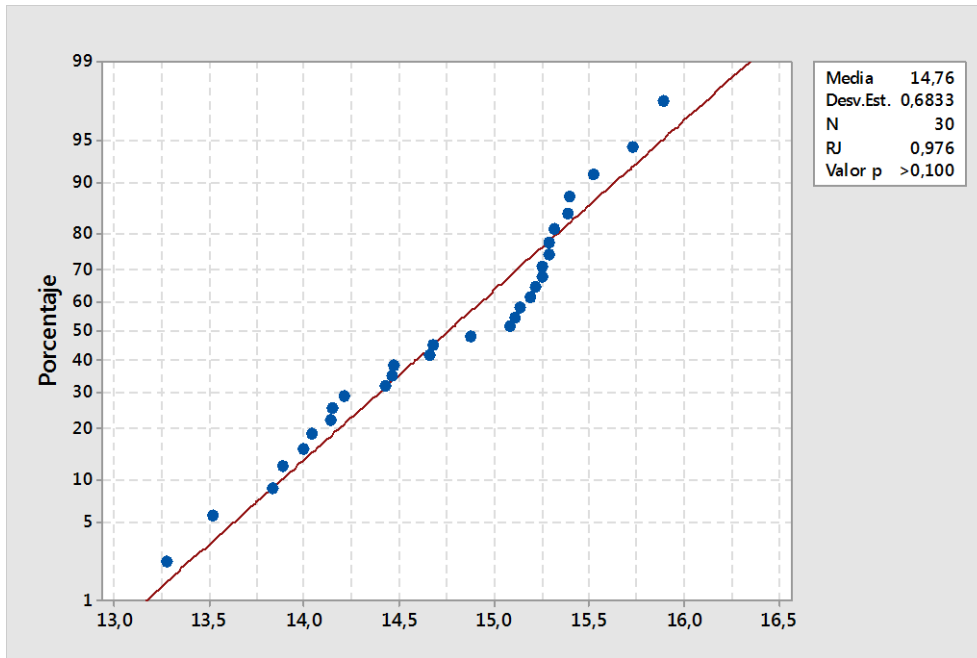
Grafica de normalidad para la mezcla 0,6A/C 50%Ag-7



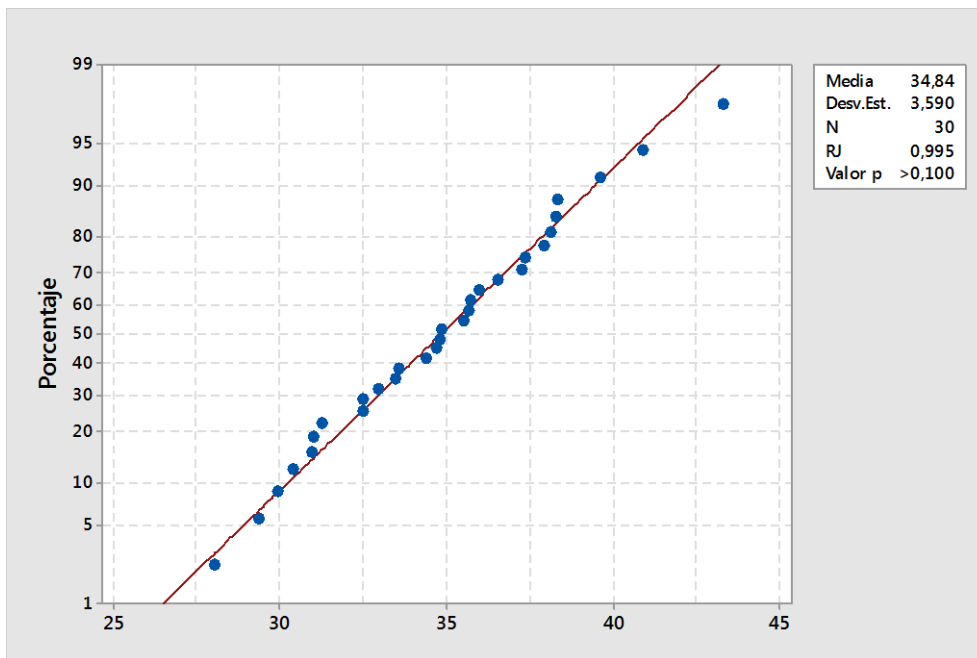
Grafica de normalidad para la mezcla 0,4A/C 20%Ag-28



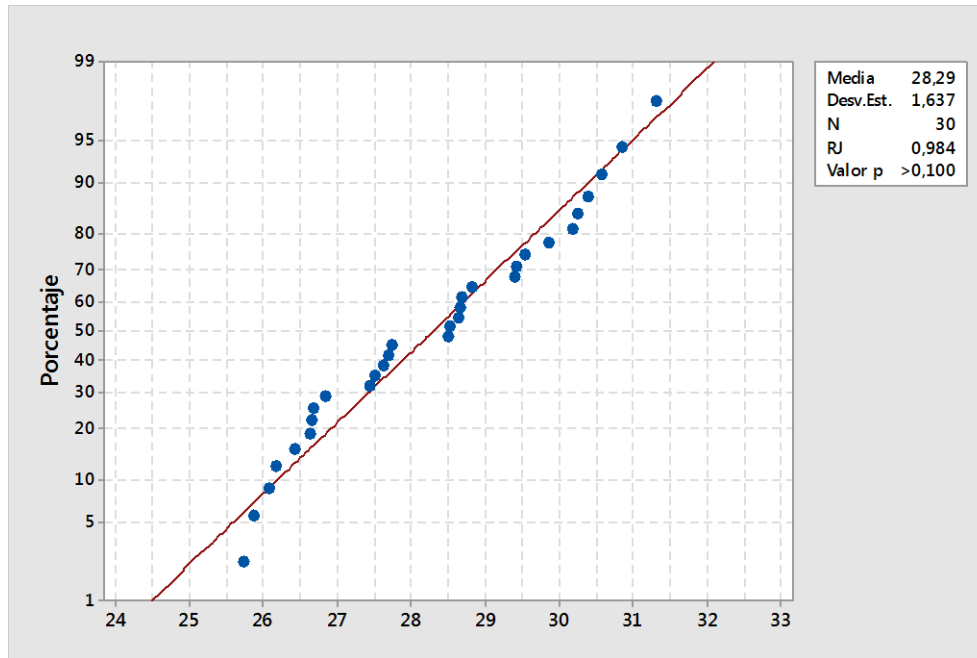
Grafica de normalidad para la mezcla 0,5A/C 20%Ag-28



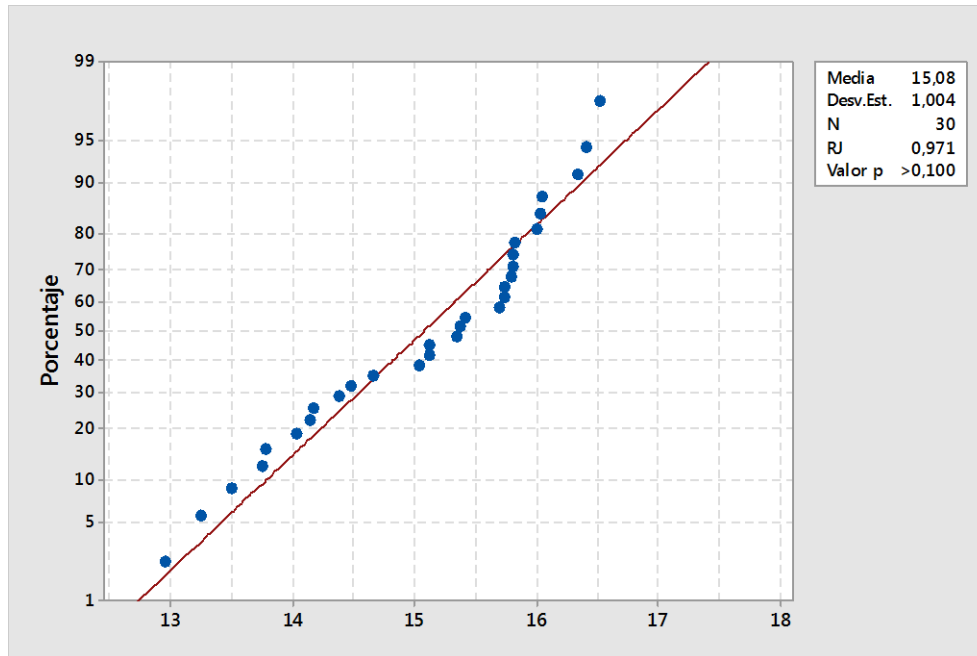
Grafica de normalidad para la mezcla 0,6A/C 20%Ag-28



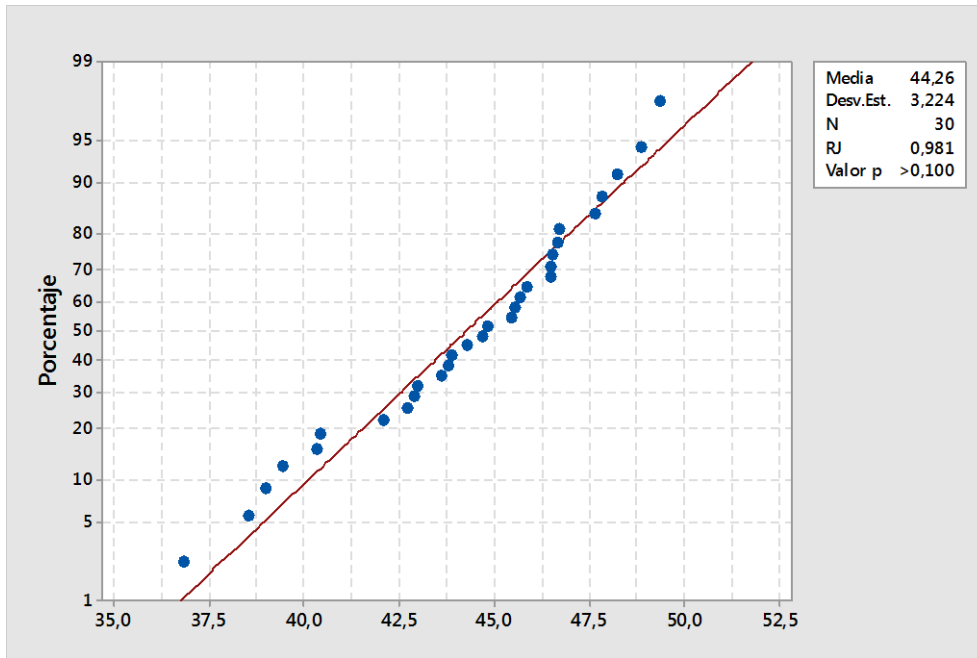
Grafica de normalidad para la mezcla 0,4A/C 30%Ag-28



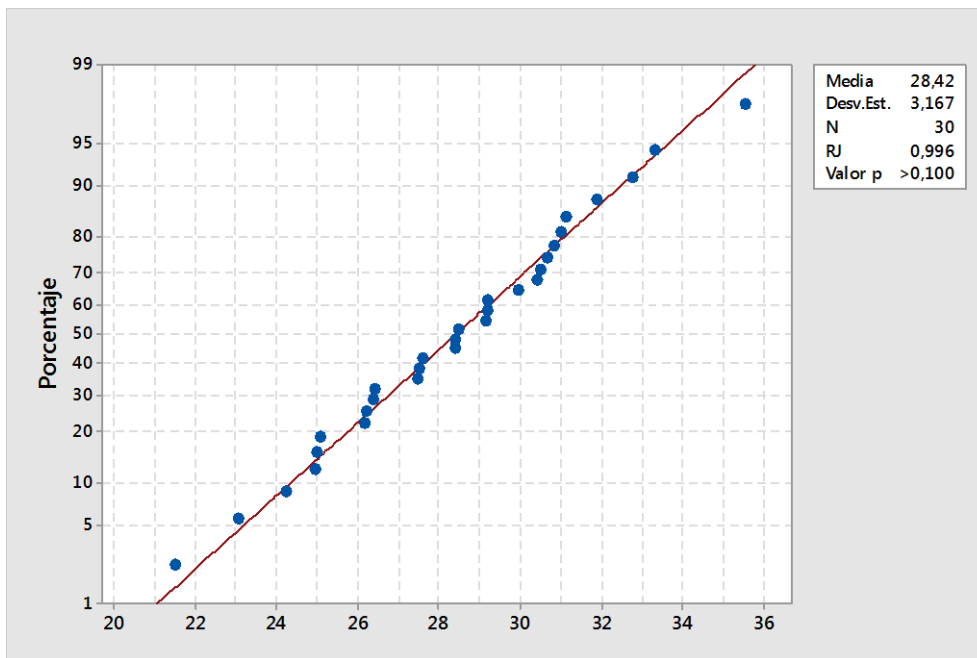
Grafica de normalidad para la mezcla 0,5A/C 30%Ag-28



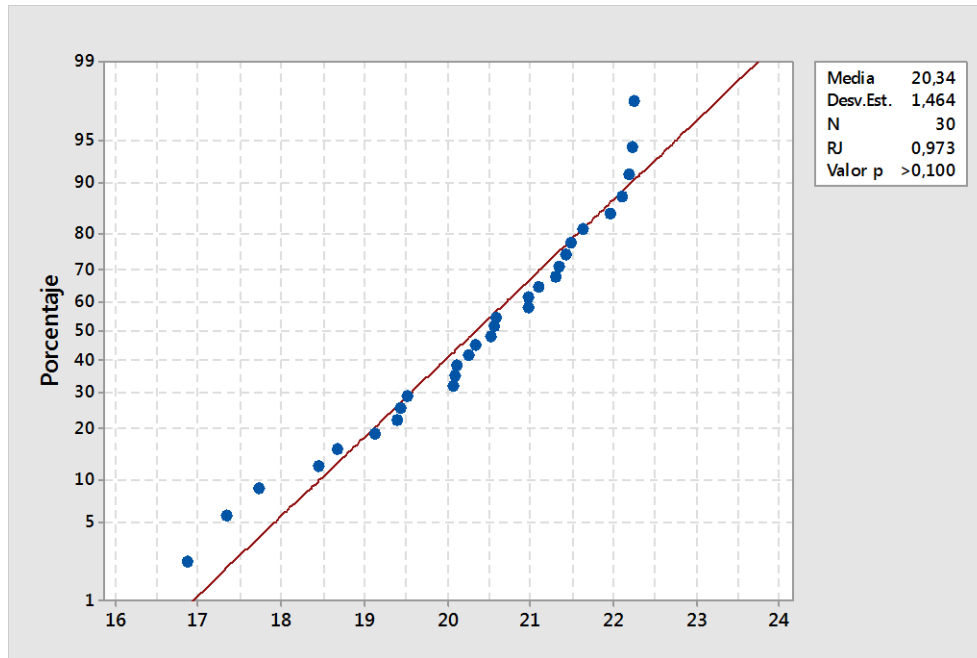
Grafica de normalidad para la mezcla 0,6A/C 30%Ag-28



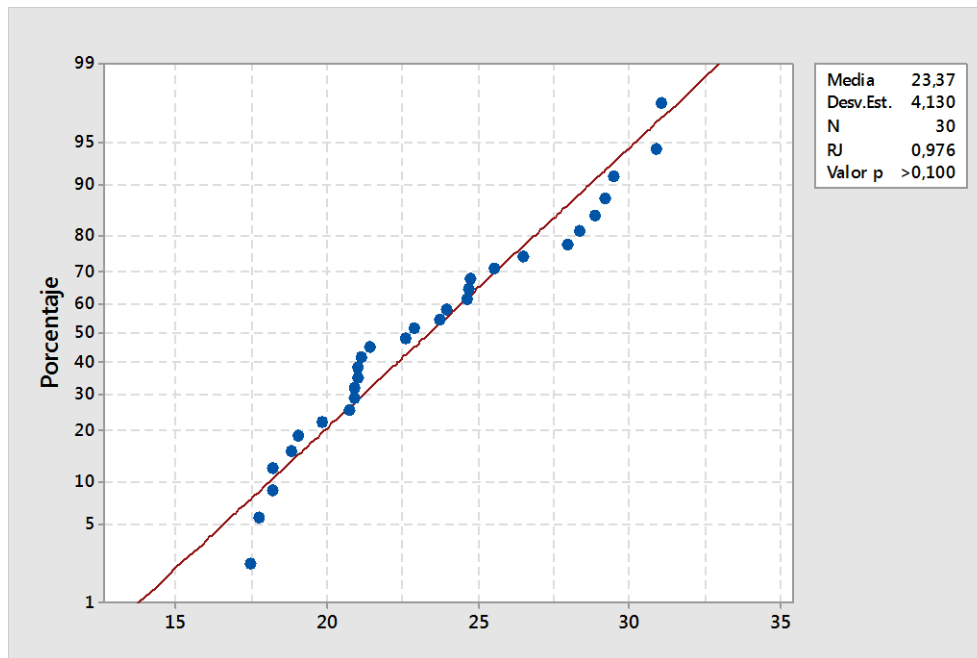
Grafica de normalidad para la mezcla 0,4A/C 40%Ag-28



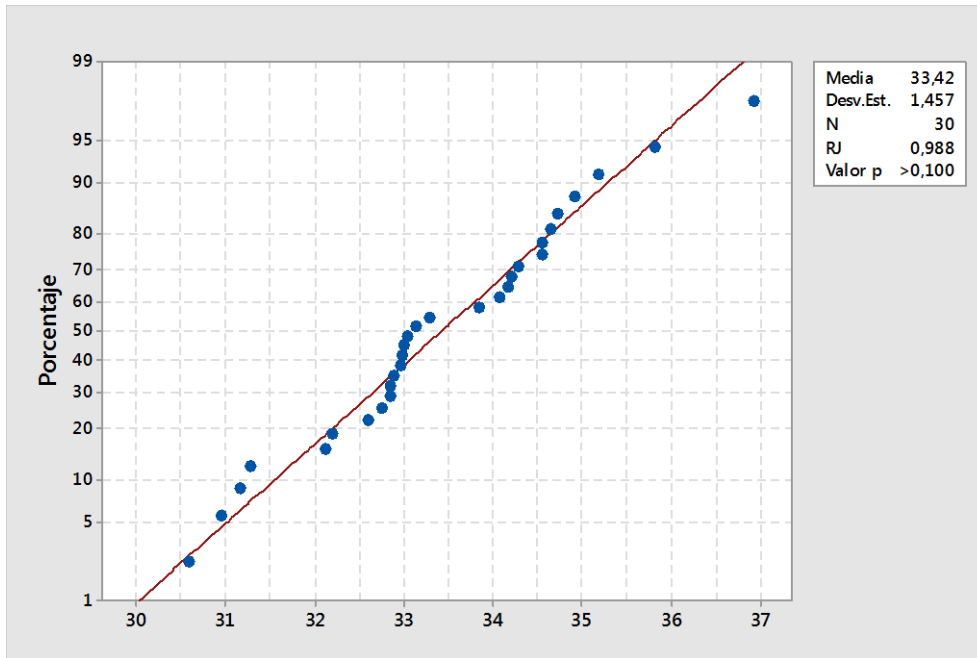
Grafica de normalidad para la mezcla 0,5A/C 40%Ag-28



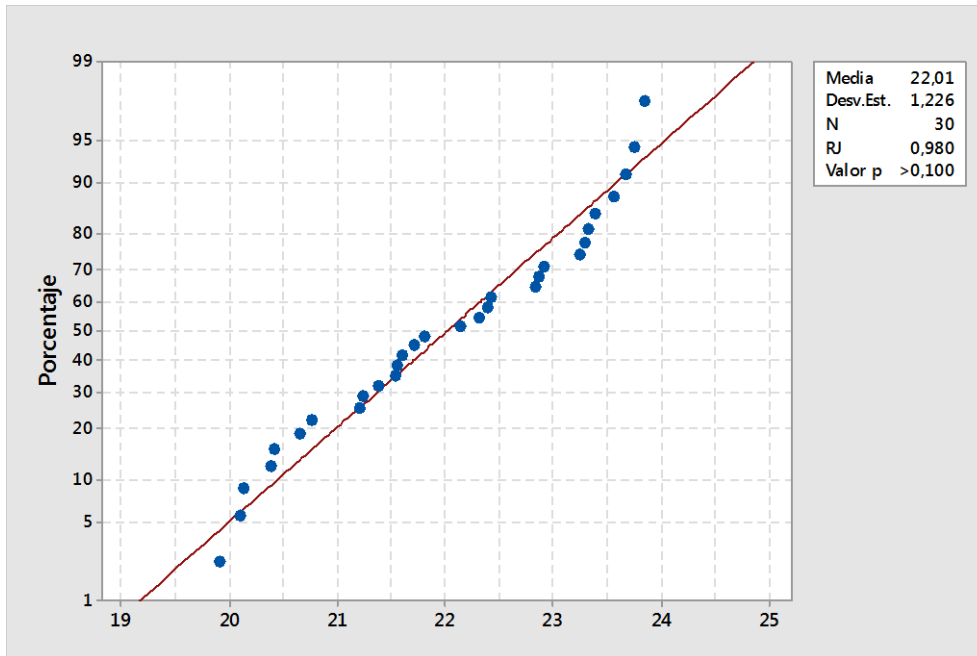
Grafica de normalidad para la mezcla 0,6A/C 40%Ag-28



Grafica de normalidad para la mezcla 0,4A/C 50%Ag-28

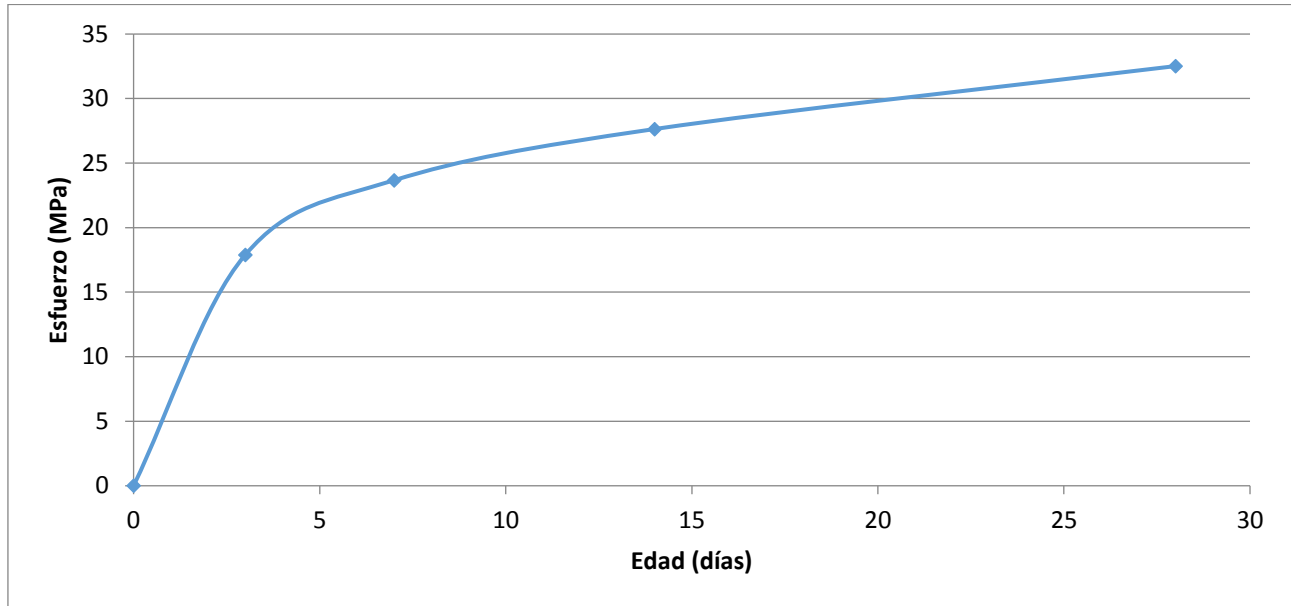


Grafica de normalidad para la mezcla 0,5A/C 50%Ag-28

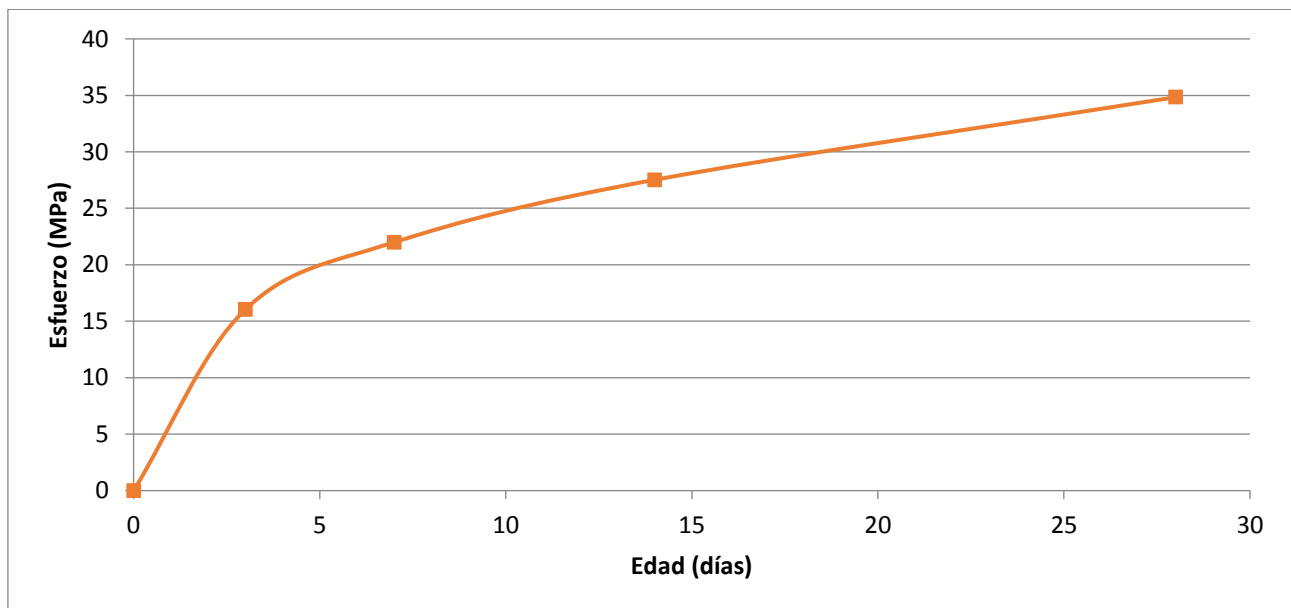


Grafica de normalidad para la mezcla 0,6A/C 50%Ag-28

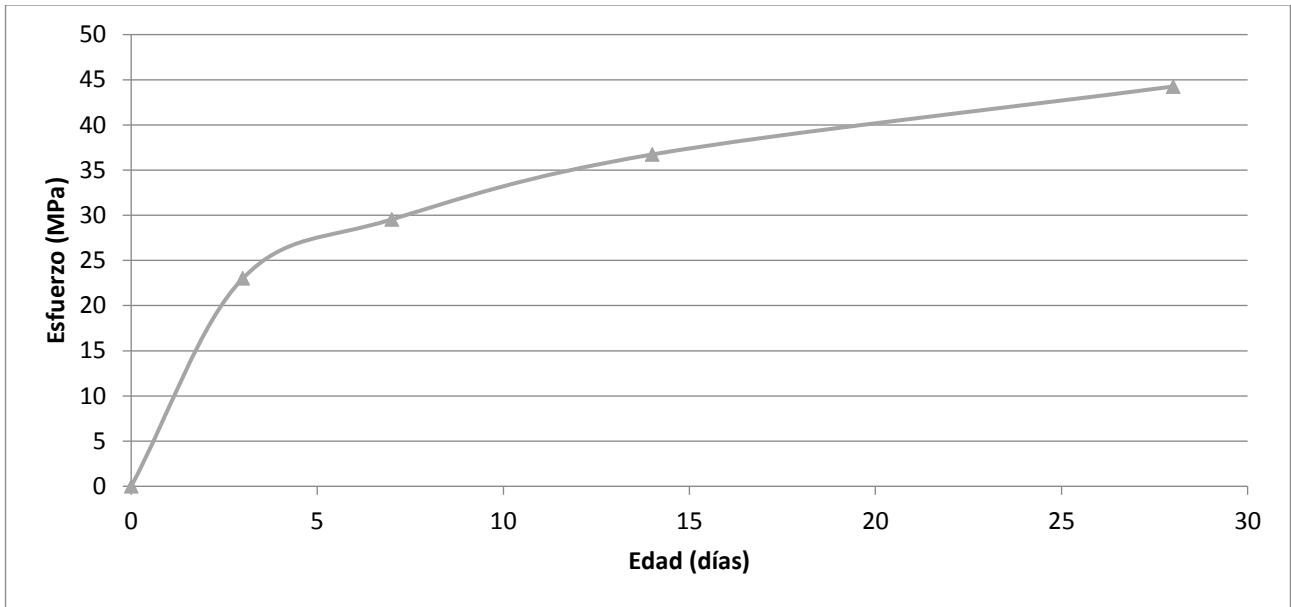
Apéndice 4. Desarrollo de resistencia



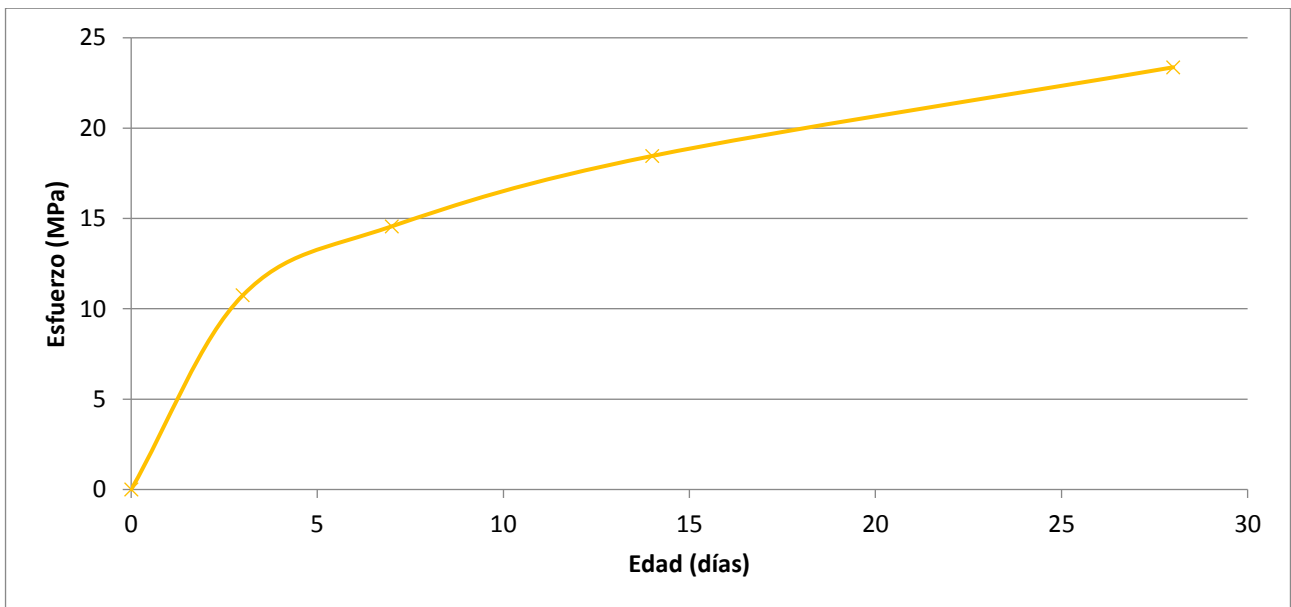
Resistencia a la compresión vs edad de falla con 0,4 relación agua-cemento y 20% de agregado.



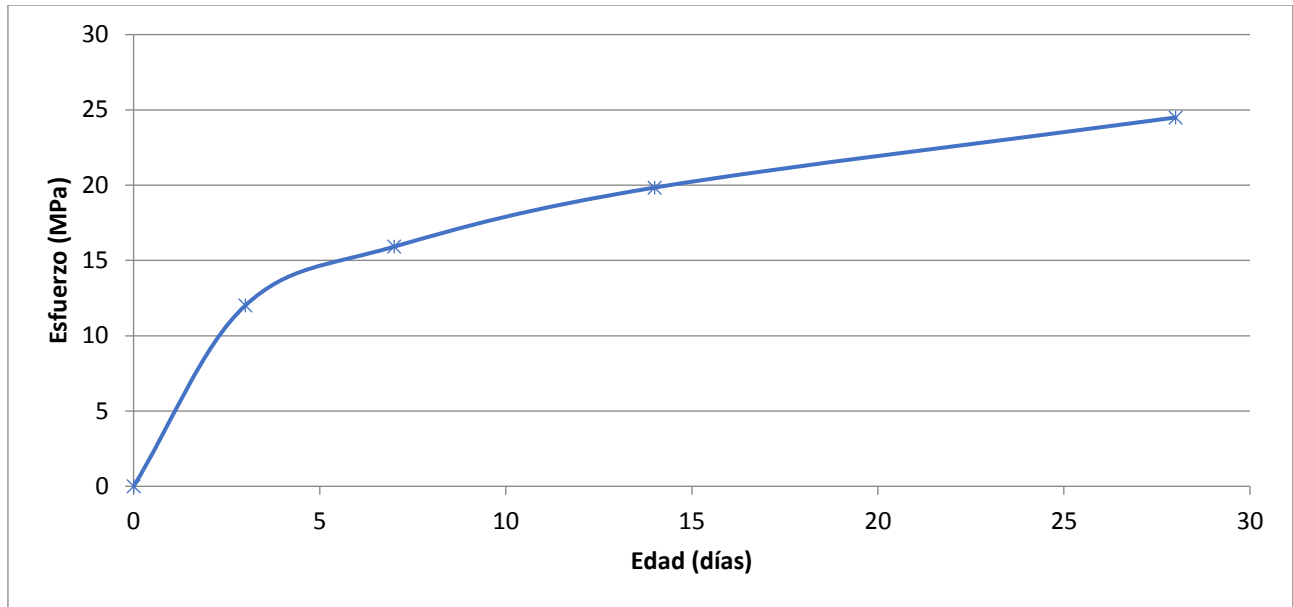
Resistencia a la compresión vs edad de falla con 0,4 relación agua-cemento y 30% de agregado.



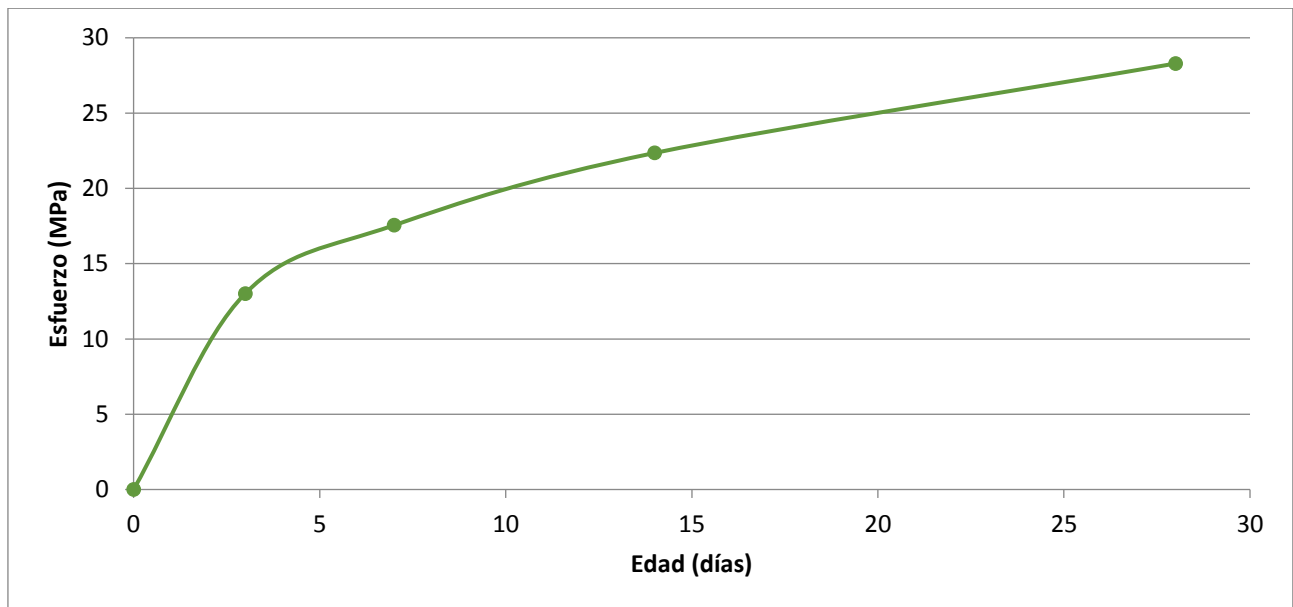
Resistencia a la compresión vs edad de falla con 0,4 relación agua-cemento y 40% de agregado.



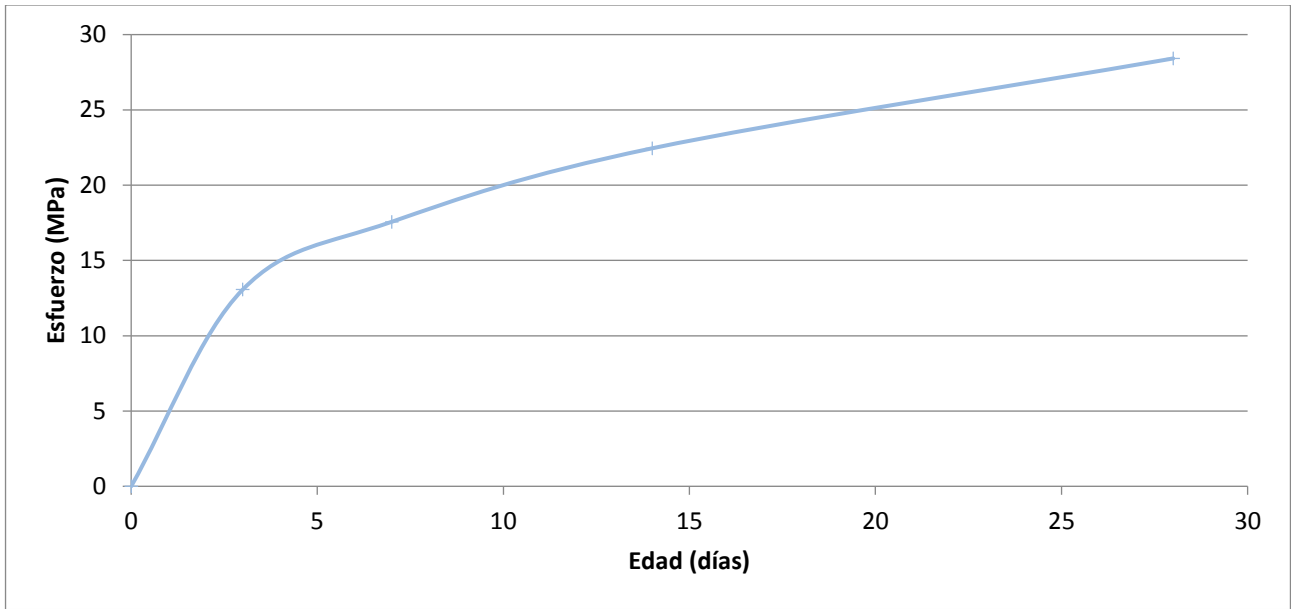
Resistencia a la compresión vs edad de falla con 0,4 relación agua-cemento y 50% de agregado.



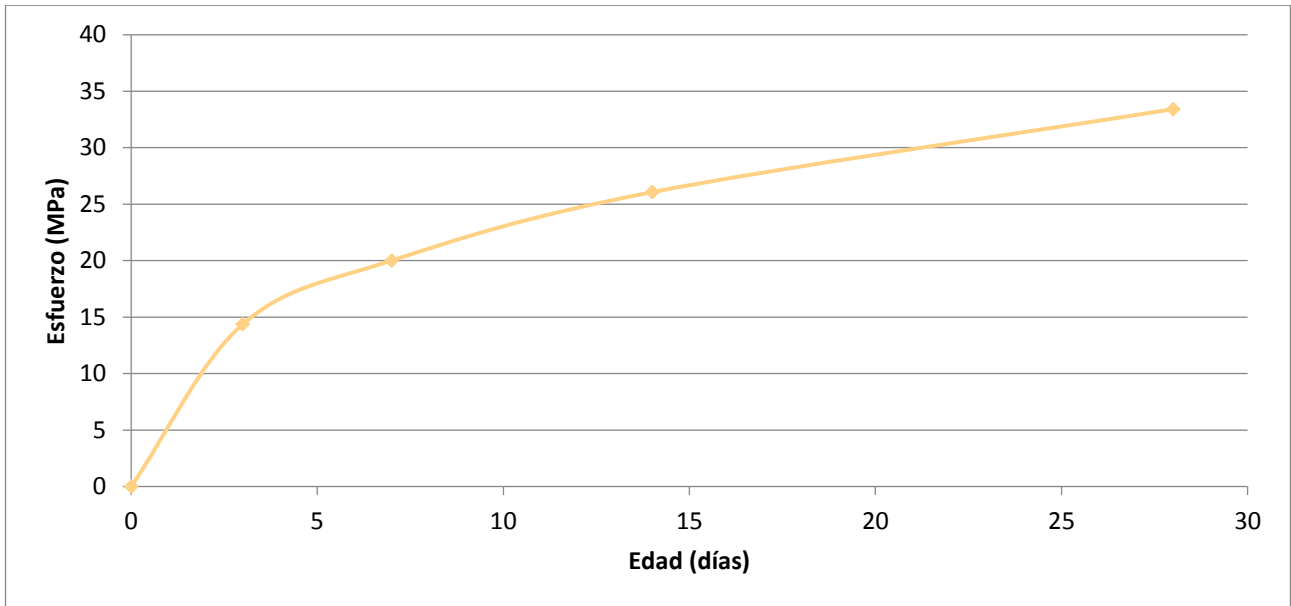
Resistencia a la compresión vs edad de falla con 0,5 relación agua-cemento y 20% de agregado.



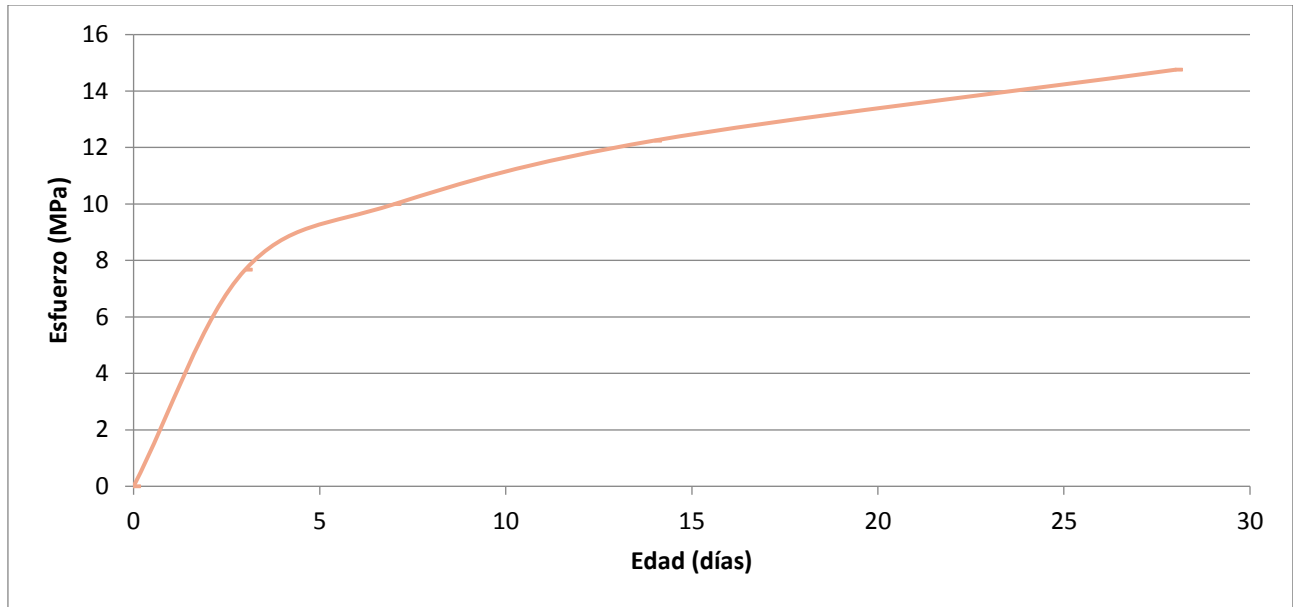
Resistencia a la compresión vs edad de falla con 0,5 relación agua-cemento y 30% de agregado.



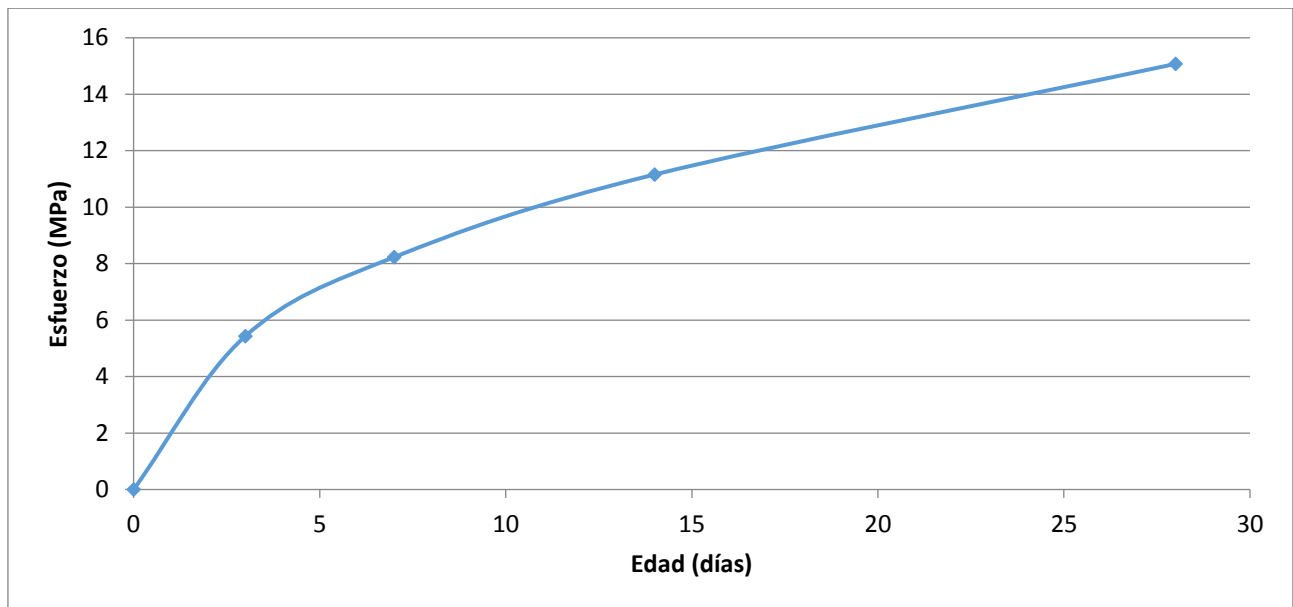
Resistencia a la compresión vs edad de falla con 0,5 relación agua-cemento y 40% de agregado.



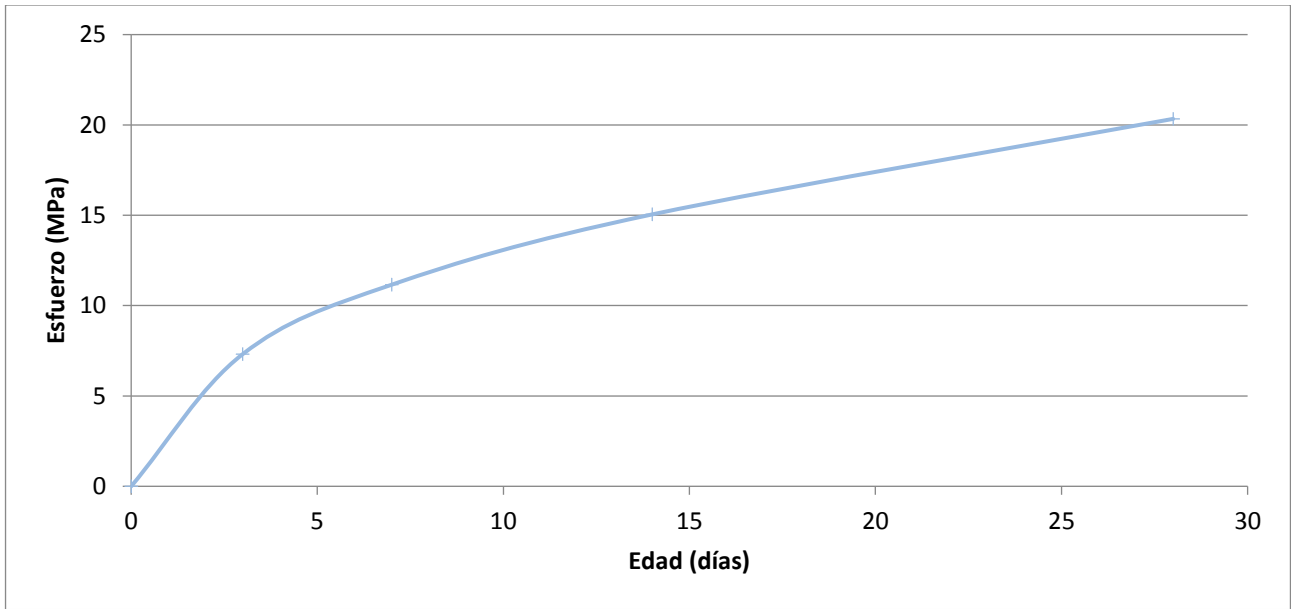
Resistencia a la compresión vs edad de falla con 0,5 relación agua-cemento y 50% de agregado.



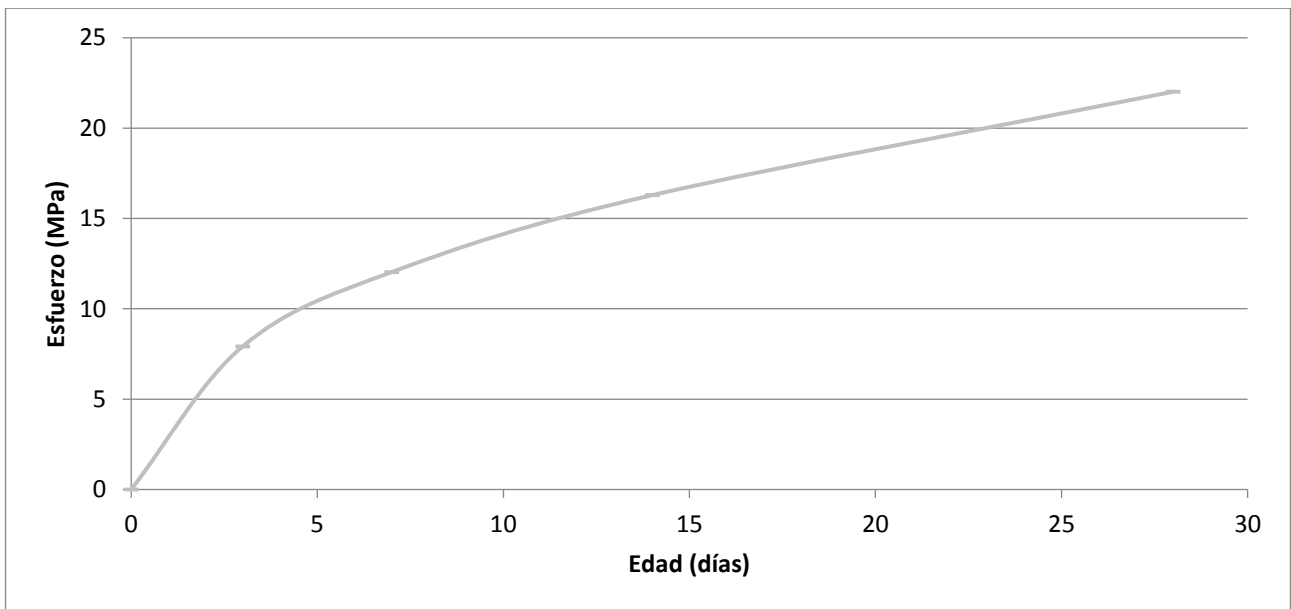
Resistencia a la compresión vs edad de falla con 0,6 relación agua-cemento y 20% de agregado.



Resistencia a la compresión vs edad de falla con 0,6 relación agua-cemento y 30% de agregado.



Resistencia a la compresión vs edad de falla con 0,6 relación agua-cemento y 40% de agregado.



Resistencia a la compresión vs edad de falla con 0,6 relación agua-cemento y 50% de agregado.

Anexos

1. Ficha técnica del cemento de uso general (UG)

Cemento Fuerte

El Cemento Holcim Fuerte es el recomendado para preparar concretos y morteros de uso general



Cemento hidráulico para Construcción General

Tipo MM/C (C-P)-28

RTCR 479:2015

Producido en:

Holcim Costa Rica, Aguacaliente de Cartago

Presentación:

Bolsas 25 kg, bolsas 50 kg, granel

Clasificación arancelaria: 25.23.90.00.00

Planta de Cemento Cartago con un sistema de gestión certificado según normas ISO 9001:2008 Gestión de Calidad e ISO 14001:2004 Gestión Ambiental.

Producto Certificado por INTECO para el Uso de la Marca de Conformidad de Producto INTECO, con el Reglamento Nacional de Costa Rica RTCR 479.2015.

DEFINICIÓN

El Cemento Holcim Fuerte cumple con el Reglamento Técnico de Costa Rica RTCR 479:2015 (decreto 39414-MEIC-S del 4 de enero 2016) como cemento tipo MM/C (C-P)-28. Asimismo puede llegar a cumplir con la norma ASTM C 1157 para el cemento Tipo GU.

El Cemento Holcim FUERTE es obtenido por la molienda conjunta y uniforme de Clinker tipo Portland, y minerales naturales (Caliza de alta ley y Puzolana), en proporciones que van del 36% al 55% en peso del cemento.

El Cemento Holcim FUERTE es el recomendado para preparar concretos y morteros de uso general, que no requieran alta resistencia inicial. Su contenido controlado de C_3A no mayor al 8% provee un moderado calor de hidratación lo cual favorece la disminución de agrietamiento superficial por contracción

plástica, cuando se controlan adecuadamente los parámetros de curado.

La inclusión de Caliza Holcim de alta ley, le confiere mejores atributos en cuanto a plasticidad en estado fresco de las mezclas y reduce el requerimiento de agua para alcanzar los parámetros requeridos de trabajabilidad.

La inclusión de Puzolana Holcim en el Cemento Holcim FUERTE, genera concretos más densos y de mayor durabilidad, cuyas características los hacen moderadamente resistentes a la acción de los de sulfatos.

La Puzolana Holcim utilizada en el Cemento Holcim FUERTE es natural; clasificación N según norma ASTM C 618.

La Puzolana Holcim, es de origen volcánico, con un alto contenido de sílice ($SiO_2 > 80\%$) ideal para producir la reacción puzolánica, donde el sílice reacciona con la cal $Ca(OH)_2$ producto de la hidratación del cemento, generando más silicatos responsables del desarrollo sostenido de resistencias.

La Puzolana Holcim es importante por varias razones:

- ▶ Su reacción química consume la cal sobrante del proceso de hidratación. Esta cal es vulnerable a disolverse y reaccionar en presencia de agua y ácidos, de tal forma que reduciendo este residuo de cal se obtiene un efecto positivo en la resistencia y durabilidad del concreto.
- ▶ Los silicatos de calcio resultantes de la reacción puzolánica actúan como relleno de los poros capilares, generando concretos poco permeables, lo que acentúa su durabilidad y resistencia ante el ataque de sulfatos sustancias nocivas para el concreto.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

TABLA 1: ANÁLISIS QUÍMICOS DEL CEMENTO

	CEMENTO HOLCIM FUERTE	RTCR 479: 2015	ASTM C1157 GU
% Óxido de magnesio (MgO)	≤ 3.0	≤ 6.0	≤ 6.0
% Trióxido de azufre (SO ₃)	≤ 3.0	≤ 4.0	≤ 4.0

TABLA 2: COMPOSICIÓN DEL CEMENTO

	CEMENTO HOLCIM FUERTE	RTCR 479: 2015
Clinker	45-64	45-64
Adiciones minerales	36-55	36-55
Otros	0-5	0-5

TABLA 3: ANÁLISIS FÍSICOS DEL CEMENTO

		CEMENTO HOLCIM FUERTE	RTCR 479:2015	ASTUM C1157 GU
Contenido de aire del mortero INTE 06-11-04 (max. %)		12.0	12.0	12.0
Finura por permeabilidad (min. cm ² /g) INTE 06-11-06		-	-	-
Finura retenido en tamiz 0.045 mm INTE 06-11-10 (max. %)		-	-	-
Resistencia mínima a la compresión INTE 06-02-20	3 días	13	13	13
	7 días	20	20	20
	28 días	28	28	28
Tiempo de Fragua, minutos	Inicial mínimo INTE 06-11-05	45	45	45
	Final máximo INTE 06-11-05	420	420	420
Autoclave, cambio de longitud % máximo INTE 06-11-03	Expansión (máx.%)	0.80	0.80	0.80
	Contracción (máx.%)			0.80
Expansión en barras de mortero 14 días, % máximo ASTM C 1038		0,02	0,02	0,02
Falso fraguado, % mínimo ASTM C451		50	50	50

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

TABLA 4: REQUISITOS DE LOS COMPONENTES MINERALES

	PUZOLANA HOLCIM	REQUISITOS SEGÚN ASTM C 618
Contenido de minerales reactivos (SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃) mínimo %	80.0	70.0
% Trióxido de azufre (SO ₃) máximo %	2.0	4.0
Contenido de humedad (máximo %)	2.0	3.0
Pérdida a la ignición (máximo %)	10.0	10.0
Índice de actividad a 7 o 28 días (mínimo %)	75	75

PREPARACIÓN DEL CEMENTO

El Cemento Holcim FUERTE es un cemento con adición de minerales, que desarrolla altas resistencias finales y mejores desempeños de trabajabilidad, apto para construcciones en general. La incorporación de Puzolana Holcim genera resistencias moderadas al ataque de sulfatos.

El Cemento Holcim FUERTE se debe dosificar como todos los cementos, de acuerdo con un diseño de mezcla del concreto en el cual se considere la calidad de los agregados, generando concretos con mayor desarrollo de resistencias a largo plazo. El rendimiento en el concreto será acorde al diseño de mezcla del mismo.

El Cemento Holcim FUERTE es un cemento para uso generalizado en la construcción, de tal manera que puede ser utilizado para la confección de concretos de uso estructural o para sellos, concretos y morteros con menores requisitos de resistencia.

USOS RECOMENDADOS

Este cemento se considera apto para:

- ▶ Concretos de tipo estructural: vigas, columnas, cimientos
- ▶ Sellos, losas, aceras
- ▶ Reparaciones y remodelaciones
- ▶ Repellos de paredes
- ▶ Concretos de relleno de celdas
- ▶ Producción de elementos de mampostería
- ▶ Concretos premezclados
- ▶ Morteros y concretos secos pre-ensacados
- ▶ Lechadas de inyección
- ▶ Estructuras en presencia del ataque de sulfatos



RECOMENDACIONES

- ▶ Mantener un curado uniforme y sostenido
- ▶ Realizar el diseño de mezcla del concreto o del mortero que corresponda.
- ▶ Mantener buenas técnicas de aplicación y procesos constructivos adecuados.
- ▶ Mantener condiciones de almacenamiento adecuadas para el cemento, según lo indicado en los documentos de la PCA, ACI International Cap. 2 y ACI 304 sección 2.3.

CORRESPONDENCIA CON NORMATIVA INTERNACIONAL

Holcim (Costa Rica) ofrece a sus clientes una amplia variedad de cementos hidráulicos preparados para diferentes aplicaciones en mezclas de concreto, de acuerdo a los requisitos de sus clientes.

Dichos cementos están diseñados para cumplir con los requisitos de la legislación de Costa Rica, el Reglamento Técnico Nacional RTCR 479:2015

Para mayor información contactar al servicio al cliente 2205-2900

Visita nuestro sitio www.holcim.cr

 *Holcim Costa Rica*