

**COMPORTAMIENTO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
DEL CEMENTO P 35 PARA DIFERENTES ADICIONES DE ZEOLITA
*BEHAVIOR OF THE RESISTANCE TEST TO COMPRESSION OF CEMENT P
35 FOR DIFFERENT ADDITIONS OF ZEOLITA***

Autores: M.Sc. Ing. Lázaro Rodríguez Ortiz

Ing. Adiany Espinosa Gutiérrez

M.Sc. Ángela V. García Lara

Institución: Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

Correo electrónico: lazaro.62@unica.cu

RESUMEN

La necesidad del país de lograr máximo ahorro en el consumo de cemento usando 1 kg de cemento por kg de resistencia lleva a buscar diferentes alternativas con adiciones de materiales puzolánicos como la zeolita. La presente investigación mostró la posibilidad de elaboración de un nuevo diseño de mezcla de cemento Portland. Este nuevo diseño se consigue incorporando a la masa de cemento un porcentaje de una puzolana natural llamada zeolita. Los porcentajes de zeolita utilizados fueron el 10%, el 20 %, el 25%, el 30%, el 35% y el 40%, todos los resultados que se obtuvieron con estos diseños fueron comparados con un diseño denominado Patrón con 0% de zeolita. En las pruebas realizadas hasta el 30% se comprobó la eficacia de la zeolita como puzolana lo que presenta una nueva alternativa para la elaboración de cemento puzolánico a menor costo y con excelentes propiedades.

Palabras clave: Zeolita, Puzolanas, Adiciones, Ahorro de Cemento, Resistencia y Compresión.

ABSTRACT

The need for the country to achieve maximum savings in cement consumption using 1 kg of cement per kg of resistance leads to seeking alternatives with

additions of pozzolanic materials such as zeolite. This research shows the possibility of developing a new design mixing Portland cement. This new design is what gets incorporated into the cement mass percentage of a natural pozzolan called zeolite. The percentages of zeolite used were 10%, 20%, 25%, 30%, 35% and 40%, all results obtained with these designs were compared with a design called pattern with 0% zeolite. In tests up to 30% efficiency of the zeolite as pozzolan was found which presents a new alternative for the production of pozzolanic cement at lower cost and with excellent properties?

Keywords: Zeolite, Pozzolanic, Adission.

INTRODUCCIÓN

Las adiciones son materiales inorgánicos o puzolánicos que, finamente molidos, pueden ser añadidos en diferentes porcentajes en las mezclas de hormigón en el momento de su fabricación, con el fin de mejorar sus propiedades habituales. Dentro de las materias primas, el uso de adiciones juega un rol fundamental para disminuir el denominado «factor Clinker» en la fabricación de cemento portland. Esto generó un cambio importante en las normativas de cemento a nivel mundial, incorporándose los cementos con adiciones.

Cada tipo de cemento está indicado para usos determinados, también las condiciones ambientales determinan el tipo y clase del cemento afectando a la durabilidad de los hormigones. Los tipos y denominaciones de los cementos y sus componentes están normalizados y sujetos a estrictas condiciones. Los conglomerantes más importantes son los cementos que de manera general pueden clasificarse en cementos Portland y cementos especiales. Los cementos Portland son conglomerantes hidráulicos que se obtienen por pulverización del Clinker y sin más adición que la piedra de yeso natural.

Cemento Portland se define como el producto artificial resultante de calcinar hasta un principio de fusión mezclas rigurosamente homogéneas de caliza y arcilla obteniéndose un cuerpo llamado Clinker constituido por silicatos y aluminatos anhidros el cual hay que pulverizar junto con el yeso, en proporción menor del 3% para retrasar su fraguado. El uso de adiciones minerales en la

producción de hormigón es una alternativa tecnológicamente posible. Sin embargo, su utilización requiere altos estándares de aseguramiento y garantía de calidad similares a los del cemento. Sin dudas, en la actualidad, esto solo puede ser logrado por unos pocos productores de hormigón, siempre y cuando estas adiciones minerales resulten garantizadas y cumplan los requerimientos de calidad exigidos por las normas de referencia.

La utilización de la zeolita en hormigones puede ser un catalizador ácido sólido y puede funcionar como un ácido fuerte (aunque se mantiene como un sólido) cuando la hidratación ha sustituido un hidrógeno, por un electrón de valencia adicional, o un intercambio iza electrónico con el aluminio, por lo que se ha determinado para esta investigación utilizar la zeolita en los morteros de cemento.

Partimos del supuesto que si se utiliza cemento con adiciones de zeolita en proporciones adecuadas y en ensayos realizados se logran resistencias aceptables para la producción de mezclas de hormigón se puede reducir el índice de consumo de cemento y obtener significativos ahorros de cemento y bajar los costos en la producción del hormigón premezclado.

La utilización de zeolita como aditivo en la producción de cementos constituye una de las medidas de sustentabilidad económica y ambiental de la industria cementera cubana, que ha tenido que postergarse continuamente debido a dificultades económicas y al hecho de que no existe una cultura entre los constructores en el empleo de estos tipos de cementos por lo que no resulta competitiva para el país, en comparación con los tipos de cementos tradicionalmente empleados.

El objetivo general de la investigación es utilizar cemento con adiciones de zeolita en el ensayo de resistencia del cemento para lograr menor índice de consumo de cemento en el hormigón premezclado de la planta Girón de la provincia de Ciego de Ávila. Partimos del supuesto que si se utiliza cemento con adiciones de zeolita en proporciones adecuadas y en ensayos realizados se logran resistencias aceptables para la producción de mezclas de hormigón se puede reducir el índice de consumo de cemento y obtener significativos

ahorros de cemento y bajar los costos en la producción del hormigón premezclado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales usados en el experimento son la zeolita, cemento p35, arena normalizada y agua de amasado.

Zeolita

La puzolana zeolítica (zeolita natural) utilizada fue extraída del yacimiento Tasajeras procedente de la industria de San Juan de los Yeras en Ranchuelo en la provincia de Villa Clara. La valoración del comportamiento mecánico del material ante las condiciones específicas de uso es considerado como criterio definitorio. La zeolita del yacimiento Tasajeras es analizada de acuerdo a: Método del IETCC, Norma ASTM C 311/97, Norma ASTM C 593/95.

Arena Normalizada

La arena que se utiliza es la Arena Normalizada CEN. Es una arena natural, silíceas, preferentemente de granos redondeados y cuyo contenido en sílice sea al menos del 98 %. La misma cumplirá con la composición granulométrica y el contenido de humedad especificado en la NC 506: 2013 «*Cemento Hidráulico. Método de Ensayo. Determinación de la Resistencia mecánica*».

En 2007 el CTDMC dentro del Proyecto Científico Técnico «Soluciones para la arena normalizada en Cuba», actualizó la información geológica de este yacimiento y realizó un estudio del comportamiento estadístico de los ensayos en morteros de cemento realizados con una arena normalizada certificada según la norma EN 196-1 conforme ISO 679 de importación y la arena del yacimiento Sigüanea cumplió con los requisitos establecidos y por lo tanto se puede continuar usando como arena Normalizada para los ensayos de calidad del cemento. Se recomendó que eran necesarios una serie de recursos materiales y humanos, así como medidas organizativas en el yacimiento y en la planta procesadora de dicha arena.

El agua de amasado para mortero de cemento más zeolita

El agua de amasado interviene en las reacciones de hidratación del cemento. La cantidad de la misma debe ser la estricta necesaria, pues la sobrante que

no interviene en la hidratación del cemento se evaporará y creará huecos en el hormigón disminuyendo la resistencia del mismo. Durante el fraguado y primer endurecimiento del hormigón se añade el agua de curado para evitar la desecación y mejorar la hidratación del cemento. El agua para el amasado y curado del hormigón cumplirá estrictamente con todos los requerimientos establecidos en la norma cubana NC 353:2004 "Agua para el amasado y curado de los hormigones y los morteros – Especificaciones". En esta investigación el agua utilizada en el laboratorio de la ENIA en la preparación del mortero cemento + zeolita fue agua destilada para todos los ensayos realizados.

Cemento:

El cemento utilizado es Portland P-35 procedente de la fábrica de Sigüaney de la provincia de Sancti Spíritus y las especificaciones fueron tomadas de la NC 95: 2011 *Cemento Portland. Especificaciones*.

Ensayos que se realizan al cemento-zeolita

Peso Específico del Cemento

Se define como el peso del cemento en gramos dividido por el volumen en cm^3 . En general permite identificar si se trata de un cemento Portland puro o si es mezclado. Su utilidad está en relación con el diseño y cálculo de las mezclas de hormigón. Una cierta cantidad de cemento se mezcla con keroseno de alta pureza u otro solvente que no reaccione con el cemento. Se determina el volumen de líquido que es desplazado por la cantidad de cemento establecida en la norma. El ensayo se realiza en local climatizado, pues las variaciones en la temperatura influyen en los resultados. Los valores están entre 3,12-3,16 g/cm^3 para los cementos puros e inferiores entre 2,88-3,10 g/cm^3 para los cementos mezclados.

Determinación de la resistencia mecánica del cemento

La determinación de la resistencia mecánica de los cementos constituye uno de los parámetros fundamentales para la determinación de su calidad. En general en las normas cubanas la calidad del cemento se identifica por la letra P, PP,

PZ y otros , seguida del valor de resistencia mínima a los 28 días en Kgf/cm² o MPa , según el cemento sea cemento P 45 ; P 35, PP 25 , PZ 25.

El método comprende la determinación de las resistencias a compresión y opcionalmente a flexión de probetas prismáticas, de dimensiones 40 mm x 40 mm x 160 mm. Las probetas se fabrican con un mortero plástico, compuesto de una parte de cemento y tres partes de arena normalizada (1:3), en masa y con una relación agua/cemento de 0,50. La arena normalizada CEN puede ser suministrada en fracciones separadas o mezclada en bolsas de plástico con un contenido de 1 350 g ± 5 g; la naturaleza del material utilizado para las bolsas, no afectará a los resultados de los ensayos de resistencias.

Después de moldeadas las probetas, se conservan en atmósfera húmeda durante 24 h, se desmoldan, se sumergen en agua hasta el momento de los ensayos de resistencia, generalmente 3, 7 y 28 días, en dependencia del tipo de cemento. A la edad requerida, las probetas se retiran de su medio de conservación húmedo, se rompen en dos mitades a flexión y cada mitad se somete al ensayo de resistencia a compresión. El método utilizado se establece en la NC 506:2013 Cemento hidráulico. Método de ensayo.

Determinación de la resistencia mecánica.

Equipos utilizados para la confección del mortero cemento-zeolita

Amasadora consta esencialmente de:

1. Recipiente de acero inoxidable: de capacidad aproximada de 5 L, con la forma y dimensiones de la Figura 7 equipado de manera que pueda ser fijado firmemente al bastidor de la amasadora durante el amasado y que la altura del recipiente con relación a la pala y por consiguiente, la separación entre la pala y recipiente pueda ser ajustada y mantenida con precisión.
2. Pala de acero inoxidable: de forma, medidas y tolerancias de la Figura 1, accionada por un motor eléctrico de velocidades controladas, con movimientos de rotación sobre su propio eje y con un movimiento planetario alrededor del eje del recipiente. Los dos sentidos de rotación son opuestos y la relación entre las dos velocidades no debe ser un número entero.



Figura 1. Pala de acero inoxidable

Moldes

- El molde dispondrá de tres compartimentos horizontales, de forma que se puedan preparar simultáneamente tres probetas prismáticas de 40 mm x 40 mm de sección transversal y 160 mm de longitud. Un ejemplo de molde se da en la Figura 2.
- El molde deberá ser de acero, con un espesor de pared, como mínimo, de 10 mm. La dureza superficial Vickers de todas las caras interiores deberá ser, como mínimo, HV 200
- Las piezas del molde estarán provistas de marcas de identificación para facilitar su montaje y asegurar el cumplimiento de las tolerancias especificadas. Piezas similares de distintos moldes no son intercambiables.



Figura 2. Ejemplo de molde

Compactadora

- Debe componerse esencialmente de una mesa rectangular unida rígidamente por dos brazos ligeros a un eje de rotación, que dista 800 mm del centro de la mesa. La mesa debe estar provista en el centro de su cara inferior de un martinete de superficie redondeada. Debajo del martinete debe existir un pequeño yunque, cuya cara superior es plana. En posición de reposo la perpendicular común que pasa por el punto de contacto del martinete y yunque, debe ser vertical. Cuando el martinete reposa sobre el yunque, la cara superior de la mesa debe estar en posición horizontal, de forma que el nivel de cualquiera de las cuatro esquinas no se desvíe del nivel medio en más de 1,0 mm. La mesa tendrá la cara superior mecanizada y las medidas serán iguales o mayores que las de la placa base del molde. El sistema de fijación deberá proporcionar al molde una sujeción firme a la mesa.
- La masa compuesta por la mesa, incluidos los brazos, el molde vacío, la tolva y el sistema de fijación, será de $20,0 \text{ kg} \pm 0,5 \text{ kg}$.
- El martinete y yunque serán de acero templado de una dureza Vickers mínima de HV 500. La curvatura de la cara del martinete será aproximadamente $0,01 \text{ mm}^{-1}$.
- Durante el funcionamiento, la mesa es levantada por una leva que le permite una caída libre desde una altura de $15,0 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$., entre el martinete y el yunque.



Figura 3. Ejemplo de compactadora

Máquina de ensayo de resistencia a flexión

La máquina de ensayo para la determinación de la resistencia a flexión será capaz de aplicar cargas de hasta 10 kN, con una precisión de $\pm 1,0 \%$ de la carga registrada en las 4/5 partes superiores de la escala de medida utilizada y con una velocidad de carga de $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$. La máquina estará provista de un dispositivo de flexión que dispone de dos rodillos de apoyo de acero de $10,0 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ de diámetro, distantes uno de otro $100,0 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, y un tercer rodillo de carga de acero del mismo diámetro que los anteriores y equidistante de los otros dos. La longitud «a» de estos rodillos estará comprendida entre 45 mm y 50 mm.

Los tres planos verticales que pasan por los ejes de los tres rodillos, deberán ser paralelos, y permanecer paralelos, equidistantes y perpendiculares a la dirección de la probeta durante el ensayo. Uno de los rodillos de apoyo y el de carga, podrán oscilar ligeramente para permitir una distribución uniforme de la carga sobre el ancho de la probeta, sin someterla a esfuerzos de torsión.

Máquina de ensayo de resistencia a compresión

La máquina de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión tendrá una capacidad adecuada al ensayo. Tendrá en las 4/5 partes superiores de la escala de medida utilizada, una precisión de $\pm 1,0 \%$ de la carga registrada y una velocidad de carga de $2\ 400 \text{ N/s} \pm 200 \text{ N/s}$. Estará provista de un dispositivo indicador, construido de forma que el valor indicado en el momento de la rotura de la probeta, permanezca fijo después de que la máquina de ensayo haya sido descargada. Esto se puede conseguir utilizando un indicador de máxima en un manómetro o con una memoria en un dispositivo digital. Las máquinas de ensayo en las que la carga se regula manualmente, estarán provistas de un dispositivo de medida que controle la velocidad de carga. El eje vertical del pistón debe coincidir con el eje vertical de la máquina y durante la puesta en carga, la dirección del movimiento del pistón deberá ser paralela al eje vertical de la máquina. Además, la resultante de las fuerzas pasará por el centro de la probeta. La superficie del plato inferior de la máquina

será perpendicular al eje de la misma y permanecerá perpendicular durante la puesta en carga.

Los platos de la máquina de ensayo serán de acero de una dureza Vickers de al menos HV 600 o preferiblemente de carburo de tungsteno. Estos platos serán como mínimo de 10 mm de espesor de 40,0 mm \pm 0,1 mm de anchura y de 40,0 mm \pm 0,1 mm de longitud. La tolerancia de planicidad de la totalidad de la superficie de contacto de los platos con la probeta será de 0,01 mm. La textura superficial estará comprendida entre N 3 y N 6.



Figura 4. Máquina de ensayo de resistencia a compresión

Métodos de ensayo de certificación de la arena normalizada CEN

Durante el período inicial de producción, de tres meses como mínimo, serán tomadas por el organismo de certificación tres muestras independientes de la arena para la que se ha solicitado la certificación como arena normalizada CEN, para los ensayos de certificación. Se realizarán ensayos comparativos con la arena CEN de Referencia con cada una de las tres muestras, utilizando tres cementos distintos, elegidos para este fin por el organismo de certificación. Cuando todos los ensayos comparativos, a la edad de 28 días, nos llevan a la aceptación de la muestra respectiva, la arena propuesta es aceptada como arena normalizada CEN.

Criterio de Aceptación: la NC 506: 2013 "*Cemento Hidráulico. Método de Ensayo. Determinación de la Resistencia mecánica*" está basada en un criterio

de aceptación tal, que una arena cuya resistencia a compresión a 28 días difiera alrededor del 5 % de la obtenida con la arena de referencia CEN tiene una probabilidad de al menos el 95 % de ser rechazada.

Diseños de mezclas por el método de O'Reilly, V.A

El método de O'Reilly es uno de los métodos más completos que existe basado en la determinación correcta de las Características de los Áridos. La experiencia en Cuba y los demás países donde se aplica, nos brinda elementos para decidir que este método, y no otro, es el que será utilizado en otras investigaciones para realizar los diseños de hormigón con zeolita. El mismo es conocido en toda América, España, Francia, Estados Unidos, África, Vietnam, etc. Es considerado el método idóneo para lograr una máxima compacidad.

El método de O'Reilly, para diseño de hormigones cuenta con los siguientes pasos:

1. Determinación experimental de la proporción óptima entre los áridos.
2. Determinación de la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia requerida de la mezcla de hormigón.
3. Determinación de la característica (A) de los áridos.
4. Determinación de la cantidad de cemento.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Cada año, los investigadores publican novedosos resultados que reflejan la versatilidad del uso que ofrecen las zeolitas naturales, sin que esto signifique un límite definitivo en sus aplicaciones. Una de las áreas más importantes de aplicación es la industria de la construcción, con todo el ciclo que esta abarca; desde la fabricación de cementos, morteros y hormigones hasta la restauración y remediación de edificios y estructuras dañadas. El carácter puzolánico de las zeolitas naturales ha sido demostrado por numerosas autoridades científicas en las dos últimas décadas. Su comportamiento como puzolanas activas demuestra que el empleo de zeolitas, en las mezclas de morteros, provoca el aumento de resistencias mecánicas a edades cercanas a los 28 días.

Resultados de los Ensayos Realizados

Los materiales componentes serán controlados para ver si cumplen con las especificaciones y los requerimientos de las normas. Se parte de considerar que existe un control adecuado de la producción por parte del productor de los materiales en el lugar donde los mismos son producidos y que dicho material es entregado con un certificado de conformidad con las especificaciones. Para determinar las características y cualidades de las materias primas y chequear la conformidad de los materiales, se le aplicaron los ensayos correspondientes, cumpliendo con las normas existentes en el país, con el objetivo de diseñar mezclas de mejor calidad y con menor índice de consumo de cemento, utilizando la zeolita como material componente.

Ensayos al cemento.

El cemento utilizado en las mezclas de mortero de cemento y zeolita es un cemento Portland de tipo P-35 proveniente de la Fábrica Sigüaney de la provincia de Sancti Spíritus. Los ensayos que se le realizaron al mismo se encuentran reflejados en la tabla 11 y las especificaciones fueron tomadas las normas cubanas aplicables al cemento Portland P- 35. NC 95: 2011 *Cemento Portland. Especificaciones*.

Los resultados según la NC 506:2013 permitieron conformar los criterios de conformidad para el cemento donde especifica que el método de determinación de la resistencia a compresión tiene dos aplicaciones fundamentales, ensayos de conformidad y ensayos de aceptación y en este caso particularmente se describen los ensayos realizados:

Ensayos realizados	Resultados	Especificaciones	Cumplimiento
Consistencia normal	25%.	-	-
Fraguado inicial	130 minutos	> 45 minutos	Cumple
Fraguado final	3.33 horas	Antes de las 10 horas	Cumple
Módulo de finura	8.6 %	-	Cumple
Peso específico	3.148 g/cm ³	-	-
σ_c 3 días(Mpa)	26.0	17.0	Cumple
σ_c 7 días(Mpa)	30.0	25.0	Cumple
σ_c 28 días(Mpa)	36.8	35.0	Cumple

Tabla 1. Resultados de los ensayos al cemento P-35

Ensayos de conformidad; es decir, los medios por los que se juzga si un cemento cumple con una especificación de resistencia a compresión NC 506:2013.Epígrafe 10.

Ensayos a la zeolita.

La zeolita utilizada fue extraída del yacimiento Tasajeras procedente de la industria de San Juan de las Yeras, en Ranchuelo en la provincia de Villa Clara, según información de la propia fábrica la misma clasifica en su estado natural como: *mordenita-clinoptilolita*

La *mordenita* forma complejos racimos cristalinos de reducido diámetro, muchas veces con caras hexagonales idiomórficas, y están circunscritos a los espacios vacíos, poros y anfractuosidades presentes en la muestra. Los cristales de *mordenita* forman un denso entramado de individuos aciculares, radiales, fibrosos y bacilares en los espacios dejados por minerales otrora lixiviados y disueltos. Forman también masas muy apretadas de innumerables fibrillas que con menor aumento tienen apariencia de masas informes.

Ensayos de la mezcla de cemento más zeolita

En esta investigación se realizaron 6 combinaciones de morteros con adición de zeolitas que consistió en la sustitución desde un 10%-40% del cemento Portland por zeolita, la nomenclatura usada fue la siguiente:

Nomenclatura:

"A"- cemento + 10% zeolita.

"B"- cemento + 20% zeolita.

"C"- cemento + 25% zeolita.

"D"- cemento + 30% zeolita.

"E"- cemento + 35% zeolita.

"F"- cemento + 40% zeolita.

La mezcla de mortero para cada una de las combinaciones realizadas aparece en la tabla 13. Se conformaron probetas cilíndricas de 40x40x160 mm para las edades de 3, 7 y 28 días, que fueron ensayadas de acuerdo a la NC 506:2013 «Cemento Hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la resistencia mecánica».

CONCLUSIONES

Al finalizar esta investigación se ha podido comprobar la eficiencia de la zeolita al ser utilizada como material puzolánico cuando se le adiciona porcentualmente al cemento Portland empleado en este trabajo. Entre los logros y objetivos está el aumento de la resistencia donde se observó que en las muestras con 10,20 y 25% de zeolita hubo un aumento de la misma, tanto en la Flexión como en Tracción por Compresión Diametral, mejorando después de los 28 días.

La zeolita ayuda a mejorar las características del hormigón en muchos aspectos según los ensayos realizados, notamos que el diseño con 10% de zeolita fue el que superó los otros diseños, incluyendo el modelo patrón. Con esto podemos concluir que el cemento Portland con 10% de zeolita respecto a su masa, constituye un buen Cemento Puzolánico. Es importante recordar que debido a que la adición de puzolana retarda la ganancia temprana de resistencia, la fluencia específica de cementos puzolánicos es mayor que la de los Portland. También es sensato pensar que el hecho de que la zeolita es silícea, esto le proporcione mejoras a las características del cemento Portland en cuanto a su durabilidad.

Las zeolitas ya han demostrado su idoneidad y competitividad en el campo de la construcción. Por esto es importante ver a este mineral como algo más que una simple adición, debemos verlo como un recurso valioso para el desarrollo de las construcciones. Al evaluar diferentes mezclas de similares constituyentes y volumen de pasta, se precisa el intervalo exigido de la cantidad de cemento Portland necesario para obtener un hormigón dado, acorde a su aplicación y resistencia estructural, empleando una adición cal-zeolita, proveniente esta última de tobas zeolíticas, extraídas durante la producción industrial.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

HERNÁNDEZ SAMPIER, R.: *Metodología de la investigación*. Ed Félix Varela, Primera Edición Mc Graw-Hill, La Habana, 2004.

O`REILLY DÍAZ, V. A.: *Métodos para dosificar mezclas de hormigón*. Editorial Científico Técnica, La Habana, 2010.

O`REILLY DÍAZ, V. A Y E. PÉREZ GARCÍA.: *Dosificación de un hormigón duradero*, COMPAT 95, La Habana, 1995.

HOWLAND ALBEAR J. J.: *Elementos de estadística y diseño de experimentos en la tecnología del hormigón*, Ministerio de la Construcción, La Habana, 2004.

NC 96: 2001 Cemento con adición activa. Especificaciones NC 100: 2001

NC 95: 2011 Cemento Portland. Especificaciones.

NC 506: 2013 Cemento Hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la resistencia mecánica.

NC 524:2007 Cemento hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la consistencia normal y tiempos de fraguado por Aguja Vicat.

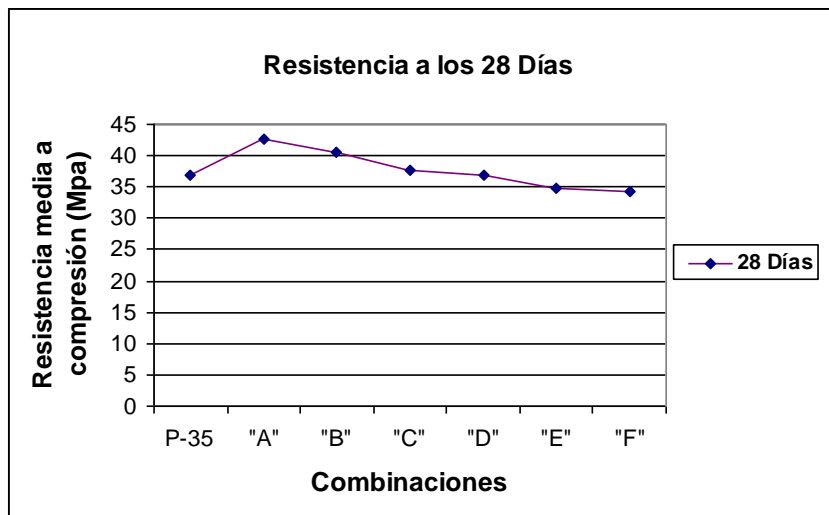
Anexo

Tabla 1. Combinación de las mezclas de mortero de cemento y zeolita.

Combinación	Cemento (g)	Zeolita (g)	Arena CEN (g)	Agua (ml)
cemento P-35	450	0	1350	225
"A"	405	45	1350	225
"B"	360	90	1350	225
"C"	337	113	1350	225
"D"	315	135	1350	225
"E"	292	158	1350	225
"F"	270	180	1350	225

Tabla 2. Resistencia mecánica del Cemento Portland P-35

Resistencia mecánica del Cemento Portland P-35							
Combinación	Nomenclatura	Edad: 3 Días		Edad: 7 Días		Edad: 28 Días	
		Rf	Rc	Rf	Rc	Rf	Rc
Cemento P-35	P-35-1	4.7	26.3	5.2	32.1	7.3	36.3
	P-35-2	5.2	26.0	5.4	28.4	7.4	37.2
	P-35-3	4.7	25.7	5.3	29.6	6.9	36.9
	Media	4.9	26.0	5.3	30.0	7.2	36.8



RESISTENCIA MEDIA DE LAS COMBINACIONES A LOS 28 DÍAS

