

Controles preventivos del cumplimiento de especificaciones.

Preventive controls for compliance with specifications.

Ing. Reynaldo Sarria Hernández.

Ingeniero civil

Departamento de Construcciones de la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Cuba

Teléfono: (45) 256782

DrC. Arq. Regino A. Gayoso Blanco

Arquitecto

Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción, La Habana. Cuba

Ing. Ernesto J. Díaz Bring.

Ingeniero civil

Empresa de Construcciones Militares, Matanzas. Cuba

Recibido: 15-04-14

Aceptado: 02-07-14

Resumen:

Disminuir los consumos de cemento sin detrimento de la calidad es una de las acciones que se toman en la rama constructiva para lograr disminuir las emisiones de gases efecto invernadero que provoca su proceso de producción. Internacionalmente se utilizan materiales puzolánicos residuales de la generación de electricidad o de la electrónica, que tienen altos precios en el mercado. Para Cuba esta solución resulta atractiva a partir de contar con fuentes nacionales. El presente trabajo avala el comportamiento puzolánico de la zeolita natural en la producción a gran escala de hormigones de altas prestaciones.

Se confirma el empleo de la zeolita producida actualmente en las empresas geomineras como material cementante suplementario en la producción típica de hormigones del país, lo cual constituye una fuente de ahorro considerable de cemento al elevar los valores de rendimiento a la unidad.

La resistencia potencial a compresión es un parámetro definitorio no sólo desde el punto de vista estructural, sino también para los términos contractuales de la comercialización del hormigón elaborado, de lo cual se infiere la relevancia de su correcto juzgamiento. Numerosas condiciones inherentes a los materiales, y a los procesos productivos y de control de calidad pueden hacer que la resistencia que se desea juzgar, resulte en la realidad más o menos alejada de la condición potencial. Este trabajo da a conocer métodos de trabajos para juzgar la conformidad de su producción en planta respecto a los parámetros especificados.

Palabras clave: Hormigón, Zeolita, Puzolánicos,

Abstract:

Reduce cement consumption without compromising quality is one of the actions taken in the construction industry to achieve lower emissions of greenhouse gases causing their production process. Internationally residual pozzolanic materials for generating electricity or electronics, which have high market prices are used. For Cuba this solution is attractive from having national sources. This work supports the pozzolanic behavior of natural zeolite in large-scale production of high performance concretes.

The use of zeolite currently produced in geomining companies as a supplementary cementitious material in concrete production typical of the country is confirmed, which is a source of considerable saving of cement to increase performance values to the unit.

The potential compressive strength is a defining parameter not only from the structural point of view, but also to the contractual terms of marketing elaborate concrete, which the relevance of proper judgment is inferred. Numerous conditions inherent to materials, and the production and quality control processes can cause the resistance to be judged, resulting in reality more or less away from the potential condition. This work provides methods of work to judge the conformity of its production plant for the specified parameters.

Keywords:, Concrete, Zeolite, Pozzolanic,

Introducción:

El patrimonio construido por el hombre está constituido en un 90% de hormigón, cuyo componente principal es el cemento. Tanto la producción como el consumo del cemento y el hormigón, se asocian con el nivel de desarrollo de un país, sin embargo ellos son también responsables de la degradación ambiental del planeta, debido fundamentalmente a la explotación intensiva de recursos no renovables -materias primas y combustibles-(RNR), y la emisión de grandes volúmenes de gases de efecto invernadero (GEI).

La tendencia al crecimiento de la producción de cemento mundialmente y con ello, las emisiones que provoca el calentamiento global y el cambio climático, ha incentivado transformaciones en el proceso de producción del cemento, lo que ha motivado disminuir la temperatura de combustión, aumentar la reactividad del cemento, variar su composición de fases y disminuir los contenidos de clínquer en el cemento

La industria del hormigón, paralelamente a la del cemento Pórtland, ha introducido mejoras, se destacan el desarrollo industrial de la producción y colocación de hormigón, la aplicación de aditivos químicos combinado con adiciones de materiales cementicios suplementarios tales como, cenizas volantes, escorias siderúrgicas, micro sílice, puzolanas naturales y artificiales que mejoran las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido, con el incremento de la durabilidad y la resistencia mecánica. Estas acciones contribuyen a la disminución del uso de clínquer y con ello a disminuir las emisiones de GEI.

Sin duda las políticas de calidad y ambiental deben ser consideradas en la actualidad como dos pilares básicos en todo tipo de industrias. Hace una década, en la mayor parte de las empresas no eran tenidas en cuenta como herramientas fundamentales para la organización y toma de decisiones, siendo hoy en día temáticas ineludibles para toda actividad, a la cual no escapan las plantas de hormigón. Calidad y ambiente, son indispensables en toda forma de elaboración de hormigón en la actualidad. Entre todos los materiales empleados en la construcción, el hormigón es el que presenta mayor variabilidad en sus propiedades y en las características de materiales constituyentes, con lo cual el aseguramiento de la calidad es una labor continua y que debe ser trabajada de acuerdo a procedimientos específicos y por personal competente.

En cuanto al medioambiente, es conocido que el hormigón es el segundo material que más consume el hombre después del agua, y con ello se constituye en una industria que requiere de manera urgente toma de conciencia de su incidencia sobre el ambiente. Tanto en la extracción y manufactura de materias primas, como en las tareas en la planta elaboradora de hormigón (depósito y manipulación de materiales constituyentes, dosificación, mezclado, manejo de sobrantes, reutilización del agua de mezclado, aprovechamiento energético, emisión de polvos y ruidos, etc.), debe existir una conciencia en minimizar los impactos sobre el entorno, pudiendo lograr así que el hormigón se convierta en un material sustentable y ambientalmente amigable.

En las últimas décadas se ha producido un rápido avance en el conocimiento y la tecnología del hormigón, lo que ha permitido la apertura de nuevos horizontes, cada día más amplios, para la utilización en gran escala de este material constructivo tan tradicional.

El hormigón premezclado, en sus diversas variedades de utilización, desde la fabricación de pequeñas unidades a los grandes módulos volumétricos de tamaño de una habitación, que se producen en algunos países de gran desarrollo tecnológico, pasando por sistemas pesados a bases de grandes paneles, todos contribuirán no solo a que el hormigón siga siendo el material más ampliamente utilizado, sino que proporcionaran al hombre la más eficaz herramienta para combatir las agudas necesidades de viviendas y de construcción de todo tipo prevista.

Con la expresión hormigón premezclado, se denomina genéricamente a los hormigones preparados en centrales situadas fuera de la obra en que van a ser utilizados, y mezclados, bien en dicha planta, bien durante su traslado a la obra, o bien parcialmente mezclados en la central y terminados de amasar en el camino hacia el lugar de utilización.

El hormigón premezclado no es un hormigón diferente, ni un producto "nuevo", aunque sea recientemente su utilización en gran escala, generalizando su uso a partir de 1970, creciendo exponencialmente en el tiempo. Este progreso se incrementa en primer lugar porque la industria de la construcción debía evolucionar en general hacia el logro de una mayor calidad en sus realizaciones, es esencialmente un producto de gran calidad, y no podría tener lugar en una industria de la construcción apegada a métodos y procedimiento prácticamente artesanales, carente de preocupación por la uniformidad del producto utilizado por el control de la calidad del mismo. Solo cuando estas premisas han llegado a ser una exigencia se ha podido desarrollar la industria de los hormigones premasados.

Pero también era necesario llegar a un conocimiento más profundo del comportamiento y de la influencia de los distintos componentes del hormigón, sobre las propiedades de la mezcla antes como después de su fraguado.

Por otra parte, la fabricación de hormigón cada día más científica y especializada, y la necesidad de un control sistemático y completo a todos los niveles, desde el almacenamiento de los componentes a la elaboración de producto, obligarían a las empresas a la adquisición y mantenimiento de maquinaria cada vez más variada y cara.

La provincia de Matanzas actualmente consta con uno de los planes de construcción de mayor importancia económica para el país, especialmente los servicios del polo turístico de Varadero son los máximos consumidores de hormigón, anualmente el volumen sobrepasa los 48 000 m³.

El trabajo entre sus retos se propone estudiar el control en la producción de los hormigones que se producen en la empresa de hormigón de Varadero con el uso combinado de adiciones minerales naturales y aditivos superplastificantes, que ratifique el desempeño de conformidad de los áridos calizos matanceros lo que posibilita mejoras económicas por concepto de transportación de áridos finos para la producción.

La actividad de producción en la industria del hormigón necesita urgentemente un cambio radical en la forma de promover el control de la producción en la elaboración masiva de hormigón; siendo imprescindible el camino de la investigación científica buscando eficiencia y eficacia; esta es la meta a la cual debemos dirigir todos nuestros esfuerzos.

El presente proyecto permitirá en su aplicación, comprobar los criterios confiabilidad en la producción en la Empresa de Hormigón de Varadero, a partir de procedimientos detallados de control de la calidad con el uso combinado de aditivos químicos y adiciones de zeolitas cubanas.

La producción de cemento Pórtland en Cuba se remonta a 1895 en la Habana con la primera fábrica de cemento gris tipo Pórtland, con una capacidad de producción de 6000 t anuales. En las primeras décadas del siglo XX una firma norteamericana instala una fábrica con capacidad de unas 200 t diarias la cual es modernizada y ya en 1927 alcanza una capacidad de unas 411 000 t anuales. En La Habana, entre los años 1950-60 se monta la fábrica "Compañía Cementos Nacionales S.A.", con capacidad de 350 000 t anuales debido al aumento de la demanda del cemento por el crecimiento del volumen de construcciones que caracterizó la época y en 1957, la fábrica "Cemento Santa Teresa S.A." con una capacidad de 180 000 t anuales (Cuevas Toraya, 2001) (7). Al triunfo de la Revolución la infraestructura necesaria para el desarrollo de los programas que se planteaban, requirió la ejecución de inversiones en las tres compañías productoras de cemento del país previamente nacionalizadas. Fruto de ello, en 1967 entra en operación la línea de procedencia rumana en la fábrica José Merceron de Santiago de Cuba, en 1968 se pone en marcha la fábrica "26 de Julio" de Nuevitas, con 600 000 t anuales de capacidad y en la fábrica de cemento "Síguaney" con una capacidad total de 670 000 t. Del mismo modo se moderniza la fábrica de Artemisa, elevando su producción a las 620 000 t anuales. En 1980 en Cienfuegos se construye la moderna fábrica de cemento "Karl Marx", con 1'650 000 t anuales de capacidad, y finalmente se moderniza la fábrica de cemento del Mariel, con el montaje de dos nuevos hornos, con una producción de 740 000 t al año cada uno (Cuevas Toraya, 2001) (7).

La utilización de extensores del clínquer, empleando materiales puzolánicos comienza en septiembre de 1976 en la fábrica de Santiago de Cuba, empleando la mordenita del yacimiento Palmarito de Cauto y generalizándose en la década de 1980-90, en la fábrica de Cienfuegos, con el empleo de la clinoptilolita-heulandita del yacimiento Las Carolinas, para producir variedades de cemento Pórtland, conocidas como PP-350, PP-250 y CA-160 (Gayoso, 1976) (11, 13, 18, 24).

Los programas sociales de la Revolución se mantienen y se desarrollan alternativas económicas para la producción de cemento a pesar de la recesión económica (Periodo especial); por un lado se produce cemento con la introducción de crudo cubano y por otro se produce un aglomerante alternativo: el popularmente conocido "Cemento Romano", molienda conjunta de la cal y la puzolana en pequeños talleres. Como puzolanas se utilizaron tobas, tobas zeolitizadas, cenizas de bagazo y paja de caña disponibles en el país. Su producción se abandona a finales de los años 90 (Gayoso, 2004) (18, 12, 24). A partir de 1996 la producción industrial de cemento Pórtland comienza la recuperación de la industria deteriorada durante la recesión.

No ha sido ajeno para Cuba las emisiones de GEI ni el uso racional de los portadores energéticos en la producción de cemento. Las principales acciones han sido el paso del proceso por vía húmedo a seco, la disminución del consumo de clínquer mediante la producción de cementos con extensores. Numerosas investigaciones se han realizado en este tema, destacándose el uso de intensificadores de molienda y la producción experimental de cementos belíticos desde la década de los años 80, incluso a escala industrial (Rabilero A., 1992) (18, 25).

Las transformaciones alcanzadas con la tecnología del hormigón en el mundo, antes del año 1959, son introducidas en la fabricación de puentes con la utilización de los hormigones preforzados o postensionados, siendo rutina en la década del 50, hablar de los hormigones de resistencias

superiores a los 35.0 MPa y a los 49 MPa, como ejemplo se puede citar la ejecución de los proyectos de puentes postensionados, construidos sobre el río Las Cañas con 76 m de luz, Cuyaguaje con 96 m; el arco triarticulado de 114 m de luz, 50 m de flecha y vigas postensionadas de 22.50 m de luz, del puente Bacunayagua (Gayoso, 2004)(12).

Antes del 1959 la producción de elementos prefabricados de hormigón, no superaba los 5,0 Mm³/año y bajo los lineamientos de industrializar la Construcción, trazado por la Revolución, se logran significativos incrementos de la capacidad industrial del prefabricado mediante la ampliación de los polígonos de producción, lográndose producir 797.6 Mm³ en 1975 (Gayoso, 2004) (12).

En la década del 70 se destaca la introducción de la tecnología de producción altamente mecanizada de losas huecas de hormigón pretensadas de alta resistencia de origen canadiense conocida por Spiroll, y las traviesas de hormigón pretensado Cuba 71 para la rehabilitación del ferrocarril Central, producidas en los años 1974-1976 en moldes de hormigón, donde se utilizó por primera vez, en la escala industrial del prefabricado en Latinoamérica, el aditivo químico superplastificante sobre la base de naftaleno formaldehído sulfonado, Mighty 150, de la firma japonesa Kao Soap Co.

A partir de esta experiencia se comienza el uso casuístico de aditivos superplastificante en la producción de hormigones y ya en la última década, después de asimilar por el grupo empresarial Perdurit la tecnología italiana de producción cooperada de aditivos de la firma Mapei, se generaliza el uso nacional de los aditivos químicos tanto en hormigones premezclados como prefabricados.

Es de destacar la adopción de la norma NC 120 2000 Hormigón hidráulico. Especificaciones. La cual incorpora en su contenido todos los elementos aplicables de la Norma Europea EN 206-1 2000 Hormigón Parte1: Especificación, comportamiento, fabricación y conformidad, desestimando los referidos a los Antecedentes y la Introducción debido a que no se corresponden con las características de esta Norma Cubana. Es una norma única de especificaciones para el hormigón hidráulico de cemento Pórtland, partiendo del concepto básico de que el hormigón tiene que cumplir en la estructura con un determinado desempeño tanto en resistencias mecánicas como en durabilidad (NC 120:2007) (40).

Desafíos de la industria del hormigón en Cuba.

Según reportes actuales, la producción de cemento con petróleo crudo cubano arroja índices de consumo de 149.2 kg de crudo por tonelada de clínquer producido. El consumo eléctrico está en el orden de 124.8 Kw por tonelada de cemento o clínquer producido (MINBAS, 2009). (37).

En ambos casos los valores están ligeramente por encima de los promedios mundiales de consumo, lo que aparentemente se debe al envejecimiento de la tecnología, que es básicamente de los años 1970, aunque muchas plantas han sido parcialmente renovadas, en especial adaptadas para consumir crudo cubano y uso de intensificadores de molienda (Martirena, 2004)(18).

Las emisiones totales de GEI alcanzan en el país las 1.179 Gt, donde el CO₂ tiene el mayor aporte.

En este año se produjeron en Cuba 22,9 kt de clínquer blanco y 1 622,3 kt de clínquer gris. Se reporta para estos valores de producción, emisiones de CO₂ en el orden de 1 400 kt, lo que representa aproximadamente 0,85 t de CO₂ por cada t de clínquer, correspondiendo con la media mundial. Hoy la producción de cementos mezclados está deprimida, sólo el 15 % de la producción nacional de cemento corresponde a PP-350, PP-250 y CA-160, conllevando a altos consumos de clínquer por tonelada de cemento (MINBAS, 2009) (37).

A consideración del autor ésta es una de las fundamentales líneas a retomar para rescatar los niveles de producción, incluso aumentarlas, de manera que el contenido de clínquer por tonelada de cemento sea menor, sin aumentar el nivel de las emisiones de GEI y disminuyendo los índices de consumo de energía, RNR, incluyendo portadores energéticos.

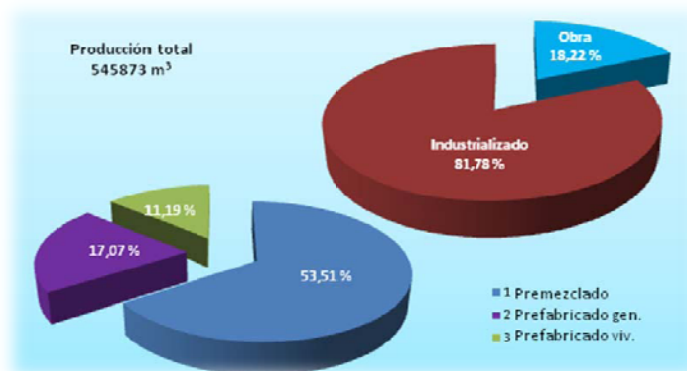
La producción de hormigón total en el año 2009 fue de 545.873 m³. En la figura 1.1 se observa la distribución de esta producción, donde sobresale que el 80% es industrializada: hormigón premezclado, prefabricado general, prefabricado destinado a vivienda (MICONS, 2009) (37).

De manera general se puede afirmar que para el Hormigón Premezclado el 80% de la producción corresponde a hormigones de menos de 30 MPa y sólo el 20% igual o más de 30 MPa, mientras que el 70% del prefabricado producido tiene menos de 30 MPa y el 30% igual o más de 30 MPa.

De ello se infiere que la producción de hormigón del país es en general menos de 30 MPa donde lo más usual es 25 MPa.

Figura 1.1. Producción nacional de hormigón. Distribución por categorías.

Fuente: Modelo Estadístico 126 529 del MICONS. Consumo de cemento Diciembre 2012.



La producción de hormigones de resistencias mayores de 30 MPa existe pero en volúmenes pequeños que se pierden en la estadística, y se limitan a obras casuísticas que generalmente tienen un tratamiento diferenciado por su especificidad desde el diseño, la colocación y el control de la calidad.

Esta característica de producción industrializada, a criterio de la autora propicia la introducción generalizada de cualquier cambio de concepto y de composición del hormigón con garantía de correcta aplicación.

Los rendimientos del cemento tanto en hormigón premezclado como prefabricado en su generalidad son inferiores a 0,8 y la producción más frecuente, está estandarizada a marcas de resistencias características sin tener en cuenta las especificidades de las prestaciones o las tecnologías de colocación.

Ejemplo de ello son las producciones de paneles Gran Panel VI, para las cuales se producen hormigones de 25 MPa de resistencia característica, con áridos de tamaño máximo 19 mm, asentamientos de 140 mm, con aditivos superplastificante NC 200, de producción nacional, sin embargo el requisito tecnológico es la resistencia de 8 MPa a las 24 horas para levantar la producción, un recubrimiento de los aceros de 20 mm y buen acabado superficial. Aunque el requisito de 8 MPa a las 24 horas se cumple, el rendimiento del cemento es de 0,7 como máximo

debido a que la capacidad del aditivo no es utilizada al máximo y las relaciones agua/cemento son generalmente 0,55 a 0,65, por otro lado es obvio que el recubrimiento de los aceros en gran porcentaje es defectuoso por el tamaño máximo de los áridos y generalmente el acabado superficial, sobre todo las aristas, son imperfectas (Rosell, 2004) (27).

Se ha puesto de manifiesto el daño de muchas estructuras de hormigón armado y pretensado, sometidos al ambiente tropical marino que caracteriza al archipiélago cubano, donde aproximadamente 6000 km de costas en un área de 110 922 km² con temperaturas medias anuales que oscilan entre los 24°C y 31°C y de humedades relativas entre 82 y 95%. Se han presentado afectaciones debidas a la corrosión del refuerzo y el deterioro del hormigón que requieren intervenciones para mantenerlas en explotación y prolongar su vida útil.

Ejemplo de ello ha sido el domo de la Ciudad Deportiva cuyo anillo de hormigón postensionado en el que se apoya tuvo que ser reforzado, la reparación capital del edificio FOCSA, en que numerosos elementos de hormigón tuvieron que ser reparados o sustituidos y la sustitución de vigas, cabezales y otros elementos de los puentes de los pedraplenes a los cayos de la zona norte (Howland Albear, 2005) (17).

Fuentes principales de la variación de los hormigones.

El hormigón es un material heterogéneo, sujeto a la influencia de numerosas variables, como por ejemplo: Las características y variabilidad de cada uno de sus componentes (el cemento, los áridos, el agua, las adiciones y los aditivos químicos), las tecnologías de dosificaciones, mezclado, transporte, vertido y curado y finalmente las variaciones propias de la fabricación y tratamiento de las probetas y de los métodos de ensayos. En la tabla 1.1 se representan las principales fuentes de variación.

Tabla 1.1 Fuentes principales de la resistencia de los hormigones.
 Fuente: ACI 214-77

Variaciones en las propiedades del Hormigón	Discrepancias en los métodos de ensayos
<ul style="list-style-type: none"> ❶ Cambios en la Relación A/C <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Pobre control del agua <input type="checkbox"/> Variación excesiva de la humedad del árido <input type="checkbox"/> Reajustes ❷ Variaciones en los requerimientos de agua <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Granulometría del árido, absorción, forma de las partículas <input type="checkbox"/> Propiedades del cemento y de los aditivos <input type="checkbox"/> Contenido de aire de la mezcla <input type="checkbox"/> Tiempo de entrega y temperatura de la mezcla ❸ Variaciones en las características y la proporción de los ingredientes <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Aridos <input type="checkbox"/> Cemento <input type="checkbox"/> Puzolanas <input type="checkbox"/> Aditivos ❹ Variaciones en el transporte, vertido y compactación de la mezcla de hormigón ❺ Variaciones en la temperatura y curado del hormigón 	<ul style="list-style-type: none"> ❶ Procedimientos inadecuados de muestreo ❷ Variaciones debido a las técnicas de fabricación de las probetas <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Manipulación y curado de las probetas hechas recientemente <input type="checkbox"/> Pobre calidad de los moldes de las probetas ❸ Cambios en el curado de las probetas <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Variaciones de la temperatura <input type="checkbox"/> Humedad variable <input type="checkbox"/> Demoras en la entrega de las probetas al laboratorio ❹ Pobres procedimientos de ensayo de las probetas <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Colocación del Capping de las probetas <input type="checkbox"/> Realización de los ensayos a compresión

Para un grupo dado de materias primas, la resistencia está gobernada grandemente por la relación agua/materiales cementicios (a/mc). El primer criterio para producir hormigón con una resistencia consistente, es por lo tanto mantener un control riguroso sobre la relación a/mc, porque la cantidad

de material cementicios se puede medir de forma razonablemente precisa, mantener una relación a/mc constante requiere fundamentalmente un control estricto de la cantidad total de agua utilizada.

El método de ensayo normado por la AASHTO para determinar el contenido de agua del hormigón fresco mezclado utilizando el secado en un horno de microondas (TP 23) es un método de determinación del contenido de agua del hormigón fresco. La exactitud de este método de ensayo está aún bajo estudio. El ensayo puede ser útil para detectar desviaciones en el contenido de agua del hormigón fresco en el lugar de trabajo.

Las variaciones en la resistencia son también influidas por el contenido de aire. El contenido de aire incorporado influye tanto en el requerimiento de agua como en la resistencia. Hay una relación inversa entre la resistencia y el contenido de aire. El contenido de aire de una mezcla específica de hormigón varía en dependencia de las variaciones de los materiales constituyentes, a la extensión del mezclado y a las condiciones ambientales del lugar. Para el control de un buen hormigón, el contenido de aire debe ser monitoreado cuidadosamente en el lugar de construcción.

La temperatura del hormigón fresco afecta tanto la cantidad de agua necesaria para alcanzar la consistencia adecuada, como el contenido de aire incorporado. Además de esto la temperatura del hormigón durante las primeras 24 horas de curado puede tener un efecto significativo sobre las resistencias del hormigón a edades tardías. Los cilindros de hormigón que no están protegidos de las temperaturas fuera del rango especificado en la ASTM C31 puede que no reflejen con precisión la resistencia potencial del hormigón.

Los aditivos pueden contribuir a la variabilidad, porque cada aditivo introduce otra variable y otra fuente de variación. La dosificación y el mezclado de aditivos debe ser cuidadosamente controlada. Los cambios en la demanda de agua están también asociados con las variaciones en la granulometría del árido.

Las prácticas de construcción causarán variaciones de la resistencia en la resistencia en el lugar, debido a un mezclado inadecuado, una compactación inapropiada, demoras en el vertido, un inadecuado curado e insuficiente protección a edades tempranas. Estas diferencias no se reflejarán en los ejemplares fabricados y almacenados bajo condiciones normativas de laboratorio. Las prácticas de construcción pueden afectar los resultados de resistencia de los testigos, sin embargo ellos pueden ser perforados y ensayados cuando los resultados de los ensayos de resistencia no estén conformes con las especificaciones del proyecto.

De esta forma, al producirse un hormigón bajo semejantes condiciones de empleo de materiales, tecnología y métodos de aseguramiento de la calidad, para una misma dosificación y una misma edad, la serie de resultados obtenidos de resistencia a compresión ofrece una data de valores de ensayos agrupados alrededor de un valor central, que alcanza una distribución normal de frecuencia.

Una excesiva variación de la resistencia a compresión del hormigón, significa un nivel inadecuado de control y es indispensable tener en cuenta que el mejoramiento del grado de control se materializa en una reducción notable de costos del hormigón y de los consumos de cementos, ya que el valor central de la resistencia a compresión, en la distribución de frecuencia, puede ser llevado mucho más cerca a los requisitos especificados por el proyectista mediante la resistencia mecánica.

Normas de control

Unos de los propósitos primarios de la evaluación de los datos de hormigón es identificar las fuentes de variabilidad. Este conocimiento puede entonces ser utilizado para ayudar a determinar los pasos apropiados para mantener el nivel deseado de control. Varias técnicas diferentes se pueden utilizar para detectar variaciones en la producción de hormigón, el procesamiento de los materiales y la manipulación y el contratista y las operaciones de la agencia de ensayos. Una simple aproximación es comparar la variabilidad total y la variabilidad interna del ensayo, utilizando ya sea la desviación típica o el coeficiente de variación, cuando sea apropiado, con el desempeño previo.

Si la desviación típica o el coeficiente de variación es la medida apropiada de dispersión a utilizar en una situación dada depende de cuál de las dos medidas está más cercana a ser constante sobre un rango limitado de resistencias; sin embargo, varios estudios muestran que el coeficiente de variación es más cercanamente constante sobre un amplio rango de resistencias, especialmente las altas resistencias (Cook 1982; Cook 1989). La comparación del nivel de control entre las resistencias a compresión y a flexión es más fácilmente conducirla utilizando el coeficiente de variación. El coeficiente de variación es también considerado como estadísticamente más aplicable para las evaluaciones internas del ensayo (Neville 1959; Metcalf 1970; Murdock 1953; Erntroy 1960; Rüsck 1964 y la ASTM C 802). Tanto la desviación típica como el coeficiente de variación se pueden utilizar para evaluar el nivel de control de las mezclas de hormigón convencionales, pero para elevadas resistencias, generalmente las que exceden de 35 MPa, el coeficiente de variación es preferible.

Las normativas de control dadas en la Tabla 1.2, son apropiadas para hormigones que poseen resistencias especificadas hasta 35 MPa, mientras que la Tabla 1.3 aporta las normativas apropiadas para resistencias especificadas por encima de 35 MPa. Estas normativas de control fueron adoptadas en base al examen y análisis de los datos de resistencia a compresión por el Comité 214 del ACI y el Comité 363 el ACI. Los ensayos de resistencia fueron conducidos utilizando probetas cilíndricas de 150 x 300 mm, que es la medida normativa establecida en la ASTM C 31. Las normativas de control son por lo tanto aplicables a estas dimensiones de especímenes, ensayados a los 28 días, y puede ser considerada aplicable con diferencias pequeñas a otras dimensiones de cilindros, tales como el de 100 x 200 mm, que está reconocida en el ASTM C 31 o son aplicables a los ensayos de resistencia sobre cubos o los ensayos de resistencia a flexión.

Tabla 1.2 Normativas de control del hormigón para $f'c \leq 34,5$ MPa Fuente: ACI 214-77

Variación total					
Tipos de operación	Desviación típica para diferentes normativas de control. MPa				
	Excelente	Muy bien	Bien	Regular	Pobre
Ensayos generales en la construcción	< 2,8	2,8 a 3,4	3,4 a 4,1	4,1 a 4,8	> 4,8
Pruebas de Laboratorio	< 1,4	1,4 a 1,7	1,7 a 2,1	2,1 a 2,4	> 2,4
Variación interna del ensayo					
Tipos de operación	Coeficiente de variación para diferentes normativas de control, %				
	Excelente	Muy bien	Bien	Regular	Pobre
Ensayos de campo	< 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	5,0 a 6,0	> 6,0
Pruebas de Laboratorio	< 2,0	2,0 a 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	> 5,0

Tabla 1.2 Normativas de control del hormigón para $f'c \leq 34,5$ MPa Fuente: ACI 214-77

Variación total					
Tipos de operación	Coeficiente de Variación para diferentes normativas de control. MPa				
	Excelente	Muy bien	Bien	Regular	Pobre
Ensayos generales en la construcción	< 7,0	7,0 a 9,0	9,0 a 11,0	11,0 a 14,0	> 14,0
Pruebas de Laboratorio	< 3,5	3,5 a 4,5	4,5 a 5,5	5,5 a 7,0	> 7,0
Variación interna del ensayo					
Tipos de operación	Coeficiente de variación para diferentes normativas de control, %				
	Excelente	Muy bien	Bien	Regular	Pobre
Ensayos de campo	< 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	5,0 a 6,0	> 6,0
Pruebas de Laboratorio	< 2,0	2,0 a 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	> 5,0

Desarrollo:

La campaña experimental que se desarrolla en relación a este trabajo pretende conseguir resultados válidos y significativos en el control del hormigones de altas prestaciones en la planta de premezclado en la Empresa de Hormigón de Varadero y confirmar el diseño implantado de acuerdo a la disertación realizada por el personal del CTDMC y de la proposición del proyecto estudiado por el Ing. Ernesto Díaz Bring y reafirmar el comportamiento de las buenas práctica con el uso de áridos matanceros en la elaboración de hormigones de altas prestaciones, y el comportamiento descriptivo dentro del pasta ante la presencia de arcilla y su consideración ante las cargas externas de acuerdo a su relación con la adherencia entre la interface árido-pasta en el hormigón hidráulico, además de la confirmación económica con el uso de zeolitas naturales cubanas y aditivos superplastificantes.

La tarea experimental comenzó con la toma de muestra de hormigón a partir del mes de enero y los resultados archivados para una realizar una correlación de la implementación del nuevo diseño y el uso cada vez más aceptado de la aclimatación de las adiciones naturales a nivel industrial en las empresas de premezclado a lo cual la EHV es pionera en esta práctica. En correspondencia es de destacar que en cuba y casi todos los países de Hispanoamérica, la probeta normalizada para los ensayos de resistencia a compresión, es la probeta cilíndrica de altura nominal igual al doble del diámetro. La más generalizada es la de 150mm de diámetro y 300 mm de altura, válida para los hormigones con áridos de 38,1 mm de tamaño máximo. Es muy importante tener en cuenta que la data para efectuar los análisis descriptivos de la resistencia a compresión del hormigón debe siempre estar constituida por valores provenientes de un solo tipo de probeta. De igual forma, los métodos de preparación y tratamiento posterior de las probetas hasta la realización de los ensayos a rotura, deben ser los mismos para una misma data.

Etapa 1.

Se realizarán la toma de los materiales a llevar a cabo para el muestreo, siendo los seleccionados los áridos matanceros como continuación de la síntesis de investigaciones pasadas que demuestren la factibilidad de su empleo en la producción. El árido fino y grueso será los de la planta "Antonio Maceo" y también se utilizará árido fino de la "Planta Libertad". Se efectuarán los ensayos básicos que se tienen en cuenta en planta, como son la humedad superficial y tamiz 200 como requerimientos esenciales de realización.

Etapa 2.

Factibilidad técnica económica y consumación del resultado. Se realizará la estimación de los beneficios que aporta este resultado para los costos de la empresa y se realizarán las recomendaciones para implementar el resultado, verificando su efectividad

Esquema aplicado al control de la calidad de la producción de hormigón.

La base de la seguridad de las obras de hormigón masivo, está dada por la determinación correcta de la resistencia característica del hormigón, pues los proyectistas basan sus criterios de diseño en métodos probabilísticos, que requieren de un análisis estadístico previo del comportamiento del hormigón en las estructuras.

La resistencia característica a la compresión del hormigón, se define en general como aquel valor de la resistencia a compresión por debajo del cual es esperable que se obtenga no más de un determinado porcentaje de la población de todas las posibles mediciones de resistencia del hormigón especificada.

Pasos para efectuar la evaluación del inventario de los lotes de hormigón

1. Se parte de los ensayos individuales de rotura a compresión de las probetas de cada una de las series. La resistencia a compresión de cada probeta se calcula por:

donde:

$$R'_{bi} = \frac{F}{A} \cdot 0,1 \quad (\text{MPa})$$

F: Carga aplicada de rotura (KN)

A: Área de la sección transversal de la probeta (cm²)

2. Se calcula la resistencia a compresión de las series de probetas por:

$$R'_{bs} = \frac{\sum_{i=1}^n R'_{bi}}{n} \quad (\text{MPa})$$

Además se calcula el recorrido de la serie de probetas por:

$$R_i = R'_{b1} - R'_{b3} \quad (\text{MPa})$$

Ing. Reynaldo Sarria Hernández, DrC. Arq. Regino A. Gayoso Blanco, Ing. Ernesto J. Díaz Bring. Controles preventivos del cumplimiento de especificaciones.

3. Se calcula la resistencia media a compresión del hormigón del lote por:

$$R'_{bm} = \frac{\sum_{s=1}^m R'_{bs}}{m} \quad (MPa)$$

4. Se calcula la desviación típica interna del ensayo (*Within Test*) por:

$$S_1 = \frac{1}{d_2} \cdot \bar{R} \quad (MPa)$$

donde :

$1/d_2$ = Constante que depende del número de probetas promedios de la serie, tal como indica tabla 2.1.

Tabla 2.1 Valores de d_2 en función del número de probetas.
Fuente: ACI 214R:02

Número de probetas de la serie	d_2	$1/d_2$
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299
6	2.534	0.3946
7	2.704	0.3698
8	2.847	0.3512

5. Se calcula el coeficiente de variación interno del ensayo (*Within Test*) por:

$$V_1 = \frac{S_1}{R'_{bm}} \cdot 100 \quad (\%)$$

Tabla 2.2 se muestran los valores límites de V_1 para diferentes grado de control.

Tabla 2.2 Valores límites de V_1 para diferentes grados de control
Fuente: ACI 214R:02

Tipo de operación	Grados de control				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Aceptable	Deficiente
Control de campo (a pie de obra o planta)	< 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 5,0	5,0 - 6,0	> 6,0
Mezclas de prueba en el laboratorio	< 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 5,0	> 5,0

6. Se calcula la desviación típica del lote por:

$$S_L = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^m (R'_{bs} - R'_{bm})^2}{m - 1}} \quad (MPa)$$

Y:

$$S_L^2 = S_1^2 + S_2^2 \quad (MPa)$$

donde:

S_2 : Desviación típica de amasada, sin incluir las variaciones propias del muestreo, preparación, tratamiento, curado y ensayos de probetas.

7. Se evalúa la anormalidad tanto de valores individuales de resistencia a la compresión de las probetas como de las mismas probetas.

$$t_n = \frac{|R'_{bs1} - R'_{bm}|}{S_L}$$

donde:

R'_{bs1} = Valor de serie que se considera sospechosa, en MPa.

8. En el caso en que se hayan sido depurados ciertos valores de ensayos individuales de probetas, o del conjunto de series, se recalcula la resistencia media a compresión y la desviación típica del lote, por las expresiones ya indicadas.

9. Se calcula la resistencia característica obtenida del lote por:

$$R'_{bk} = R'_{bm} - Z \cdot S_L \quad (MPa)$$

donde:

Z: Parámetro que depende de la fracción defectuosa permisible y cuyos valores han sido indicados en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Valores de fracción defectuosa (%) en función de Z.
Fuente: ACI 214R:02

Z	Fracción defectuosa (%)	Z	Fracción defectuosa (%)	Z	Fracción defectuosa (%)
0,1	46,0	1,10	13,6	2,10	1,8
0,2	42,1	1,20	11,5	2,10	1,4
0,3	38,2	1,30	9,7	2,30	1,1
0,4	34,5	1,40	8,1	2,40	0,8
0,5	30,9	1,50	6,7	2,50	0,6
0,6	27,4	1,60	5,5	2,60	0,45
0,7	24,2	1,70	4,5	2,70	0,35
0,8	21,2	1,80	3,6	2,80	0,25
0,9	18,4	1,90	2,9	2,90	0,19
1,0	15,9	2,00	2,3	3,00	0,13

10. Fracción defectuosa obtenida del lote.

$$Z = \frac{R'_{bm} - R'_{bkp}}{S_L}$$

11. Se evalúa la uniformidad del hormigón del lote, a partir de su desviación típica, comparándolos con los valores de la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Valores de S_L (MPa) para diferentes grados de control
Fuente: ACI 214R:02

Tipo de operación	Grados de control				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Aceptable	Deficiente
Control de campo (a pie de obra o de planta)	< 2,81	2,81 - 3,52	3,52 - 4,22	4,22 - 4,92	> 4,92
Mezclas de prueba en el laboratorio	< 1,41	1,41 - 1,76	1,76 - 2,11	2,11 - 2,46	> 2,46

Luego:

$$R'_{bm} = R'_{bk} + S_L \quad (MPa)$$

12. La aceptación del hormigón del lote, queda entonces establecidas por la condición:

$$R'_{bk} \geq R'_{bkp}$$

El hormigón que se requiere en las obras de Varadero, suministrado por la Empresa de Hormigón de Varadero, tiene que cumplir con resistencia característica de $f'_c = 30$ MPa. Estos hormigones son elaborados generalmente en las plantas "Las Morlas", las que cuenta con el software DOSAT en la dosificación automatizada, una mezcladora tipo forzada, de 1m^3 de capacidad, y la transportación y entrega en carros trompos. La EHV produce también hormigones en la planta "Las Palmeras" que cuenta igualmente con el software DOSAT en la dosificación automatizada y ejecuta el proceso de mezclado y entrega del hormigón en carros "trompos". Actualmente la EHV es una de las de mayor producción de hormigón en el país, sus niveles alcanzan alrededor de los $36\ 000\text{m}^3$ anuales.

Uno de los inconvenientes que tiene la empresa que los productores de sus principales materias primas como la arena no suplen todas las necesidades de consumo, además como consecuencia de esto se ven forzados a buscar en otras zonas como son los centros de producción en la provincia de Cienfuegos, esto también está dado porque existen ciertos hitos de la contribución de los materiales pétreos existentes en la provincia.

Particularmente las arenas constan de cierta tendencia a especular que poseen altos contenidos de arcilla debido a su coloración rojiza, que comúnmente son criticadas de poseer altos contenidos de partículas no deseadas en el hormigón, y de exaltar en grado superlativo los áridos naturales de los centros de producción de Cienfuegos, que generalmente cumplen con las propiedades geométricas de granulometría, pero estas poseen un inconveniente que, debido a la forma redondeada de sus partículas existe mucha menor adherencia entre las mismas comparadas con los áridos triturados, también es conocido que debido a su fuente de obtención que comúnmente se encuentran en las márgenes de los ríos, trae como consecuencia la adhesión de cierto recubrimiento no visibles a la vista que afecta la resistencia mecánica del hormigón.

Debido a estas consecuencias se realizó en colaboración con el Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción (CTDMC) y el trabajo de diploma del Ingeniero Ernesto Díaz Bring, el cual se corroboró que las producciones industriales de arena por las Empresas de Materiales de Matanzas presentan productos que aunque no cumple la granulometría puede ser utilizados en la producción de hormigones durables, además que los incrementos en resistencia que se produce con el empleo de la combinación con los áridos finos de nuestros centros de producción en hormigones en comparación con los áridos naturales de la provincia de Cienfuegos origina que se alcancen rendimientos por transportación de arenas en la EHV, logrando sustentabilidad del proceso de producción de resistencia típica en nuestro país. Todo esto siendo necesario el uso de aditivos químicos súperplastificantes para logra mantener las relaciones agua/cemento + puzolanas que garanticen la coherencia y lavorabilidad del hormigón sin detrimento de la durabilidad. La nueva alternativa permitió un ahorro potencial de 591 261.84 en ambas monedas solo por concepto de transportación.

La valoración del impacto potencial en valores que tiene la EHV se estima a partir del cálculo unitario del hormigón y del beneficio total para cada marca de resistencia característica, sobre la base de las materias primas utilizadas para la producción, (cemento, aditivo, agregados). Evaluando la sustitución de arenas de nuestros contornos nos conlleva a los siguientes resultados, ver datos en tabla 2.5.

Tabla 2.5 Costo por transportación

Fuente: Empresa de Hormigón de Varadero (2013)

Datos de transportación EHV						
Origen	Destino	Material	Distancia. (Km)	Tarifa p/m ³		Consumo Anual (m ³)
				MN	CUC	
Coliseo	Las Morlas	Arena	52	8.58	3.90	19 548
Limonar			67	11.06	5.03	
Arimao			230	37.95	17.25	13 032
Canal			241	39.77	18.08	

El estudio de la aplicación de los áridos finos de los centros de producción Matanzas con la adición de zeolitas se realiza bajo el concepto de rendimiento del cemento y costo por transportación con vistas a contribuir al ahorro del cemento, abaratar el costo del hormigón y el aporte que este hecho hace al medio ambiente. Como añadidura se tienen las bondades en cuanto a las prestaciones (durabilidad y resistencia) que alcanza los materiales de estudio de nuestra provincia.

Los materiales utilizados en las mezclas de hormigón son:

- Cemento Portland ordinario de la fábrica Mariel marca P-350
- Arena tratada de las plantas Antonio Maceo
- Granito fracción 10-5 mm de la planta Antonio Maceo.
- Gravilla fracción 19-10 de la planta Antonio Maceo.
- Aditivo Mapeplast N 100 de la marca Mapei, producido por el Grupo Industrial Perdurit.
- Zeolita natural de Tasajera.

Las adiciones químicas actúan en la fluidez, pero también actúan en la dispersión del cemento aumentando con ello la posibilidad de reacción de hidratación y dando como efecto el incremento de las resistencias por este concepto. La producción nacional de aditivos es fundamentalmente de base naftaleno formaldehído sulfonado.

En el caso Cuba, los áridos en su mayoría son obtenidos por trituración y clasificación de rocas calizas, por ello ocasionan un gran desvío en la granulometría, referido a Bolomey, Ferret o Fuller, demandando mayor cantidad de pasta (cemento). El método de diseño de hormigones desarrollado y patentado por O'rrelly basado en los vacíos mínimos tiene en cuenta estos aspectos y corrige estas limitaciones mediante la determinación de las características a y b de los áridos y realiza una fuerte experimentación en el laboratorio que minimiza los errores.

La metodología de diseño recomendado en la guía ACI 211.1R, parte del criterio del mínimo vacío, que los áridos finos tienen módulos de finura inferiores a 3.10 y las curvas granulométricas de todos los agregados son generalmente muy cercanas a la idealidad.

Los ensayos en general realizados en el laboratorio son los comunes que se hacen a nivel de plantas su objetivo tendrá como resultados determinar si la dosificación de los hormigones a partir de un procedimiento de composición granulométrica continua será válido para reducir los costos por transportación de áridos finos, además de reafirmar los requisitos de conformidad en el uso combinado de zeolitas cubanas y aditivo superplastificantes. Los trabajos comenzaron en enero hasta completar el número mínimo de series que se necesitan para un control aceptable en planta, serán 30 series bajo un mismo patrón de muestreo.

Ensayos.

Humedad superficial de la arena:

Esta determinación es de capital importancia en la puesta a punto en la elaboración de la mezcla, ya que permite determinar la cantidad de agua que humedece el grano con el objeto de tenerlo en cuenta para el ajuste de los materiales componentes en las amasadas de hormigón. (anexo 7)

Si se hace caso omiso a la humedad de los áridos y en particular de la correspondiente a la arena se cometería errores, a veces de importancia en la dosificación de los materiales tanto por peso como por volumen y por tanto su incidencia directa en la resistencia de la mezcla, en la conformación de elementos, etc.

Para la determinación de la humedad superficial se desarrollara el método de desecación en estufa, un procedimiento clásico de referencia que mayor influencia tiene en el comportamiento reológico de las mezclas. Se basa en tomar una muestra de arena (500g), se pesa y se coloca en una estufa a temperatura entre 100 y 110 °C donde se mantiene hasta que no se precie variación alguna en el peso final de la muestra. Figura 2.1

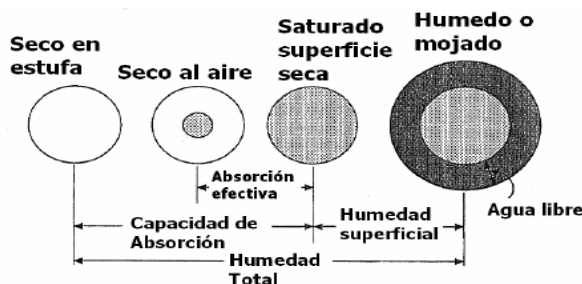


Fig. 2.1 Representación de los estados de humedad de los áridos.
Fuente: Ganoso y Rosa (2007).

La NC 184:2002 establece el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la humedad superficial de la arena, en referencia normativa de la ASTM C-70-94 Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate.

Determinación del material más fino que el tamiz de 0.074mm.

Este procedimiento se utiliza para determinar la cantidad total de finos existentes generalmente adheridos a las partículas de los áridos, que pasan por el tamiz de 0,074mm (No. 200). Consiste en determinar la masa inicial de una muestra de ensayo, separar el material fino mediante lavado y tamizado, y expresar la pérdida de material respecto a la masa inicial, entendiéndose por finos las porciones que pasa a través del tamiz de 0,074mm (No. 200). La norma cubana que regula el procedimientos equipos y herramientas es la NC 182:2002 referencia de la ASTM C 117-95 Test for Materials Finer than 0,074mm (N.200) Sieve in Mineral Aggregate by Washing.

Dosificación utilizada.

La dosificación utilizada certificada por el CTDMC en cuestión de la resistencia característica $f'c=30$ MPa con la introducción de zeolitas que aparecen la tabla 2.5, con las combinaciones de áridos de los centros de producción de Coliseo "Planta Antonio Maceo" y "Planta Libertad" del municipio de Limonar.

Tabla 2.5 Diseño de hormigón en planta para 1m³.
Fuente: Elaborada por el autor.

Materiales	Coliseo	Limonar
Cemento Pórtland (Kg)	325	325
Árido Fino (Kg)	974	994
Granito (Kg)	244	226
Gravilla (Kg)	656	656
Zeolita (Kg)	70	70
Agua (L)	178	176
A/C+P	0.42	0.42
Aditivo N 100 (L)	5.6	3.4

El ajuste del agua de amasado, mediante determinación a la humedad total de los áridos, aplicando la NC 755:2010. Debe efectuarse sistemáticamente antes de comenzar la producción diaria de los hormigones en la planta determinadas en el laboratorio presente en la planta, de manera que la cantidad de agua utilizada en la mezcla está afectada por un aumento de aproximadamente de 2 litros de absorción de los agregados en promedio para las combinaciones por amasada.

Como requisito práctico se establece que, el asentamiento de las mezclas, controlado con el ensayo de asentamiento del cono Abrams, es de 120 a 170 mm, que se pretende lograr con el uso necesario de aditivo en las muestras de, el aditivo N 100 RC, sin variaciones de la relación A/C establecida en el diseño de la mezcla, la empresa consta de algunas tecnologías de hormigonado en algunas obras que la plasticidad del concreto requerida para la colocación mediante cubo con el aditamento de manguera, izado por las grúas, con el fin de lograr la penetración del hormigón compactado, con agujas vibratorias, dentro de los encofrados metálicos, conteniendo el acero de refuerzo y las instalaciones, garantizando con este asentamiento la descarga de los trompos en la obra

Se corrobora durante la prueba la eficacia del empleo de la adición de zeolita para disminuir el consumo de cemento y lograr las mismas resistencias. La reducción fue de 100 Kg de cementos por cada m³, aproximadamente un ahorro potencial anual de .3 600 tn, con rendimiento en el diseño de 0.92. El comportamiento de la reacción puzolánica de las zeolitas naturales con productos de hidratación del cemento Pórtland se evidencia con el incremento significativo de la resistencia a la edad de 28 días, siendo su incremento exponencial al transcurso del tiempo.

Las probetas fueron identificadas para el adecuado orden en el control de la investigación. La resistencia a compresión será ensayada a las edades de 7 y 28 día. Serán 2 probetas por edad a los 7 días y 2 probetas por edad a los 28 días

Elaboración y resultados en hormigones.

Los resultados obtenidos presentada su metodología de trabajo sirvieron de base las dosificaciones desarrolladas en sucedidas investigaciones que forman parte del estudio de esta indagación. Una de las formas de demostrar la eficacia de los áridos finos y el uso de materiales cementicios y su correcto control. Los ensayos realizados fueron a partir del 2 de enero del 2013 hasta el 21 de enero del mismo año, según los métodos especificados en capítulo anterior.

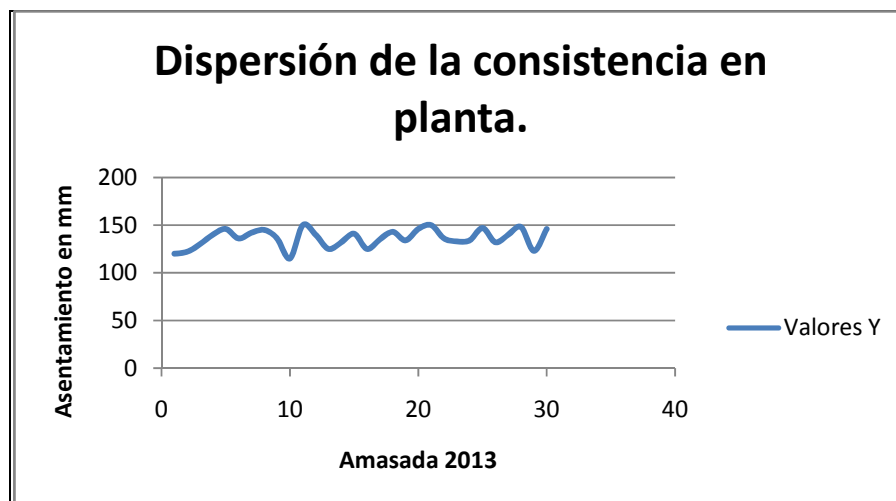
Se realizaron un total de 120 probetas de 150 x 300 mm, con dos muestras por edad, a los 7 y 28 días, para un total de 30 series de acuerdo a las especificaciones mínimas de control en plantas.

Para preparar el hormigón elaborado en las plantas "Las Morlas", las que cuenta con el software DOSAT con la dosificación automatizada aprobada por el CTDMC, con una mezcladora tipo forzada, de 1m³ de capacidad, y la transportación y entrega en carros trompos. La cantidad de amasadas propuestas son las necesarias aleatoriamente la cual completen las 30 series que se pretenden comprobar en el marco de nuestra investigación.

Todas las probetas se compactan por vía manual por el personal técnico capacitado, y se mantienen en tanque de curado en inmersión a 25°C y 100% de humedad y controladas, hasta la edad de ensayo.

En las amasada se tuvo en cuenta asentamiento exigido para la colocación en obra que es lo que se exige por el cliente para su correcta utilización, para eso se requirió añadir aditivo en la magnitud de 6l/m³ (0.9% de la masa de cemento). Una vez fijado este valor se realizan las repeticiones, obteniendo los asentamientos que se observan en la tabla 3.1. En las series estudiadas se ha mantenido puntualiza la consistencia de trabajo, es decir el asentamiento ha sido constante en los valores 100 y 150 mm pesar de la diferencia en la composición de sólidos, y se demuestra que puede ser controlada con el uso de aditivo químico.

Tabla 3.1 Dispersión de la consistencia en planta.
Fuente: Elaborada por el autor.



Las resistencias obtenidas a las diferentes edades en las amasadas para los diferentes periodos de estudios que abarcan 3 años para un total de 480 valores a comparar que aparecen en el Anexo 1,2 y 3.

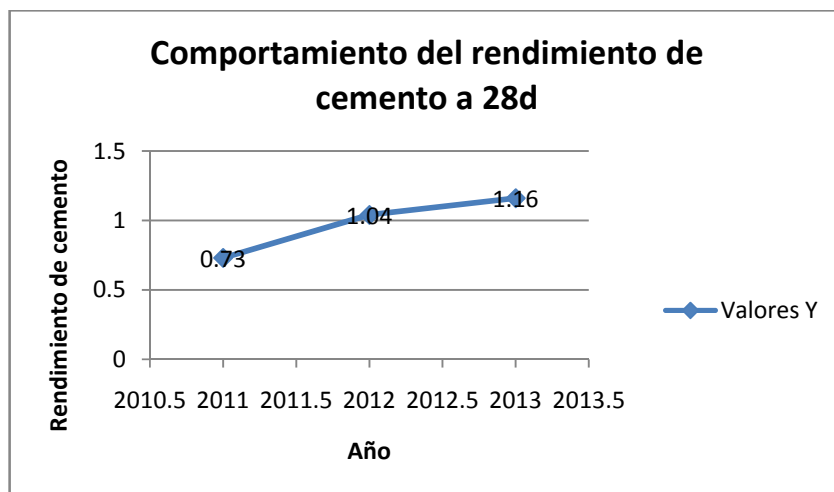
Los resultados estadísticos obtenidos a partir de la aplicación de la NC 192:2005 (ver anexo 4) nos demuestran que la desviación interna del ensayo (S_i), desviación del lote (S_L) y desviación entre amasadas (S_2^2) tienen valores que hacen válido estadísticamente la experimentación. La resistencia característica obtenida es 37,9 MPa, mayor que lo diseñado en 2,9 MPa.

Se tomaron los resultados almacenados por periodo de 2 años a partir del momento en que se comenzó con el uso combinado de adiciones al material cementante para lograr economía en el consumo de cemento e incrementar la resistencia y la durabilidad en los hormigones elaborados en la planta. En el año 2012 se comenzaron los primeros intentos de estudios en la introducción de zeolitas naturales cubanas siendo la EHV pionera en estas investigaciones, como parte de indagaciones conjunta con el Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción, en el anexo 1 se representa los resultados a partir del año 2011 sin uso de zeolita y como se incrementan los resultados de resistencia mecánica media y característica obtenidos en todas las ensayos (ver anexo 5), sin incluir las series del año 2011 que no se añaden puzolanas el rendimiento es muy bajo (anexo 6). De similar modo ocurre entonces con el rendimiento de cemento obtenido en todas las series, también se demuestra que no es necesario la transportación por criterio de resistencia de las arenas de nuestro contorno más cercano; sino que realmente los mitos acerca de las mismas son solo suposiciones de su textura muchas veces mal vista. Se resalta que para las series con el uso de zeolita incrementa la resistencia mecánica, como resultado de su reactividad puzolánicas y efecto en el refinamiento de poros muestran su eficacia al aumentar el rendimiento del cemento a la unidad (anexo 6). Es importante destacar que los valores de la relación A/C es teniendo en cuenta los valores de la absorción de los materiales que intervienen en el proceso en dependencia de cada centro de producción. Los resultados de resistencia mecánica media y característica obtenidos en todas las corridas, son superiores a lo planificado en el diseño. De igual modo ocurre entonces con el rendimiento de cemento obtenido en todas las series es superior al de diseño (0,8). La generalización actualmente trajo como resultados para la EHV un ahorro potencial de 31.150,3 t de cemento. Que en valores asciende a 1.590.720,6 CUC. Por concepto de transportación se deducen ahorros referidos a 107 carros silos menos anualmente.

Se resalta que para las series con el uso de zeolita como MCS el incremento de la resistencia mecánica, como resultado de su reactividad puzolánica y efecto microfiller muestran su eficacia al aumentar el rendimiento del cemento a la unidad. La resistencia característica media obtenida fue de 33.0MPa para la serie sin el uso de zeolitas en el año 2011 y se incrementan a 36,5 MPa para la series modelos del 2012 cuando se comenzó a utilizar la adicción puzolánica y ya para el muestreo realizado en este año la resistencia característica alcanza valores superiores a 40 MPa lo cual reporta rendimientos de cemento de 0,73, 1.04 y 1,16 respectivamente (Tabla 3.2).

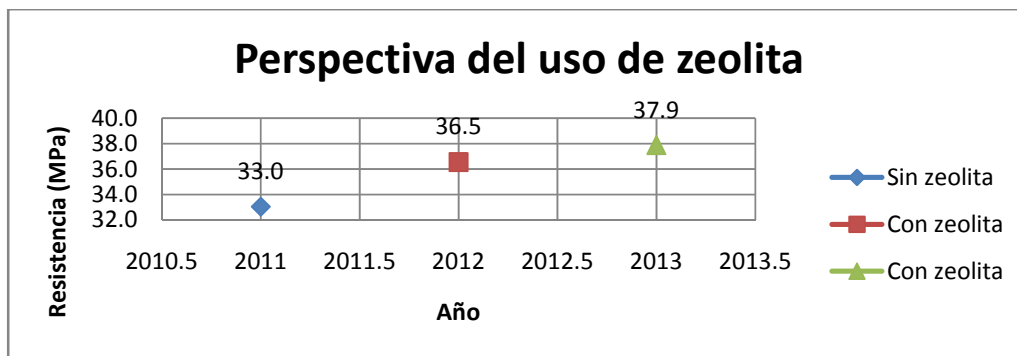
Tabla 3.2 Rendimiento de cemento.

Fuente: Elaborada por el autor



Es notable el incremento de las resistencia de las series con zeolitas a los 28 días, respecto a la serie sin la adición de materiales cementicios complementarios (Tabla 3.3),

Tabla 3.3 Posibilidad en el uso de zeolita naturales cubanas.
 Fuente: Elaborada por el autor.



Los resultados estadísticos obtenidos a partir de la aplicación de la NC192:2005 nos demuestran que la desviación interna del ensayo (S_t) Tabla. 3.4, desviación del lote (S_L) y desviación entre amasadas (S_2^2) tienen valores que hacen válido estadísticamente la experimentación. Los resultados a compresión axial de los hormigones con combinaciones de áridos finos de Matanzas son los esperados en y se manifiesta las excelentes propiedades mecánicas de nuestros materiales.

Tabla 3.4 Clasificación de las desviación de las muestras (ACI214-02).
 Fuente: Elaborada por el autor.



El monitoreo de la desviación típica total puede también aportar la percepción de los cambios del nivel de control o la variabilidad de la producción de las materias primas para el suministrador del hormigón, y de acuerdo a la tabla 3.4 la variabilidad en general del suministrador del hormigón es buena.

La estimación de la variación debido al ensayo, la desviación interna del ensayo tal como se discutió en el Capítulo 2, la variación combinada debido a la variación de las materias primas y la producción, que puede ser denominada la variabilidad del suministrador o del productor, se puede determinar conociendo la desviación típica total y la desviación interna del ensayo. La variabilidad del productor, medida por la desviación típica, es la raíz cuadrada de la diferencia del cuadrado de la desviación típica total (S_t) y la desviación interna del ensayo (S_1) (ver tabla. 3.5)

El suministrador que en lo adelante se concebirá como la EHV, puede estar al tanto directamente de la variabilidad de la producción, como la desviación interna del ensayo es razonablemente consistente, lo que representa que se cuenta con un buen programa de ensayos (ver tabla 3.5), con estos fundamentos se pueden seguir las pistas de la desviación típica total que al ser efectivos nos indican que no es necesarios indicar cambios ya sea en las materias primas en la producción del hormigón que en este caso son la introducción de zeolitas cubanas a nivel industrial de producción y el uso de áridos finos matanceros los cuales preceden de un comportamiento contrario a lo demostrado en laboratorios, y son por lo tanto herramientas confiables de la EHV, siendo los valores confiables con coeficiente de variación internos de las muestras los esperados ver tabla 3.6.

Tabla 3.5 Desviación entre los ensayos (ACI214-02).
 Fuente: Elaborada por el autor.

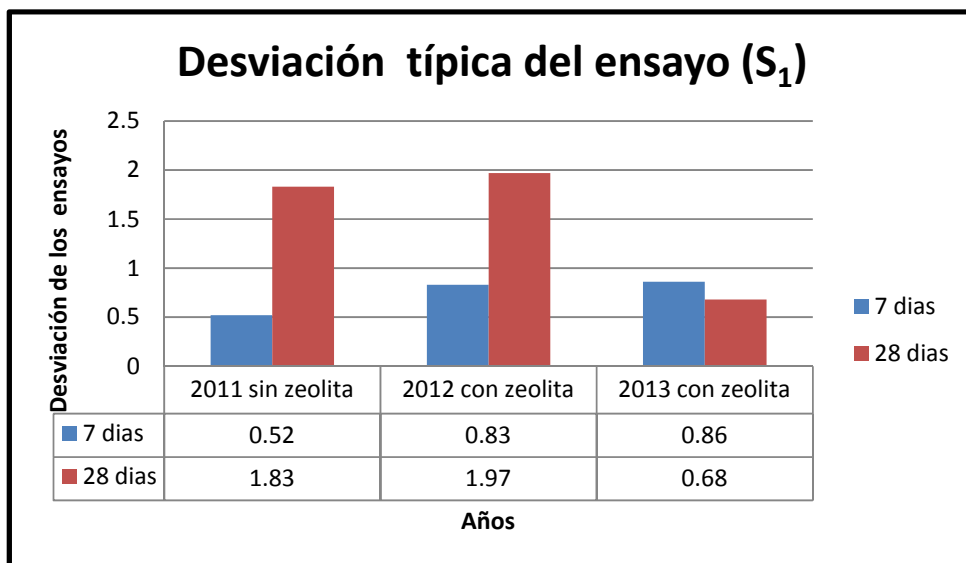
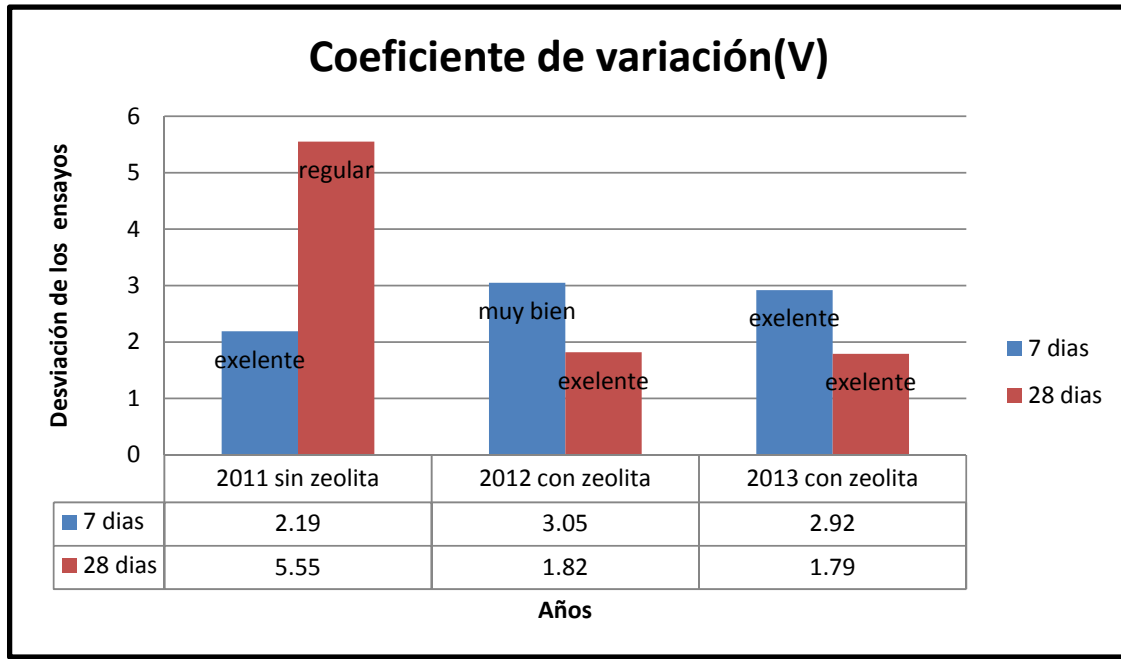


Tabla 3.6 Clasificación del coeficiente de variación interno (ACI214-02).
 Fuente: Elaborada por el autor.



Conclusiones:

1. Los incrementos en resistencia que produce el empleo de la zeolita como MCS en hormigones originan que se alcancen rendimientos de cemento de la unidad e incluso mayores, con garantía de durabilidad expresada por la compacidad. Las reservas nacionales de zeolita y la industria asociada a ella, así como las potencialidades de yacimientos e industrias, brindan la posibilidad de su utilización generalizada logrando economías de cemento y sustentabilidad del proceso producción de hormigón de resistencias típicas del país.
2. Es necesario el uso de aditivo químico superplastificante para lograr mantener las relaciones agua/cemento+puzolana que garanticen la coherencia y laborabilidad del hormigón sin detrimento de la durabilidad. La producción nacional de aditivos superplastificantes, garantizan la implementación del uso de la zeolita como material cementicios suplementario.
3. La generalización del uso de la zeolita como MCS en la producción de hormigón industrializado es factible técnica y económicamente con el empleo de la zeolita. Están creadas las condiciones para ejecutar la transportación de la zeolita a los centros de producción en silos de cemento. Se requieren inversiones en las plantas para la asimilación tecnológicamente confiable, referidas fundamentalmente a silos para almacenamiento y software para la dosificación automática.

Ing. Reynaldo Sarria Hernández, DrC. Arq. Regino A. Gayoso Blanco, Ing. Ernesto J. Díaz Bring.
Controles preventivos del cumplimiento de especificaciones.

4. El manejo y control del uso de la zeolita en la producción de hormigón premezclado a nivel industrial se realizó en la Empresa de Hormigón de Varadero, donde se ejecutaron las inversiones necesarias y han producido para este trabajo de diploma, (15 días de trabajo del mes de enero), 210 m³ de hormigón con adiciones de zeolita para diferentes obras.
5. La generalización permite un ahorro potencial de 31.150,3 t de cemento. Que en valores asciende a 1.590.720,6 CUC. Por concepto de transportación se deducen ahorros referidos a 107 carros silos menos anualmente.

Recomendaciones:

1. Continuar de manera acelerada la aplicación generalizada de la zeolita como MCS en la producción de hormigón industrializada del país de manera que se logre un manejo eficiente del cemento (rendimientos iguales a la unidad) y los portadores energéticos en la rama de las construcciones.
2. Divulgar el conocimiento de la aplicación de la zeolita como MCS en el MICONS para que el programa de generalización sea llevado a cabo con rigor científico que garantice el resultado satisfactorio de esta innovación.
3. Revisar la normativa cubana referida a los materiales puzolánicos para definir claramente los requisitos y especificaciones, en función de las propiedades de las fuentes de puzolanas nacionales disponibles (zeolita).

Bibliografía:

1. Aitcin Pierre C. Cements of yesterday and today. Concrete of tomorrow, Review. Cement Concrete Research 30: 1349-1359; 2000.
2. Aitcin Pierre C. El futuro del hormigón y el hormigón del futuro. Innovación y percepción social en las infraestructuras: el futuro del hormigón. 2008.
3. Cánovas Fernández M., Hormigón de alta resistencia y durabilidad. <http://www.gecgr.co.cu>. 2005.
4. Cohen M.D., Chen Wai-Fah, Goldman A. The Role of Silica Fume in Mortar: Transition Zone Versus Bulk Paste Modification. Cement and Concrete Research 24: 95-98; 2004.
5. Cook, J. E., 1982. "Research and Application of High Strength Concrete Using Class C Fly Ash", Concrete International, V. 4, No. 7, July, pp 72-80.
6. Cook, J. E., 1989, "10 000psi Concrete", Concrete International, V. 11, No. 10, Oct., pp. 67-75.
7. Cuevas Toraya Juan de las. 500 Años de Construcciones en Cuba. Edición Servicios Gráficos y Editoriales; 2001.
8. Damtoft S., Lukasik J., Herfort D., Sorrentino D., Gartner E. Sustainable development and climate change initiatives. Cement and Concrete Research 38: 115-127; 2008.

9. Erntroy, H. C., 1960, "The Variation of Works Test Cubes", Research report No. 10, Cement and Concrete Association, London, 28 pp.
10. Frédéric D., Davidovits J. Up to 80% reduction of CO₂ Green house Gas emission during cement manufacture; <http://www.worldwide.com>; 2008.
11. Gayoso R. et al. Cemento Pórtland puzolánico y puzolánico. Evaluación del cemento producido por la fábrica José Merceron de Santiago de Cuba. Informe de Proyecto de Investigación 030. CTDMC; 1976.
12. Gayoso R. Historia y futuro de los Hormigones de Altas Prestaciones en Cuba. Memorias Jornada de Ingeniería Civil en Cuba; 2004.
13. Gianneto G. y Rodríguez G. Zeolitas. Características, propiedades y Aplicaciones Industriales. Editorial Innovación Tecnológica. Facultad de Ingeniería. UCV. Caracas; 2000.
14. Habert G., Billard C., Rossi P., Chen C., Roussel N. Cement production technology improvement compared to factor 4 objectives. Cement and Concrete Research 40: 820–826; 2010.
15. Lean James Mc. Trends in coal combustion products. Utilization in North America. Proceedings APEC Conference. Kuala Lumpur, 2002.
16. Linhua J., Guan Y. Pore structure and its effect on strength of high-Volume fly ash paste. Cement Concrete Research 29: 631-633; 2009.
17. Martin A. R., Howland Albear J.J. Estudio de durabilidad de hormigones premezclados con cementos con adición. Reporte de Investigación MICONS; 2005.
18. Martirena José F. Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerante de clinker de cemento Pórtland: el aglomerante cal-puzolana como adición mineral activa / José F. Martirena Hernández. -- Tesis de grado de Doctor en Ciencias: UCLV (Const.); 2004.
19. Mehta P. K. Roadmap to a sustainable concrete construction industry. Construct Specifier 6 (1); 2008.
20. Metclaf, J. B., 1970, "The Specification of Concrete Strength, Part II, The Distribution of Strength of Concrete for Structures in Current Practice, "RRL Report No. LR 300, Road Research Laboratory, Crawthorne, Berkshire, pp. 22.
21. Metha P., Folliard. K. Rice husk- A unique supplementary cementing material. Durability aspects. Advances in Concrete Technology. ACI SP 154; 2006.
22. Murdock, C. J., 1953, "The Control of Concrete Quality," Proceeding, Institution of Civil Engineers (London), V. 2, Part I, July, pp. 426-453.
23. Neville, A. M., 1959, "The relation Between Standard Deviation and Mean Strength of Concrete test Cubes", Magazine of Concrete Research (London), V. 11, No. 32, July, pp. 75-84.
24. Rabilero A., et al. Empleo de los aglomerantes cal-puzolana en la construcción. Fórum Nacional de Ciencia y Técnica. La Habana; 1992.

25. Rabilero A. Producción y empleo de los cementos belíticos. *Cemento Hormigón* N°. 896: 12- 20; Diciembre 2006.
26. Ramachandran V.S., Beaudou J. J. *Handbook of analytical Techniques in concrete Science and technology*. Ed. Institute for Research in Construction National Research Council. Noyes publications, 2001
27. Rosell M. Diseño de dosificación para la planta de prefabricado de Alamar. Parte 1. Con arena y Gravilla 25-5, 2004.
28. Roskovic R. B. D. Role of mineral additions in reducing CO2 emissions. *Cement Concrete Research*. 35: 974–978; 2005.
29. Scrivener K., Kirkpatrick J. Innovation in use and research on cementitious material. *Cement and Concrete Research (USA)* 38: 128–136; 2008.
30. Rusch, H., 1964, "Statistical Quality Control of Concrete" *Materalprufung (Dusseldorf)*, V. 6, No. 11, Nov., pp. 387-394.
31. Scrivener K., Kirkpatrick J. Innovation in use and research on cementitious material. *Cement and Concrete Research (USA)* 38: 128–136; 2008.
32. Vanderborght B. The Cement CO2 Protocol: CO2 Emissions Monitoring and Reporting /Vanderborght B, Protocol for the Cement Industry. October 19; 2001.
33. Verbeck G. Carbonatation of hydrated Portland cement. *Bulletin 87*, PCA. Washington, DC, 1958.
34. <http://www.Buildinggreen.com> Cement and Concrete: Environmental considerations; 2008.
35. <http://www.cembureau.ce> The European Cement Industry. Climate Change & policies to Emission Reduction. Asociación Europea del Cemento; 2009.
36. <http://www.portcement.org> Timeline of Concrete. The Portland cement Association Online; 2009.
37. MICONS. Reporte Estadístico 126 529 Consumo de cemento. MICONS; Diciembre 2009
38. MINBAS. Reporte Anual Empresa Cubana del Cemento y el Vidrio; 2009.
39. ACI 214R-02. Evaluación de los resultados de los ensayos de resistencia del hormigón
40. NC 120 2007 Hormigón hidráulico. Especificaciones. 2007.

Anexo 1 Muestreo de hormigón de la EHV 2011

SABANA DE MUESTRO EN OBRA 2011

7 días					28 días				
No. Muestras			Σ	R	No. Muestras			Σ	R
1	2	3			1	2	3		
28,0	27,1	26,5	27,2	1,5	37,5	37,2	36,4	37,0	1,1
27,1	26,8	26,3	26,7	0,5	36,9	36,6	35,8	36,4	1,1
27,7	27,1	26,5	27,1	0,6	36,9	36,6	36,1	36,5	0,8
29,7	29,4	29,4	29,5	0,3	39,2	39,0	37,8	38,7	1,4
18,8	18,2	17,6	18,2	1,2	27,7	26,8	26,3	26,9	1,4
16,4	16,2	15,9	16,2	0,5	26,0	25,7	24,8	25,5	1,2
17,9	17,6	17,0	17,5	0,9	26,5	26,3	25,7	26,2	0,8
14,7	14,4	14,1	14,4	0,6	25,1	23,9	23,1	24,0	2,0
21,4	20,8	20,8	21,0	0,6	30,3	29,7	28,9	29,6	1,4
24,2	23,7	23,1	23,7	1,1	32,3	32,0	31,5	31,9	0,8
17,6	17,0	16,7	17,1	0,9	31,5	30,9	29,7	30,7	1,8
28,0	27,1	26,8	27,3	1,2	36,6	35,8	35,8	36,1	0,8
29,7	29,1	28,3	29,0	1,4	38,7	38,1	37,2	38,0	1,5
29,1	28,6	27,7	28,5	1,4	39,0	38,4	37,5	38,3	1,5
15,3	15,3	14,7	15,1	0,6	25,7	25,1	24,2	25,0	1,5
22,1	22,8	22,2	22,4	0,7	34,3	33,5	33,2	33,7	1,1
29,4	29,1	28,9	29,1	0,5	38,1	37,2	36,6	37,3	1,5
26,3	26,0	25,4	25,9	0,9	39,2	39,0	38,1	38,8	1,1
29,4	29,1	29,1	29,2	0,3	39,2	38,4	37,5	38,4	1,7
24,2	23,9	23,4	23,8	0,8	33,8	33,2	30,3	32,4	3,5
22,8	22,8	22,2	22,6	0,6	33,5	33,2	32,3	33,0	1,2
20,8	20,5	20,2	20,5	0,6	29,7	28,9	28,3	29,0	1,4
20,5	20,5	19,9	20,3	0,6	33,2	32,9	32,3	32,8	0,9
21,5	20,5	19,9	20,6	1,6	29,1	28,9	28,6	28,9	0,5
22,2	21,4	21,1	21,6	1,1	31,2	30,6	30,3	30,7	0,9
29,1	28,9	28,6	28,9	0,5	36,9	36,4	36,1	36,5	0,8
21,4	20,8	20,5	20,9	0,9	30,3	29,4	29,1	29,6	1,2
24,8	23,9	23,1	23,9	1,7	34,6	33,8	33,2	33,9	1,4
30,6	30,0	29,4	30,0	1,2	38,4	37,5	37,2	37,7	1,2
30,0	29,4	29,1	29,5	0,9	38,1	38,1	37,5	37,9	0,6
		Σ	23,6	0,87				33,0	1,27
		S	4,76	0,38				4,57	0,54
		S ₁	0,52					1,83	
		S ₂	4,73					4,19	

Anexo 2 Muestreo de hormigón de la EHV 2012

SABANA DE MUESTRO EN OBRA 2012

7 días					28 días				
No. Muestras			x̄	R	No. Muestras			x̄	R
1	2	3			1	2	3		
21,5	20,9	19,8	20,7	1,7	32,6	31,7	31,2	31,8	1,4
23,2	22,6	22,1	22,6	0,5	32,8	32,3	31,1	32,1	1,7
31,1	31,1	30,6	30,9	0,5	41,9	40,7	41,3	41,3	0,6
27,2	26,0	24,9	26,0	1,2	36,2	34,5	34,0	34,9	2,2
30,0	29,4	28,9	29,4	1,1	38,5	37,9	36,5	37,6	2,0
30,6	30,0	30,0	30,2	0,6	40,7	39,6	38,5	39,6	2,2
24,9	23,8	23,2	23,2	1,7	34,0	33,4	32,8	33,4	1,2
24,9	24,3	23,2	24,1	1,7	34,0	34,5	35,1	34,5	-1,1
30,0	28,3	28,3	28,9	1,7	37,9	37,4	36,2	37,2	1,7
24,3	23,8	23,2	23,8	1,1	34,0	33,4	32,8	33,4	1,2
25,5	24,3	23,2	24,3	2,3	35,7	34,5	33,4	34,5	2,3
31,7	30,6	29,4	30,6	2,3	39,6	39,1	38,5	39,1	1,1
30,6	30,0	28,9	29,8	1,7	39,6	38,5	37,4	38,5	2,2
29,4	28,3	27,7	28,5	1,7	39,1	39,1	38,5	38,9	0,6
28,3	27,2	28,1	27,9	0,2	37,9	37,4	37,3	37,5	0,6
31,7	31,7	30,6	31,3	0,0	40,2	39,6	39,1	39,6	1,1
30,0	28,3	28,3	28,9	1,7	38,5	37,9	37,4	37,9	1,1
25,5	24,9	24,3	24,9	1,2	34,0	33,4	32,8	33,4	1,2
30,6	30,0	29,8	30,1	0,8	40,7	39,6	38,5	39,6	2,2
24,3	23,8	22,6	23,6	1,7	33,4	32,8	31,7	32,6	1,7
23,8	23,2	22,6	23,2	1,2	32,8	32,3	32,3	32,5	0,5
30,6	30,0	29,4	30,0	1,2	38,5	37,9	38,2	38,2	0,3
24,3	23,8	22,6	23,6	1,7	35,1	34,0	33,4	34,2	1,7
27,7	26,6	26,0	26,8	1,7	36,8	36,8	35,7	36,4	1,1
29,4	28,9	27,7	28,7	1,7	38,5	37,4	36,8	37,6	1,7
31,7	30,6	29,4	30,6	2,3	40,7	39,6	39,1	39,8	1,6
26,6	25,5	24,9	25,7	1,7	36,8	36,2	35,1	36,0	1,7
28,9	28,3	27,2	28,1	1,7	38,5	37,9	36,8	37,7	1,7
28,3	27,2	27,2	27,6	1,1	37,9	37,4	36,2	37,2	1,7
31,7	30,6	29,4	30,6	2,3	40,2	39,1	38,5	39,3	1,7
		Σ	27,2	1,40				36,5	1,36
		S	3,02	0,60				2,68	0,71
		S ₁	0,83					1,97	
		S ₂	2,90					1,81	

Anexo 3 Muestreo de hormigón de la EHV 2013

SABANA DE MUESTRO EN OBRA 2013							
--------------------------------	--	--	--	--	--	--	--

7 días				28 días			
No. Muestras		Σ	R	No. Muestras		Σ	R
1	2			1	2		
22,6	22,1	22,4	0,5	31,7	31,1	31,4	0,6
35,1	34,0	34,6	1,1	42,8	41,9	42,4	0,9
39,6	39,1	39,4	0,5	46,4	45,8	46,1	0,6
39,6	39,1	39,4	0,5	47,6	47,0	47,3	0,6
31,7	30,0	30,9	1,7	40,7	39,6	40,2	1,1
33,4	31,7	32,6	1,7	39,6	38,5	39,1	1,1
34,0	32,3	33,2	1,7	40,7	39,6	40,2	1,1
28,9	28,3	28,6	0,6	36,2	35,1	35,7	1,1
23,2	22,1	22,7	1,1	32,8	31,7	32,3	1,1
31,7	30,6	31,2	1,1	40,7	39,1	39,9	1,6
26,6	26,0	26,3	0,6	34,5	34,0	34,3	0,5
28,9	27,2	28,1	1,7	36,2	35,7	36,0	0,5
29,4	28,3	28,9	1,1	37,8	37,2	37,5	0,6
31,1	30,0	30,6	1,1	39,8	39,4	39,6	0,4
33,4	32,8	33,1	0,6	42,1	41,9	42,0	0,2
33,4	32,3	32,9	1,1	42,8	42,0	42,4	0,8
33,4	32,3	32,9	1,1	42,4	41,3	41,9	1,1
23,2	22,1	22,7	1,1	31,7	31,1	31,4	0,6
23,8	23,2	23,5	0,6	33,4	32,8	33,1	0,6
23,8	22,6	23,2	1,2	32,8	32,3	32,6	0,5
31,7	31,1	31,4	0,6	39,0	38,5	38,8	0,5
34,0	32,8	33,4	1,2	41,9	40,7	41,3	1,2
32,8	32,3	32,6	0,5	41,3	40,8	41,1	0,5
30,6	29,4	30,0	1,2	39,6	38,5	39,1	1,1
34,5	34,0	34,3	0,5	43,0	42,4	42,7	0,6
23,8	22,6	23,2	1,2	32,8	32,8	32,8	0,0
28,3	27,3	27,8	1,0	38,5	37,9	38,2	0,6
22,6	22,1	22,4	0,5	31,7	30,6	31,2	1,1
26,0	24,9	25,5	1,1	35,1	34,6	34,9	0,5
22,6	22,1	22,4	0,5	32,3	31,1	31,7	1,2
	Σ	29,3	0,97			37,9	0,76
	S	3,93	0,40			2,48	0,35
	S ₁	0,86				0,68	
	S ₂	2,83				2,38	

Anexo 4 Tabla resumen de los resultados estadísticos por años.

Variables	2011		2012		2013	
	7días	28días	7días	28días	7días	28días
S_1	0,52	1,83	1,97	0,86	0,86	0,68
S_2	4,73	4,19	1,81	3,83	3,83	2,38
V	2,19	5,55	1,82	2,92	2,92	1,79

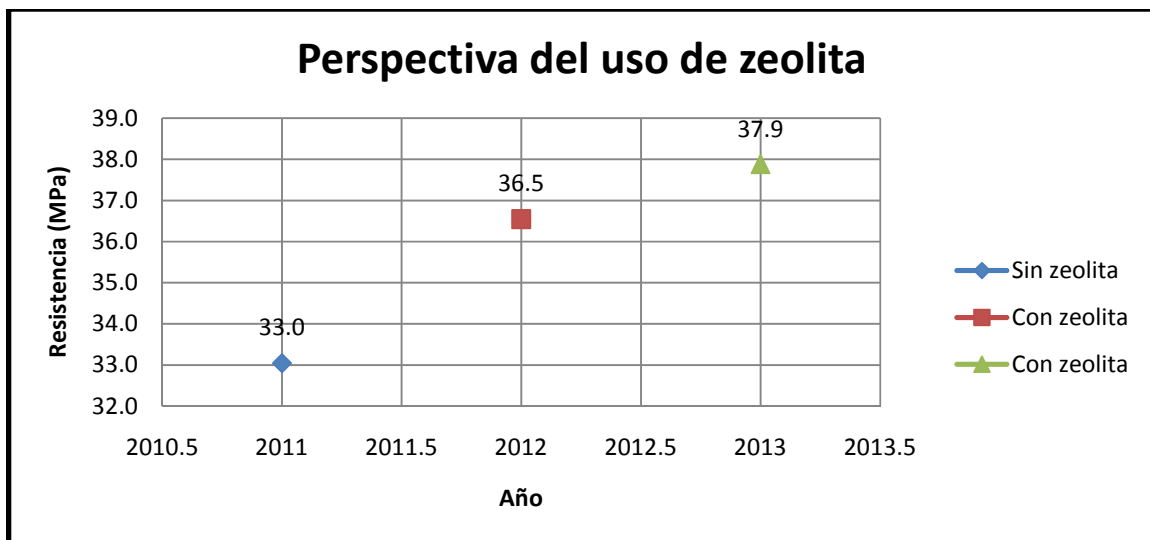
Donde:

S_1 : Desviación típica interna del ensayo.

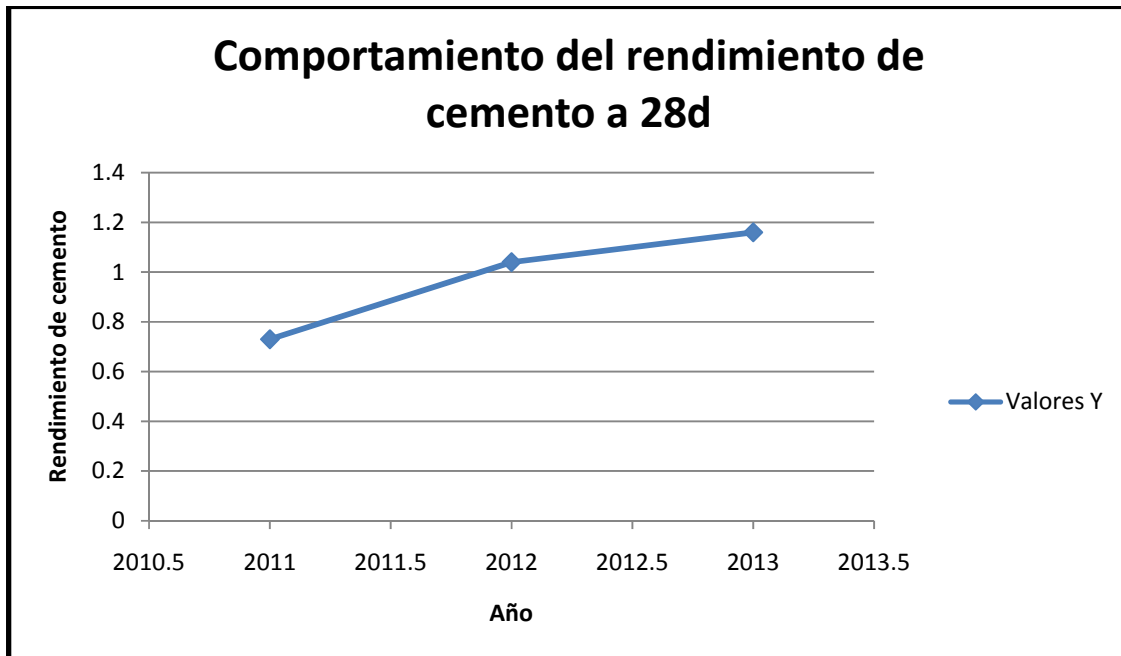
S_2 : Desviación típica de amasada a amasada.

V : Coeficiente de variación.

Anexo 5 Ventaja de la zeolita en la resistencia a compresión.



Anexo 6 Rendimiento del cemento.



Anexo 7 Humedad superficial de los áridos.

Código	Humedad superficial (%)
Arena Coliseo	1.4
Arena Limonar	1.3
Gravilla Coliseo	0.1