

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS”

FACULTAD DE CONSTRUCCIONES

ESPECIALIDAD INGENIERÍA CIVIL



TRABAJO DE DIPLOMA

**Título: Comportamiento del bio-producto
CBQ-VTC como aditivo plastificante en pastas.**

Autora:

Maylen Machado Torres

Tutores:

MSc. María Betania Díaz García

Ing. Robelio Ramos Méndez

Santa Clara, 2015

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a:

Mis padres y hermana por su amor siempre y principales responsables de que hoy este cumpliendo mis sueños, que más que mío es suyo también.

A mi esposo por estar siempre a mi lado, apoyándome y ayudándome en cada momento, por luchar a mi lado y hacer suyos mis problemas, por ser mi motivación y fuerzas cada día.

A mi familia toda, mis amigos y profesores.

Agradecimientos

Quisiera agradecer antes que nada aquellos que merecen todo el mérito, a esos que me lo han dado todo, a esos que debo todo lo que soy, mis padres Maribel y Esmildo, por su derroche de amor y apoyo cada día, por saberme guiar hasta lo que hoy soy, como profesional y como persona, por toda su comprensión y dedicación en cada etapa de mi vida.

A mi hermana Daylen por estar siempre a mi lado.

A mi familia en general por todo su cariño, por confiar siempre en mí, por ser parte de cada momento importante, y en especial de este.

A mi esposo Jorge Luis, por todo su amor, comprensión, ayuda siempre que lo necesite y cuando no también, por ser mi amigo, mi mayor ejemplo, por motivarme a querer ser mejor persona y profesional cada día, por cuidarme y estar conmigo en cada momento difícil, por escucharme y secarme las lágrimas de sacrificio que este trabajo costo, gracias a ti mi amor por ser tan especial.

A mis amigas por tenderme una mano cuando las necesité.

A mi suegro Jorge Cao, que ha sido como mi padre, por su apoyo y ayuda en cada decisión, por brindarme su sabiduría y amor.

A mis tutores María Betania y Robelio que me han sabido guiar, y me han enseñado todo este tiempo, por toda su ayuda y dedicación para que este trabajo fuera posible.

A mis profes todos de mi carrera, que durante estos 5 años me han enseñado, educado y me han dado todo los conocimientos para poder

estar hoy aquí. En especial al profe Raúl González por su ayuda incondicional en la confección del presente trabajo, por todos sus conocimientos que me hicieron aprender mucho y que con toda voluntad puso a disposición de todos sus estudiantes.

A todos los que me ofrecieron su ayuda en los laboratorios del CBQ, en especial Yaset, Belkis y Tatiana.

A los compañeros de los laboratorios de la ENIA, en especial Irely.

A todas las personas que de una forma u otra se sientan partícipes de este trabajo.

Muchas Gracias!!!

Resumen

La industria química y de la construcción buscan de manera progresiva soluciones para modificar las propiedades del hormigón como material de construcción más utilizado en el mundo, de modo que se ajusten a las necesidades de los procesos constructivos y de las edificaciones, que ellos mismos ofrecen. En este sentido, se introducen los aditivos químicos como un componente más para la fabricación de pastas, morteros y hormigones. El uso de aditivos químicos en la industria de la construcción de Cuba, constituye uno de los principales factores que influyen en el encarecimiento del proceso constructivo al estar el mercado mundial de estos productos en poder de grandes corporaciones que radican en países desarrollados. Una de las alternativas que se están investigando en nuestro país en este momento para sustituir los aditivos comerciales, es el uso de un aditivo plastificante de origen biológico, denominado por sus creadores como CBQ-VTC (Viscoso, Tenso-activo y Controlador de la retracción), que tiene como base estudios anteriores sobre un bio-producto denominado MEF-32, que alcanzó valores óptimos en cuanto a la reología en pastas pero con un alto por ciento de utilización. Precisamente el siguiente trabajo centra su análisis en determinar el efecto de la adición del producto orgánico CBQ-VTC en pastas de cemento Portland Ordinario. El proceso se basó en una etapa experimental en la que se evaluó la influencia del bio-producto en la fluidez, el tiempo de fraguado, consistencia normal y el índice de plasticidad de las pastas de cemento Portland, para ello se variaron las dosis en valores que oscilan entre el 1.5%, 2%, 3.5% y 5% del peso del aglomerante, realizando los ensayos de Cono de Marsh, Aguja de Vicat y Minicono, con el fin de ofrecer un producto capaz de sustituir el uso de aditivos extranjeros.

Abstract

The chemistry and construction industry are looking for, in a progressive way, solutions to modify the properties of the concrete as a construction material most used in the world, trying to adjust these properties to the necessities of the constructive process and the edifications that they offer. In this way, are introduced the chemistry additives as one more component to make paste, mortars and concretes. The use of chemistry additives in the construction industry in Cuba, is one of the main indicators that affect the prices increase of the constructive process, being the World Market of these products in hands of big corporations with their locations in the most developed countries. One of the alternatives that are being investigated in our country in this moment to replace the commercial additives, is the use of a plasticizer additive with biologic origin, named by the creators as CBQ-VTC (Viscous, Tense-Active and Retraction Controller), that have as origin a previous research, about a bioproduct named MEF-32, that got the optimal values as to the Reology in paste, but using a high percent of utilization. Precisely the next research focuses its analysis in determine the effect of the addition of the organic product CBQ-VTC in pastes of ordinary "Portland" cement. The process was based in an experimental step in which was evaluated the influence the bioproduct in the fluency, the forged time, the normal consistency and the plasticity index of the pastes of "Portland" cement. For this were varied the dosis in values that range between 1.5%, 2%, 3.5% and 5% of the agglomerant weight, doing the essays of "Cono de Marsh", "Aguja de Vicat" and "Minicono", in order to provide a product able to replace the use of foreign additives.

Índice

| | |
|---|----|
| <u>Dedicatoria</u> | I |
| <u>Agradecimientos</u> | II |
| Resumen | IV |
| Abstract | V |
| Introducción | 1 |
| CAPÍTULO I. Influencia de los aditivos plastificantes en las propiedades físico-reológicas en pastas de cemento Portland Ordinario..... | 8 |
| 1.1 Pastas de cemento Portland. Definición | 8 |
| 1.1.1 Características de las pastas de cemento. Influencia de hidratación | 8 |
| 1.1.2 Índice de plasticidad en pastas de cemento | 8 |
| 1.1.3 Tiempo de fraguado y consistencia normal en pastas de cemento | 9 |
| 1.1.4 Encogimiento químico en pastas de cemento | 10 |
| 1.1.5 Fluidez en pastas de cemento..... | 10 |
| 1.2 El cemento Portland | 11 |
| 1.2.1 Composición Química del Cemento Portland | 11 |
| 1.2.2 Reacciones de hidratación del cemento | 13 |
| 1.2.3 Hidratación del cemento Portland. Etapas de hidratación | 14 |
| 1.2.4 Cinética de la hidratación | 16 |
| 1.3 Aditivos. Definición | 17 |
| 1.3.1 Clasificación de aditivos | 18 |
| 1.3.2 Aditivos plastificantes (fluidificantes o reductores de agua).Definición..... | 21 |
| 1.3.2.1 Composición | 22 |
| 1.3.2.2 Efecto | 22 |
| 1.3.2.3 Principales funciones y aplicaciones..... | 24 |
| 1.3.2.4 Efecto de los plastificantes en pastas de cemento..... | 25 |
| 1.4 Aditivos biológicos | 26 |
| 1.4.1 Tecnología de Microorganismos Eficientes (EM). Surgimiento de la tecnología EM..... | 27 |
| 1.4.2 Definición de Microorganismos Efectivos | 27 |
| 1.4.3 Proceso de obtención de los EM | 28 |
| 1.4.4 Caracterización biológicas del EM..... | 28 |

| | |
|---|----|
| 1.4.5 Caracterización química del EM..... | 30 |
| 1.4.6 Antecedentes del uso de EM en Cuba..... | 31 |
| 1.5 Aplicaciones generales de los productos EM en el ámbito internacional | 32 |
| 1.5.1 Antecedentes de la tecnología EM en la elaboración de pastas, morteros y hormigones, producidos en Cuba..... | 33 |
| Conclusiones parciales del Capítulo I | 38 |
| CAPÍTULO II. Materiales y métodos en la caracterización del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento Portland Ordinario. | 39 |
| 2.1 Materiales utilizados en la elaboración de las pastas de cemento Portland. Caracterización de los materiales utilizados en la investigación | 39 |
| 2.1.1 Agua | 39 |
| 2.1.2 Cemento..... | 40 |
| 2.1.3 Aditivos..... | 41 |
| 2.1.3.1 Aditivo bio-plastificante MEF-32..... | 41 |
| 2.1.3.2 Bio-producto CBQ-VTC..... | 41 |
| 2.2 Diseño de experimento | 41 |
| 2.2.1 Procedimiento | 43 |
| 2.3 Efecto del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento..... | 43 |
| 2.3.1 Determinación del índice de plasticidad por el método del Minicono | 44 |
| 2.3.2 Determinación de la consistencia normal y tiempo de fraguado. Ensayo de la Aguja de Vicat..... | 49 |
| 2.3.3 Determinación de la fluidez. Ensayo del Cono de Marsh | 52 |
| Conclusiones parciales del Capítulo II | 56 |
| CAPÍTULO III. Análisis del comportamiento del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento Portland Ordinario..... | 57 |
| 3.1 Análisis del índice de plasticidad de las pastas de cemento con diferentes dosis. Ensayo del Minicono..... | 57 |
| 3.2 Análisis de la fluidez de las pastas de cemento con diferentes dosis. Ensayo del Cono de Marsh | 63 |
| 3.3 Análisis de la consistencia normal en pastas de cemento con diferentes dosis. Ensayo Aguja de Vicat..... | 65 |
| 3.4 Análisis de los tiempos de fraguados inicial y final en pastas de cemento con diferentes dosis. Ensayo Aguja de Vicat | 67 |
| Conclusiones parciales del Capítulo III | 73 |

| | |
|---|----|
| Conclusiones Generales | 74 |
| Recomendaciones..... | 75 |
| Bibliografía..... | 76 |
| Anexo I: “Fluidez Cono de Marsh” | 84 |
| Anexo II: “Tiempo de fraguado inicial”..... | 88 |
| Anexo III: “Tiempo de fraguado final” | 92 |
| Anexo IV: “Resultados obtenidos en el ensayo Cono de Marsh” | 96 |
| Anexo V: “Resultados obtenidos en el ensayo Aguja de Vicat” | 97 |
| Anexo VI: “Resultados obtenidos en el ensayo del Minicono” | 99 |

Introducción

Introducción

El uso del hormigón como elemento constructivo ha estado presente en multitud de estructuras y edificaciones desde los albores del Imperio Romano hasta nuestros días (Nistal Cordero et al., 2012). Hace casi dos siglos, se ha convertido en el material de construcción más utilizado en todo el mundo (Jonkers, 2007). Y sus volúmenes alcanzan, hasta $10^{12} \text{m}^3/\text{año}$ (Flatt et al., 2012). De forma paralela han ido evolucionando con él, tanto los elementos básicos de las obras en las que se ha utilizado este material como la propia puesta en obra del mismo, los ensayos que se realizan sobre éste para asegurar su calidad y los aditivos utilizados en la elaboración del propio hormigón (Nistal Cordero et al., 2012).

La industria química y de la construcción buscan de manera progresiva soluciones para modificar las propiedades de este material, de modo que se ajusten a las necesidades de los procesos constructivos y de las edificaciones. En este sentido, se introducen los aditivos químicos como un componente más para la fabricación de pastas, morteros y hormigones (Hermida, 2012). Hace una decena de años que los aditivos se multiplican en muchos países, los fabricantes ponen a punto productos más adecuados a las necesidades de la construcción moderna (Civil, 2009).

Sin el uso de aditivos, no existirían los hormigones y morteros secos modernos ni tampoco podrían lograrse muchas propiedades técnicas. Los aditivos son de origen orgánico o inorgánico y, con frecuencia, de naturaleza polimérica. Los aditivos pueden mejorar el amasado con agua de los hormigones y morteros secos (Civil, 2009).

Estas sustancias modifican las propiedades del hormigón en estado fresco y/o endurecido, para el mejor comportamiento en las condiciones particulares de servicio NC 228-1: 2005 (NC228-1, 2005). Son incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, produciendo la modificación deseada de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento (EHE, 2008), (Nistal Cordero et al., 2012). Los

aditivos permiten la producción de hormigones con características diferentes a los tradicionales, han dado un creciente impulso a la construcción y se consideran como un nuevo ingrediente, conjuntamente con el cemento, el agua y los agregados. Existen ciertas condiciones o tipos de obras que los hacen indispensables (Capítulo de Ingenieros Civiles, 2013). En la actualidad, existe una amplia gama de este tipo de productos, los cuales se clasifican en dependencia de la propiedad mejorada del hormigón (Collepari, 2005).

El mercado internacional de estos productos está liderado por grandes empresas en países del primer mundo, y su alto costo asociado se convierte inasequible para muchos países en vías de desarrollo o encarecen considerablemente los costos de producción de hormigón. De ahí, la necesidad de buscar nuevas alternativas más económicas y eficientes para el desarrollo de nuevos aditivos.

En este sentido, productos que fueron desarrollados en su primer instancia para industrias como la agricultura, se comienzan a utilizar a partir del año 2003 como aditivos modificadores de las propiedades del hormigón (Higa et al., **2003**). Estos nuevos productos de fermentación son el resultado de la fermentación microbiana de un consorcio de diferentes familias de microorganismos con hojarasca, melaza y sub productos lácteos y se conocen como productos EM (del inglés: Effective Microorganism) (Higa and Parr, 1994),(Higa et al., **2003**).

Investigadores cubanos, con la idea de sustituir importaciones en la industria de la construcción, han obtenido importantes resultados con los productos MEF (Microorganismos Eficientes del Finlay), como aditivos plastificantes (Martirena et al., 2014), (Venkovic et al., 2013). Sin embargo, estos presentan propiedades moderadas como plastificantes en pastas, morteros y hormigones con cemento P-35 y se requiere de altas dosificaciones.

Hoy es una necesidad desarrollar nuevos productos con propiedades plastificantes para la industria de la construcción cubana donde se requieran dosificaciones más bajas, por lo que el Centro de Bioactivos Químicos desarrolla un bio-producto (CBQ-VTC), el cual se encuentra en estudio para definir esta característica.

Para caracterizarlo y verificar su efecto sobre pastas de cemento, se requieren estudios microbiológicos, químicos, reológicos y de la cinética de hidratación, para así determinar si estos tienen efecto plastificante específicamente en pastas. No obstante, a pesar de los avances experimentados en la actualidad con el empleo de Microorganismos Eficientes existen limitadas evidencias que justifique el efecto plastificante de bio-productos nacionales obtenidos aplicando la tecnología de los Microorganismos Eficientes, como potenciales aditivos en pastas de cemento Portland Ordinario, esta **situación problemática** constituye el fin de la presente investigación. Por eso el **Objeto de estudio** de esta investigación es la evaluación del bio-producto CBQ-VTC sobre las pastas de cemento Portland Ordinario, mientras el **Campo de acción** trata el estudio del efecto plastificante en pastas con la adición de dosis de hasta un 5 % del bio-producto CBQ-VTC respecto al peso del cemento.

Por tanto el **problema científico** es el siguiente:

¿De qué manera la adición de contenidos respecto al peso del cemento del 1.5, 2, 3.5 y 5% del producto orgánico CBQ-VTC obtenido en el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ), influye en el comportamiento de la fluidez, plasticidad y tiempo de fraguado de pastas elaboradas con cemento Portland en Villa Clara?

Para dar solución a este problema científico se formula la siguiente **Hipótesis**:

De emplearse diferentes dosis 1.5, 2, 3.5 y 5% del bio-producto CBQ-VTC, para ser utilizado como aditivo plastificante, se podría mejorar el comportamiento físico-reológico de las pastas elaboradas a partir del cemento Portland Ordinario.

Objetivo general

Determinar el efecto de la adición de dosis 1.5, 2, 3.5 y 5% del producto orgánico CBQ-VTC obtenido en el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ), en el comportamiento de la fluidez, plasticidad y tiempo de fraguado de pastas de cemento Portland Ordinario.

Objetivos específicos

1. Realizar la fundamentación teórica mediante la búsqueda bibliográfica relacionada con el uso de aditivos bio-plastificantes en pastas de cemento Portland Ordinario.
2. Determinar el efecto de la adición del bio-producto CBQ-VTC en dosis de (1.5, 2,3.5 y 5) % en la plasticidad, fluidez y tiempo de fraguado de pastas de cemento Portland Ordinario.
3. Evaluar el efecto plastificante mediante el uso del bio-producto CBQ-VTC en dosis de (1.5, 2,3.5 y 5) % en la plasticidad, fluidez y tiempo de fraguado de pastas de cemento Portland Ordinario.

Tareas científicas

1. Realización de la fundamentación teórica mediante la búsqueda, revisión y selección de bibliográfica relacionada con aditivos bio-plastificantes en pastas de cemento Portland Ordinario.
2. Determinación de los materiales a utilizar en la investigación.
3. Definición de propiedades físico-reológicas del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento Portland Ordinario.
4. Realización del diseño de experimento para la utilización del bio-producto CBQ-VTC.
5. Realización de los ensayos de consistencia normal, tiempo de fraguado, con Aguja de Vicat, índice de plasticidad con el Minicono y fluidez con el Cono de Marsh en pastas de cemento Portland Ordinario.
6. Análisis estadístico de la influencia de los ensayos en pastas de cemento Portland Ordinario.
7. Escritura y entrega de la tesis.
8. Discusión de la tesis.

Novedad Científica

Se espera que el bio-producto CBQ-VTC logre alcanzar un efecto plastificante en las propiedades físico-reológicas en pastas de cemento Portland Ordinario.

Actualidad

Necesidad del país de sustituir aditivos plastificantes importados, por bio-productos nacionales de similar efecto, costo y comportamientos en pastas de cemento Portland Ordinario.

Aportes

Práctico

Nuevo bio-producto para ser utilizados como aditivo plastificante en obras del sector constructivo cubano.

Científico-Técnico

Contribución al conocimiento del efecto del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento Portland Ordinario, lo cual puede constituir una alternativa al uso de plastificantes tradicionalmente importados en el país con elevados costos.

Económico

Su empleo en la industria de la construcción podría contribuir al ahorro de divisas convertibles al sustituir la importación de aditivos químicos para la construcción por un aditivo de producción nacional.

Medio ambiental

Se contribuye a la reutilización de subproductos de la industria azucarera y la láctea, en la elaboración de un bio-producto para ser empleado en la construcción, capaz de sustituir aditivos químicos y disminuir la contaminación ambiental.

Estructura de los capítulos

Capítulo I: Influencia de los aditivos plastificantes en las propiedades físico-reológicas en pastas de cemento Portland Ordinario:

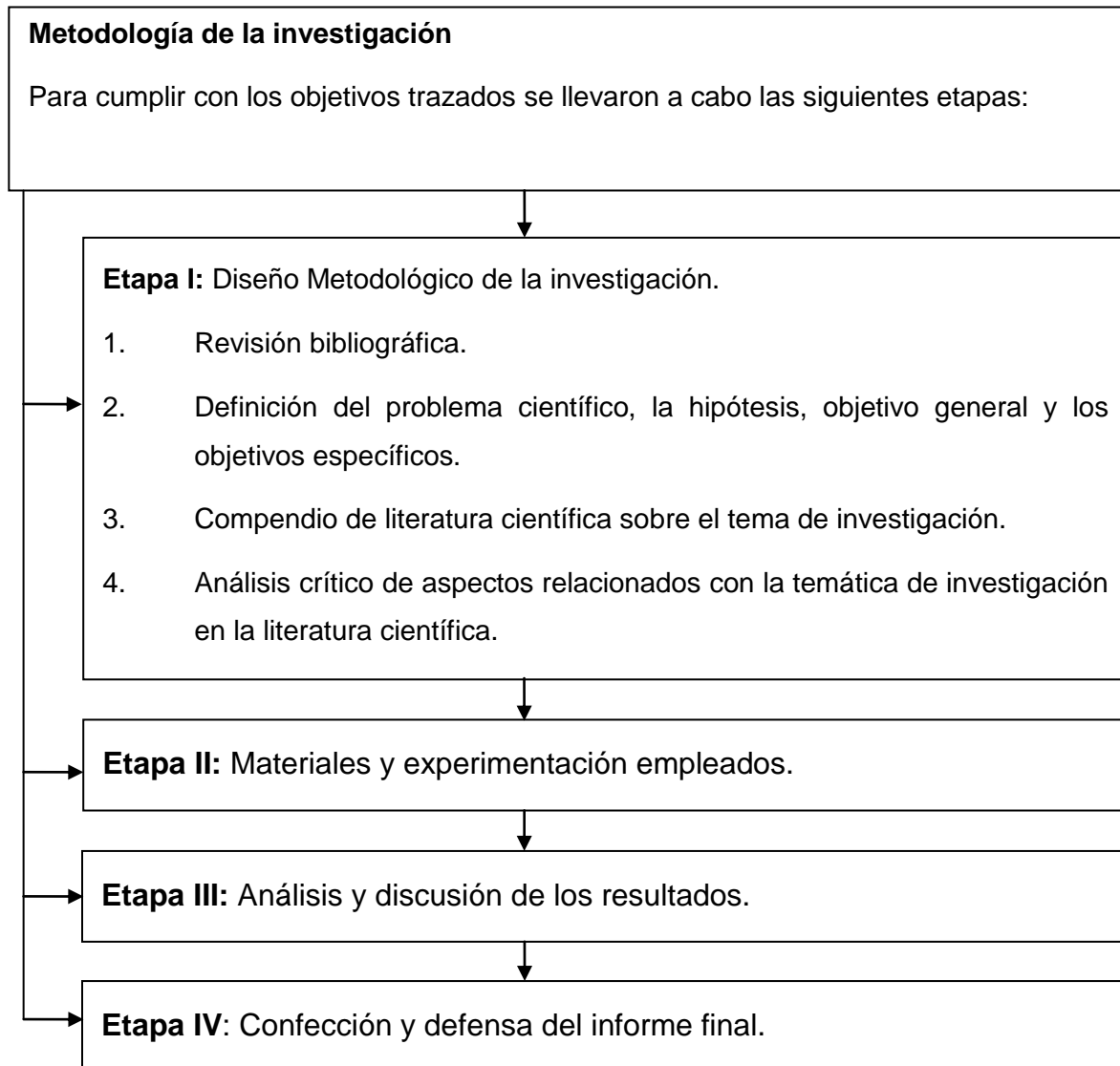
Se seleccionan y recopilan una serie de informaciones que permiten caracterizar esta investigación a través de trabajos científicos a nivel internacional y nacional acerca del empleo de aditivos en pastas de cemento. Para ello se evaluó diferentes aspectos relacionados con la definición de pastas de cemento Portland y sus características. Aditivos plastificantes (fluidificantes o reductores de agua) con su definición, composición, efecto, principales funciones y aplicaciones de estos en pastas. Aditivos biológicos, tecnología de Microorganismos Eficientes (EM), surgimiento de la tecnología EM, y del CBQ-VTC, antecedentes del uso de EM en Cuba.

Capítulo II: Materiales y métodos en la caracterización del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento Portland Ordinario:

En este capítulo se describen las principales características de los materiales utilizados en la investigación, así como los procedimientos a seguir en los ensayos a pastas de cemento Portland Ordinario para determinar las propiedades del aditivo CBQ-VTC y evaluar su influencia en el (I.P) en las pastas de cemento.

Capítulo III: Análisis del comportamiento del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento Portland Ordinario:

En ese capítulo se presentan los resultados obtenidos en los ensayos realizados en pastas de cemento Portland Ordinario, y se hace un análisis crítico y estadístico, llegando así a conclusiones generales de la investigación.



Capítulo 1

CAPÍTULO I. Influencia de los aditivos plastificantes en las propiedades físico-reológicas en pastas de cemento Portland Ordinario.

1.1 Pastas de cemento Portland. Definición

Una pasta es un producto que se obtiene si se mezcla un conglomerante (cemento) con agua y aditivos o adiciones, según corresponda. Por ejemplo, la lechada de cemento es una pasta porque se obtiene a partir de cemento y agua, sin ningún tipo de árido. En función de la proporción de agua que se utilice, la pasta podrá tener más o menos consistencia; si es fluida, se denomina lechada (Herreruel García, 2014).

1.1.1 Características de las pastas de cemento. Influencia de hidratación

Una de las técnicas que puede ser empleada para el seguimiento continuo de la reacción de hidratación en pastas de cemento es la Calorimetría Isotérmica. Esta ha ganado en importancia en los estudios de la hidratación del CPO (Alonso and Palomo, 2001),(Emoto and Bier, 2007). Se basa en la medición de la velocidad de liberación de calor en función del tiempo, bajo un régimen isotérmico. También aprovecha el elevado carácter exotérmico de las reacciones de hidratación del CPO. De esta forma, la cantidad de calor total acumulado, es proporcional a la cantidad de productos de hidratación generados y puede tomarse como una medida del grado de reacción alcanzado por el sistema. La medida de la velocidad o flujo de liberación de calor, provee información acerca de la cinética y los mecanismos de hidratación (Jonkers and Schlangen, 2009),(Alujas Díaz, 2010),(Rodríguez León, 2014).

1.1.2 Índice de plasticidad en pastas de cemento

Se realiza a través del Minicono de Abrams, para determinar la plasticidad y su variación con el tiempo y la reducción de agua en las pastas de cemento con la introducción o no de aditivos químicos y adiciones, así como el control de cemento con diferentes composiciones mineralógicas. Para la determinación de estas propiedades se hace necesaria la medición del área de esparcimiento alcanzada

(pastilla conformada) como consecuencia de la caída por gravedad al retirar el troncocono que la contiene (Corres et al., 2010).

El método del Minicono (mini-slump test) ha sido desarrollado por la Portland Cement Association publicado como en 1979 por la ASTM como método no normalizado para ensayos reológicos de pastas de cemento que presenta la ventaja de ser rápido, emplear mínimas porciones de pasta y permitir el estudio de un gran número de variables experimentales. También ha sido definido en una norma cubana NC 235: 2012(NC-235, 2012).

1.1.3 Tiempo de fraguado y consistencia normal en pastas de cemento

La consistencia normal es la cantidad de agua necesaria para que la pasta de cemento alcance una fluidez óptima y una plasticidad ideal. Los valores típicos de la consistencia normal están entre 23% y 33%. Se utiliza para determinar el tiempo de fraguado, la estabilidad de volumen, el calor de hidratación y la resistencia mecánica, es un factor que no es índice de calidad del cemento. En el ensayo de laboratorio se utiliza un aparato conocido con el nombre de Aparato de Vicat, este aparato tiene la función de proporcionar la penetración lograda por cada una de sus agujas en cada una de las muestras utilizadas (Mario, 2015).

El tiempo de fraguado es una variable muy importante, ya que permite conocer el tiempo de que se dispone para la mezcla, transporte, colocación en obra y compactación correcta de los morteros y hormigones. Todos estos hechos determinan la importancia de conocer el tiempo del fraguado inicial de los cementos, característica especificada en las distintas normas: UNE-EN 196-3(UNE-EN-196-3, 2003), NTE INEN 158:2009 (NTE-INEN-158, 2009).

La Norma cubana NC 524: 2007 (NC524, 2007)“Cemento hidráulico—método de ensayo—terminación de la consistencia normal y tiempos de fraguado por Aguja Vicat” especifica un método de ensayo para la determinación de la consistencia normal y el tiempo de fraguado inicial y final del cemento hidráulico mediante la aguja de Vicat, (Kett, 2010),(Rodríguez León, 2014).

1.1.4 Encogimiento químico en pastas de cemento

El encogimiento (retracción) generado por la pérdida de agua se llama retracción por secado. Cuando la retracción por secado y la consecuente fisura ocurren cuando el hormigón está recién colocado (blandito o “plástico”), se dice que se presentó una retracción plástica.

La hidratación del cemento Portland en un ambiente sellado o en un ambiente saturado, ocasiona una reducción del volumen de la pasta de cemento y con ello una serie de mecanismos conocidos como retracción química o autógena. El volumen final de los productos de la hidratación del cemento es menor que los volúmenes iniciales de agua y cemento que entran en la reacción. Adicionalmente, la hidratación del cemento consume agua, secando o auto-secando el hormigón internamente.

La retracción total del hormigón está dada por los efectos combinados de las retracciones por secado, plástica y química que acompañan la hidratación. El tipo de retracción predominante dependerá de la mezcla, los materiales y las condiciones durante el secado. La retracción química o autógena comienza en el instante en que el cemento entra en contacto con el agua. Pastas puras de cemento y agua tienen un encogimiento del 1 % de su volumen en las primeras 24 horas. En unas cuantas horas después del mezclado, la retracción química de la pasta puede ser la causa fundamental del encogimiento del hormigón especialmente cuando el contratista ha tenido cuidado en minimizar el secamiento. La retracción química potencial varía con el cemento utilizado, pero para cualquier cemento especificado, la influencia de la retracción química en la retracción total del hormigón se incrementa cuando se dan altos contenidos de pasta, UNE-EN 196-3(UNE-EN-196-3, 2003), (Concreto, 2014).

1.1.5 Fluides en pastas de cemento

La fluidez de las pastas y morteros de cemento se puede evaluar a través del ensayo del Cono de Marsh (Gonzales de la Cotera, 2002). Este ensayo es un procedimiento rápido y sencillo que además se utiliza para determinar la dosis de

saturación de plastificantes y superplastificantes, así como la compatibilidad entre cemento y el aditivo.

Con el ensayo del cono de Marsh se ajusta el porcentaje óptimo de aditivo en la pasta compuesta de agua, cemento, aditivo y fíller, y de esta manera lograr una optimización de la pasta de cemento (Corres et al., 2010).

1.2 El cemento Portland

Conglomerante hidráulico obtenido como producto en una fábrica de cemento, que contiene al clínker portland como constituyente necesario. Es un material inorgánico finamente dividido que, amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece en virtud de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

Mientras que el clínker de cemento portland es el producto que se obtiene por cocción hasta fusión parcial (clinkerización) de mezclas íntimas, denominadas crudos, preparadas artificialmente y convenientemente dosificadas a partir de materias calizas y arcillas, con la inclusión de otros materiales que, sin aportar elementos extraños a los de composición normal del cemento, facilitan la dosificación de los crudos deseada en cada caso (Betancourt Rodríguez, 2009a), (Portland, 2010).

Los cementos se pueden definir como aquellas sustancias adhesivas, naturales o artificiales, con las que se pueden formar masas plásticas, que son capaces de unir entre sí a fragmentos o masas de materiales sólidos con una distribución granulométrica determinada, que generalmente recibe el nombre de agregado, formando un conjunto totalmente compacto. Asimismo con la masa plástica de cemento pueden unirse distintas piezas entre sí, realizarse recubrimientos, enlucir, realizar reparaciones, etc. La unión se produce mediante el endurecimiento del cemento desde el estado plástico (Francisco, 2013a).

1.2.1 Composición Química del Cemento Portland

El clínker de cemento Portland contiene cuatro compuestos químicos mayoritarios: silicato tricálcico (C_3S), silicato dicálcico (C_2S), aluminato tricálcico (C_3A) y ferrita

aluminato tetracálcico (C_4AF), tal y como se muestra en la tabla 1.1, esta última fórmula es la composición promedio de una serie de soluciones sólidas entre (C_6A_2F y C_6AF_2), junto con varios compuestos minoritarios, como óxido de magnesio (MgO , cal libre y sulfatos de álcalis (Betancourt Rodríguez, 2009b), (Francisco, 2013b).

Compuestos principales del cemento:

a) Silicato tricálcico (C_3S):

- Fase denominada “alita”.
- Constituye del 50% al 70% del clínker.
- Se hidrata y endurece rápidamente.
- Responsable, en gran parte, del inicio del fraguado.
- Aporta resistencia a corto y largo plazo (a mayor porcentaje de C_3S mayor resistencia).

b) Silicato dicálcico (C_2S):

- Fase denominada “belita”.
- Constituye del 15% al 30% del clínker.
- Se hidrata y endurece lentamente.
- Contribuye al incremento de la resistencia a edades mayores de 7 días.

c) Aluminato tricálcico (C_3A):

- Constituye aproximadamente del 5% al 10% del clínker.
- Libera una gran cantidad de calor durante los primeros días de hidratación y endurecimiento.
- Contribuye al desarrollo de las resistencias muy tempranas y al fraguado del cemento.
- Vulnerable a la acción de los sulfatos: forman producto expansivo (etringita).

d) Ferro aluminato tetracálcico (C_4AF):

- Constituye aproximadamente del 5% al 15% del clínker.
- Se hidrata con rapidez pero contribuye muy poco a la resistencia.
- Su formación reduce la temperatura (T) de clinkerización.

e) Sulfato de calcio:

- Yeso: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Anhidrita: CaSO_4
- Se adiciona al cemento (aproximadamente 5%), durante su molienda, para controlar el fraguado.
- Controla la hidratación del C_3A .
- Ayuda a controlar la contracción por secado y puede influenciar la resistencia.

Tabla 1.1: “Influencia de los compuestos en las propiedades del cemento”, según (Vásquez A, 2012)

| Fase | Velocidad de hidratación | Calor de hidratación | Desarrollo de resistencia |
|-----------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| C_3S | Rápida | Alto (120 cal/g) | Rápido y prolongado |
| C_2S | Lenta | Bajo (62 cal/g) | Lento y muy prolongado |
| C_3A | Muy rápida | Muy alto (207 cal/g) | Muy rápido y de corta duración |
| C_4AF | Rápida | Moderado (100 cal/g) | Lento y poco significativo. |

1.2.2 Reacciones de hidratación del cemento

El proceso de hidratación constituye la base para la discusión de las características físicas y químicas de los materiales cementicios. Las partículas de cemento tienen un diámetro en el rango de los micrómetros, correspondiendo así a la escala de longitud del nivel II. La hidratación del cemento permite obtener productos microestructurales que se manifiestan en diferentes escalas de longitudes.

El componente básico del cemento es el clínker y está formado por una mezcla de cuatro componentes principales como se indica en la tabla 1.2. De todos los componentes principales, los silicatos suman entre el 60% al 80% y son los responsables de las resistencias mecánicas del cemento hidratado. En general, estos silicatos no se encuentran puros en el clínker sino conteniendo pequeñas cantidades de alúmina, magnesia y otros óxidos, por lo que a los silicatos y demás componentes se les suele llamar por su nombre mineralógico, alita, belita y celita.

Tabla 1.2: “Componentes principales del Clínker”

| Nombre | Composición | Peso molecular | Fórmula abreviada | Nombre del mineral |
|--------------------------------|---|----------------|-----------------------|--------------------|
| Silicato tricálcico | $3\text{CaO}, \text{SiO}_2$ | 228 | C_3S | Alita |
| Silicato bicálcico | $2\text{CaO}, \text{SiO}_2$ | 172 | C_2S | Belita |
| Aluminato tricálcico | $3\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3$ | 270 | C_3A | --- |
| Ferrito aluminato tetracálcico | $3\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$ | 486 | C_4AF | Celita |

Estos cuatro componentes del clínker, reaccionan con el agua en un proceso llamado hidratación. Los aluminatos y silicatos, forman la parte más importante de la microestructura de la pasta de cemento (Acebes Pascual, 2007).

Durante la reacción de hidratación del Cemento Portland Ordinario (CPO), el volumen del sólido aumenta por la formación de los productos de hidratación, pero el volumen total decrece. Esto se debe a que el volumen específico del agua es menor cuando está enlazada químicamente, que cuando está en estado no asociado; por lo tanto las reacciones de hidratación van acompañadas generalmente de una reducción en el volumen total del sistema (Alujas Díaz, 2010),(Taylor, 1990).

1.2.3 Hidratación del cemento Portland. Etapas de hidratación

La hidratación del cemento Portland es una secuencia de reacciones químicas entre los componentes minerales del clínker, el sulfato cálcico y el agua. Estas reacciones se producen de manera simultánea, a diferentes velocidades e influenciándose unas sobre otras. Este proceso conduce finalmente al fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento.

La hidratación del cemento, por lo tanto, es un proceso físico-químico que cambia a medida que pasa el tiempo. Comienza cuando el cemento entra en contacto con el agua y se distinguen cuatro etapas:

ETAPA 1: Cuando el cemento entra en contacto con el agua, se produce una rápida disolución de los minerales del clinker (principalmente C_3S y C_3A), así como de los sulfatos presentes en el cemento. Las especies iónicas pasan a la fase líquida, produciéndose, por lo tanto, un aumento de la concentración de AlO_5^{4-} , SiO_4^{4-} y $(Ca)^{2+}$ y los iones $(SO_4)^{2-}$ procedentes del yeso y los sulfatos alcalinos. En los primeros minutos se produce una hidratación inicial del C_3S , así como la formación de etringita por reacción del C_3A con el yeso y el agua.

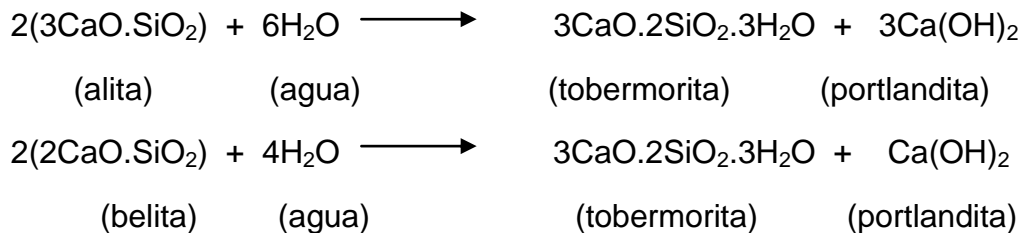
ETAPA 2: A medida que la hidratación evoluciona, la velocidad de la misma disminuye de manera significativa durante unas horas. En este periodo, la concentración de iones $(Ca)^{2+}$ en la fase líquida alcanza la sobresaturación y se inicia la nucleación y crecimiento del gel C-S-H y la formación y precipitación de portlandita, $Ca(OH)_2$. La concentración de iones $(SO_4)^{2-}$ permanece constante, ya que la fracción consumida en la formación de etringita es reemplazada por la disolución progresiva de los sulfatos cálcicos.

ETAPA 3: Comienza el fraguado. El proceso de hidratación se acelera de nuevo y es controlado por la nucleación y crecimiento de los productos de hidratación. Se forman grandes cantidades de gel C-S-H, y la portlandita continúa precipitando, produciéndose un descenso de la concentración de iones $(Ca)^{2+}$ en la disolución, lo que provoca una nueva aceleración en la velocidad de disolución del C_3S . Debido a la formación masiva de etringita, la concentración de iones $(SO_4)^{2-}$ empieza a descender.

ETAPA 4: La pasta ya ha fraguado, comienza a endurecer. Se produce una disminución de las velocidades de reacción y la etringita puede transformarse en monosulfoaluminato cálcico hidratado como consecuencia del descenso de iones sulfato en disolución. En este periodo de desaceleración, la hidratación del C_2S puede empezar a ser significativa. En esta última etapa, las partículas anhidras de los silicatos están rodeadas por una densa capa de hidratos y, por lo tanto, la velocidad de reacción pasa a estar controlada por la difusión de los iones a través de dicha capa. Se produce en esta etapa la condensación y densificación del gel C-S-H (Zaton Orcasitas, 2015).

La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por el paso de la pasta del estado fluido al estado sólido. Posteriormente, continúan las reacciones de hidratación, alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provoquen el endurecimiento de la masa y que se caracterice por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas. El fraguado y endurecimiento, no son más que dos estados separados convencionalmente; en realidad solo hay un único proceso de hidratación continuo (Betancourt Rodríguez, 2009c), (Rodríguez León, 2014).

Según (Becker, 2013) las dos principales reacciones de hidratación, que originan el proceso de fraguado y endurecimiento son:



El endurecimiento y fraguado del hormigón son el resultado de procesos químicos y físicos entre el cemento portland y el agua, que se denominan hidratación. El resultado final de las reacciones de hidratación es un producto duro, de alta resistencia. Las reacciones de hidratación son exotérmicas, es decir, en ellas se desprende calor. La cantidad de calor desprendido depende del tipo de cemento, y en particular de las fases existentes en el mismo, de la presencia de adiciones y de la finura (Betancourt Rodríguez, 2009c), (Grupocmateriales, 2015).

1.2.4 Cinética de la hidratación

El estudio de cinética es, esencialmente, una descripción matemática de los pasos que determinan la velocidad de las reacciones y, como tal, depende de la correcta selección y modelizado de los procesos implicados (Alujas Díaz, 2010).

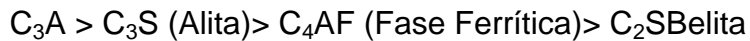
Pueden ser identificadas tres etapas que determinan la velocidad durante el periodo medio y final de la hidratación, que son:

- 1.- Nucleación y crecimiento del cristal.

2.- Disolución en la superficie del C_3S .

3.- Difusión a través de las capas hidratadas.

En el Cemento Portland, la velocidad de reacción de las fases con el agua es:



Factores que afectan a la reactividad de cementos:

1. Temperatura máxima de cocción.
2. Velocidad de enfriamiento.
3. Empleo de fundentes y mineralizadores.
4. Atmósfera de horno que debe ser ligeramente oxidante para evitar la formación de compuestos reducidos e inestables (Moragues Terrades, 2013).

1.3 Aditivos. Definición

Como indica la Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos para Hormigón y Mortero (ANFAH), la norma UNE-EN 934-2(EN, 2008): “Aditivos para hormigones, morteros y pastas”. Parte 2: Aditivos para hormigones. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado”, los define como producto incorporado en el momento del amasado del hormigón, en una cantidad no mayor del 5% en masa con relación al contenido de cemento en el hormigón, con objetivo de modificar las propiedades de la mezcla en estado fresco y/o endurecido”, (SIKA, 2014).

Los aditivos son productos que se adicionan en pequeña proporción al hormigón durante el mezclado en porcentajes entre 0.1% y 5% (según el producto o el efecto deseado) de la masa o peso del cemento, con el propósito de producir una modificación en algunas de sus propiedades originales o en el comportamiento del concreto en su estado fresco y/o en condiciones de trabajo en una forma susceptible de ser prevista y controlada.

Tanto por el Comité 116R del ACI como por la Norma ASTM C 125 (ASTM-C-125, 2000) definen al aditivo como: “Un material distinto del agua, de los agregados y cemento hidráulico que se usa como componente del hormigón o mortero. Las dosis en las que se utilizan los aditivos, están en relación a un pequeño porcentaje

del peso de cemento, con las excepciones en las cuales se prefiere dosificar el aditivo en una proporción respecto al agua de amasado”, (Santiago and Vidal, 2011).

La norma cubana NC 228-1: 2005(NC228-1, 2005).Aditivos para hormigones, morteros y pastas, Parte 1: Aditivos para hormigón-Requisitos, define a los aditivos como sustancias químicas que añadidas al hormigón, mortero o pasta, antes o durante el amasado, en una proporción menor del 5% del peso del cemento, modifica las propiedades del hormigón en estado fresco y/o endurecido para el mejor comportamiento en las condiciones particulares de servicio.

Al comparar las definiciones antes descritas, se observa que la norma cubana concuerda con los estándares internacionales: UNE-EN 934-2(EN, 2008), ASTM C-125 (ASTM-C-125, 2000).

1.3.1 Clasificación de aditivos

Según la norma UNE 83-200-84:1985 (UNE-83-200-84, 1985),se han normalizado las funciones principales que han dado lugar a la clasificación de los aditivos, según que modifiquen la reología, el fraguado y/o el endurecimiento, el contenido de aire o de otros gases, que generen expansión, que mejoren la durabilidad o que actúen sobre otras propiedades o características de los hormigones, morteros y pastas elaborados a base de cemento, cuyas funciones principales son:

1. Aditivos plastificantes: Mejorar la trabajabilidad de los hormigones, morteros o pastas para una determinada relación agua/cemento o permitir la reducción de la cantidad de agua de amasado para una trabajabilidad dada; generalmente, estos aditivos son sólidos finamente divididos
2. Aditivos reductores de agua o fluidificantes: Disminuir la cantidad de agua de amasado de un hormigón, mortero o pasta (en cantidades iguales o superiores al 5 % para los dos primeros y al 3 % para el tercero) para una trabajabilidad dada o, por ampliación, aumentar notablemente la trabajabilidad para una misma cantidad de agua; también, con estos aditivos, se pueden obtener simultáneamente ambos fenómenos.

3. Aditivos superplastificantes, superfluidificantes o reductores de agua de alta actividad: Aumentar, significativamente, la trabajabilidad de un hormigón, mortero o pasta para una relación agua/cemento dada o reducir considerablemente la cantidad de agua de amasado (en cantidades iguales o superiores al 12 %) para una trabajabilidad determinada; como en el caso anterior, también se pueden obtener simultáneamente con estos aditivos, ambos fenómenos,
4. Aditivos aceleradores de fraguado: Reducir o adelantar el tiempo de fraguado del cemento (principio y final) que se encuentra en el hormigón, mortero o pasta.
5. Aditivos retardadores de fraguado: Retrasar el tiempo de fraguado (principio y final) del cemento que se encuentra en el hormigón, mortero o pasta.
6. Aditivos aceleradores de endurecimiento: Aumentar o acelerar el desarrollo de las resistencias mecánicas iniciales de los hormigones, morteros o pastas.
7. Aditivos inclusores de aire: Producir en los hormigones, morteros o pastas, un número elevado de finas burbujas de aire, separadas y repartidas uniformemente, que permanecen así durante el endurecimiento de los materiales aditivados.
8. Aditivos generadores de gas: Producir un gas por medio de una reacción química durante la colocación del hormigón, mortero o pasta
9. Aditivos generadores de espuma: Producir, por medios mecánicos, una espuma estable formada por burbujas de aire de tamaño variable, distribuidas homogéneamente dentro de la masa, a la que confiere una estructura alveolar.
10. Aditivos desaireantes o antiespumantes: Eliminar el exceso de aire introducido en la masa del hormigón, mortero o pasta por el empleo de ciertos áridos o de ciertos aditivos utilizados para obtener otra función principal.
11. Aditivos generadores de expansión: Producir una expansión controlada y permanente en los hormigones, morteros y pastas.
12. Aditivos protectores contra las heladas: Mejorar la resistencia a las heladas de los hormigones, morteros o pastas.
13. Aditivos anticongelantes: Disminuir el punto de congelación del agua de amasado; además, pueden impedir la aparición de cristales de hielo en el hormigón, mortero o pasta.

14. Aditivos que reducen la penetrabilidad del agua: Incrementar la resistencia al paso del agua bajo presión a través de hormigones, morteros o pastas endurecidas.
15. Aditivos hidrófugos o repulsores de agua: Disminuir la capacidad de absorción capilar o la cantidad de agua que pasa a través de un hormigón, mortero o pasta, saturado y sometido a un gradiente hidráulico.
16. Aditivos inhibidores de corrosión de armaduras: Reducir la posibilidad de corrosión de las armaduras embebidas en el hormigón o mortero.
17. Aditivos modificadores de la reacción álcali-áridos: Impedir o dificultar la reacción entre ciertos áridos y los álcalis del cemento, así como reducir sus efectos expansivos.
18. Aditivos para el bombeo: Reducir el rozamiento externo del hormigón, mortero o pasta contra la tubería de conducción, sin modificar la relación agua/cemento.
19. Aditivos para hormigones y morteros proyectados: Mejorar las condiciones de proyección al disminuir el descuelgue del material proyectado y el rechazo.
20. Aditivos para inyecciones: Aumentar la fluidez de los rellenos o morteros (de inyección) y reducir los riesgos de exudación y decantación.
21. Aditivos colorantes: Colorear al hormigón, mortero o pasta.

Existen numerosas clasificaciones de aditivos, sin embargo una de las más usadas corresponde a la norma ASTM C 494: 1992 (ASTM-C-494, 1992). Esta norma cuya primera versión, se remonta a 1962 establece hoy en día, los siguientes tipos de aditivos:

Tipo A - Reductores de agua (Plastificantes).

Tipo B - Retardantes.

Tipo C - Acelerantes.

Tipo D - Reductores de agua y retardantes.

Tipo E - Reductores de agua y acelerantes.

Tipo F - Reductores de agua de alto rango o superfluidificantes.

Tipo G - Reductores de agua de alto rango y retardantes o superfluidificantes y retardantes.

La ASTM C-494: 1992 (ASTM-C-494, 1992) (Standard Specification for Chemicals Admixtures for Concrete) expone solo una de muchas clasificaciones, como puede ser la expuesta en la norma EN: 2008 (EN, 2008) que tiene una clasificación de aditivos similar, pero más amplia (Hermida, 2012).

Gracias al progreso de la industria química, en la actualidad se puede encontrar un sinnúmero de productos en el mercado que satisfacen la gran mayoría de las necesidades para los usuarios del hormigón. El éxito al usar los aditivos depende mucho de la forma de uso y de la acertada elección del producto apropiado (Capítulo de Ingenieros Civiles, 2013).

De manera general se puede concluir que los aditivos pueden clasificarse según las propiedades que modifican en el hormigón fresco o endurecido (Roncero and Magarotto, 2010).

Los aditivos permiten la producción de hormigones con características diferentes a los tradicionales, han dado un creciente impulso a la construcción y se consideran como un nuevo ingrediente, en conjunto con el cemento, el agua y los agregados. Existen ciertas condiciones o tipos de obras que los hacen indispensables (Capítulo de Ingenieros Civiles, 2013).

1.3.2 Aditivos plastificantes (fluidificantes o reductores de agua).Definición

Los plastificantes han sido con cierta frecuencia subestimados pero son en realidad sustancias cuya alta eficiencia les permite perdurar en la producción actual de hormigones. Basadas en compuestos orgánicos, los plastificantes logran optimizar los diseños de hormigones disminuyendo las necesidades de agua y cemento para alcanzar las propiedades exigidas por la construcción (Hermida, 2012), permiten más trabajabilidad y disminuye la segregación cuando el transporte es muy largo o cuando hay grandes masas de hormigón (Santiago and Vidal, 2011).

Los aditivos plastificantes-retardantes son sustancias que permiten modificar los componentes del hormigón optimizándolo, al mismo tiempo que ajustan las características del material a las necesidades de fluidez, transporte y resistencia, entre otros (Hermida, 2012).

También se conocen como Dispersantes o Fluidificantes y son sustancias orgánicas simples que contienen diversos grupos polares, que impiden la formación de floculaciones en las mezclas de cemento durante la hidratación y ocasionan la fragmentación de los granos de cemento (Mithra et al., 2012).

Los aditivos reductores de agua (Plastificantes) son usados para disminuir el requerimiento de agua de mezclado para una consistencia dada, que produce un concreto de mayor resistencia, obteniendo una resistencia especificada con un menor contenido de cemento, o incrementa la consistencia de una mezcla dada sin un aumento en el contenido de agua (Aguirre Cabrera et al., 2007).

La norma cubana NC 228-1: 2005(NC228-1, 2005).Aditivos para hormigones, morteros y pastas, Parte 1: Aditivos para hormigón-Requisitos, los define de la siguiente forma: los aditivos plastificantes/reductores de agua, son aditivos que por acciones internas permiten sin modificar la consistencia, reducir el contenido de agua de un determinado hormigón, o que, sin modificar el contenido de agua, incrementan el asentamiento, o que producen ambos efectos al mismo tiempo. Esta definición está en correspondencia con otras clasificaciones internacionales ASTM C 494: 1992, EN: 2008 (ASTM-C-494, 1992), (EN, 2008).

Dentro de la definición de un plastificante, las normativas analizadas exigen que la sustancia debe reducir por lo menos un 5% de agua, frente a un hormigón sin aditivo para lograr igual manejabilidad y al mismo tiempo debe superar en por lo menos un 10%, la resistencia alcanzada por el hormigón o mortero que no incluye el aditivo ASTM C 494: 1992, EN: 2008(ASTM-C-494, 1992),(EN, 2008).

1.3.2.1 Composición

Los plastificantes están constituidos en general por compuestos orgánicos como carbohidratos, aminas en cierta medida y otros compuestos para regular su estabilidad (Hermida, 2012).

1.3.2.2 Efecto

El efecto directo de un plastificante sobre la pasta de cemento es disminuir la viscosidad de la misma. Un plastificante hace que la pasta de cemento se vuelva

más “líquida”, fluya más rápido. Lo logra recubriendo las partículas de cemento y provocando una repulsión entre estas. Cuando las partículas se repelen entre sí, existe menos resistencia al flujo del conjunto (menos fricción), tiene lugar además una eliminación de micro flóculos, lo que permite la liberación y mejor distribución del agua.

De esta forma la pasta de cemento fluye más y por ende el hormigón también lo hace. Una mayor fluidez del hormigón permite entonces disminuir la cantidad de agua del mismo, modificando por lo tanto las propiedades de la pasta (o pegante), que con menos agua aumentará su resistencia en estado endurecido.

Los plastificantes deberían ser llamados reductores de pasta en vez de reductores de agua, ellos permiten mantener una resistencia y una manejabilidad dadas del hormigón, con un menor contenido de cemento y agua.

La disminución de la pasta de cemento en el hormigón además de un beneficio económico implica: disminución de la retracción del hormigón, disminución de la cantidad de calor generado, disminución de la fluencia, disminución de la permeabilidad a los líquidos y un aumento en la resistencia a la abrasión, un ligero aumento en el módulo elástico y en general una mayor durabilidad del material (Hermida, 2012).

Los aditivos plastificantes trabajan en base al llamado efecto de superficie, en que crean una interface entre el cemento y el agua en la pasta, reduciendo las fuerzas de atracción entre las partículas, con lo que se mejora el proceso de hidratación. Muchos de ellos también desarrollan el efecto aniónico (Geek, 2015).

La acción de los aditivos plastificantes puede ser causada por el efecto combinado de acciones de tipo físico, químico y físico-químico. La acción física se logra en esencia por la incorporación del aire en la mezcla. Efecto este, producido por algunos aditivos, cuyas burbujas actúan como especies de rodamientos entre las partículas sólidas, disminuyendo la fricción interna. En el caso de la acción química, principalmente proviene de una disminución de la velocidad de hidratación de los constituyentes del cemento, especialmente de los aluminatos.

Obteniéndose de este modo un mejor mojado de los granos de cemento, lo que permite disminuir el roce interno entre las partículas (Hermida, 2012).

Los aditivos reductores de agua afectan la rapidez de hidratación del cemento, la naturaleza de los productos e hidratación no cambia y así es la estructura de la pasta de cemento hidratada. Su uso no afecta la resistencia del concreto a la congelación o deshielo, siempre y cuando la relación agua-cemento no se incremente en conjunción con el uso del aditivo. La efectividad con respecto a la resistencia varía con la composición del cemento; la mayor se logra cuando se utilizan con cementos de bajo álcali o de bajo contenido de C_3A (Santiago and Vidal, 2011).

1.3.2.3 Principales funciones y aplicaciones

La función de los aditivos reductores de agua es reducir el contenido del agua de la mezcla en un 5% a 10 %, algunas veces hasta el 15 % (en concretos de trabajabilidad muy alta). Así el fin de utilizar este tipo de aditivos es permitir una reducción en la relación agua-cemento mientras se conserva la trabajabilidad. Aunque no se deberá emplear agregado de mala granulometría, los aditivos reductores de agua mejoran las propiedades del hormigón fresco hecho con agregado de granulometría pobre. El hormigón que contiene un aditivo reductor de agua de forma general muestra segregación baja y buena plasticidad (Santiago and Vidal, 2011).

Los aditivos reductores de agua son aquellos que permiten disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una determinada consistencia del concreto, reflejada en su revenimiento. Estos productos, son sustancias que provocan la dispersión de las partículas de cemento, agrupadas en flóculos comúnmente en una mezcla sin aditivo, consiguiéndose con un menor contenido de agua la manejabilidad esperada. Es en este sentido que se denominan reductores de agua.

Esta reducción de agua conlleva a la obtención de resistencias más altas en hormigones utilizando aditivos que sin el uso de éstos. También puede

aprovecharse su efecto dispersante para lograr asentamientos mayores, es decir, incrementar la plasticidad de la mezcla sin agregar más agua.

Es en este momento, en que el aditivo toma el nombre de plastificante y lo que se obtiene es un incremento en la manejabilidad de la mezcla sin disminuir la resistencia a la compresión. El aumento en la trabajabilidad se debe a que alteran las fuerzas físico-químicas que actúan en las partículas de cemento, dándoles cargas negativas, lo que hace que se rechacen entre ellas lubricando la mezcla, los reductores de agua típicos disminuyen de forma aproximada entre el 5% al 12% la cantidad de agua de mezclado, dependiendo de la mezcla, dosificación de aditivo, otros materiales y proporciones. La efectividad de los reductores de agua en los hormigones es función de su composición química, de la temperatura del hormigón, de la composición y finura del cemento, del contenido de cemento y de la presencia de otros aditivos(Aguirre Cabrera et al., 2007).

Los plastificantes se usan en aplicaciones donde no es deseable alterar los tiempos de fraguado. Sin embargo hoy en día la mayor parte de los plastificantes tienen un efecto de retardo que le permite al hormigón ser transportado. Los plastificantes puros (Tipo A) son usados de forma limitada en el mercado. Los plastificantes-retardantes (Tipo D) son los más usados en la fabricación de hormigones premezclado puesto que aprovechan las ventajas de reducción de cemento y agua y al mismo tiempo tienen un efecto sobre los tiempos de fraguado que facilita su transporte sobre todo en climas cálidos. La temperatura es en general un catalizador de las reacciones químicas y la hidratación del cemento no es una excepción. El uso de plastificantes-retardantes es en la práctica indispensable para el transporte, colocación y terminado de hormigones en climas de alta temperatura puesto que le permite al material no fraguar antes de haber sido consolidado (Hermida, 2012).

1.3.2.4 Efecto de los plastificantes en pastas de cemento

Los factores como la composición mineralógica del cemento, reactividad química del relleno, distribución de tamaño de partícula, textura de la superficie y forma geométrica de polvos (el cemento y rellenos), así como las condiciones modeladas

y equipos de medición, pueden influir en la reología de las pastas de cemento, así como en la reología del hormigón. De todos estos factores, la relación agua-cemento (a/c) y la superficie específica, son los más importantes. Sin embargo el tipo de plastificante usado, también influye en las propiedades del flujo de las pastas cementicias. Debido a sus mecanismos de dispersión (Rodríguez León, 2014).

Cuando no se agrega ningún plastificante, las partículas sólidas tienden a formar aglomerados, que retienen el agua dentro. En las mezclas donde se utilizan plastificantes las partículas sólidas se dispersan y la aglomeración se reduce. Esta dispersión de las partículas sólidas aumenta la fluidez del hormigón directamente. Al mismo tiempo, la reducción de la aglomeración debido a la dispersión aumenta la densidad del embalaje y así la cantidad de agua en exceso en el hormigón (Fung and Kwan, 2010).

1.4 Aditivos biológicos

Hoy en día muchas investigaciones están encaminadas a la búsqueda de aditivos para la industria de la construcción, pero con énfasis en los de carácter biológico, ya que la gran mayoría de los aditivos comercializados en el mundo son sustancias químicas, obtenidas de forma sintética y son derivados de industrias contaminantes como la del petróleo. Si se pretende alcanzar la sustentabilidad, esta industria debe cambiar el uso de recursos naturales no renovables, por recursos renovables y biodegradables. Por otro lado existen experiencias de usos de este acercamiento en varias áreas de la industria y de la ingeniería (Pacheco-Torgal and Labrincha, 2013), (Martirena et al., 2014), (Rodríguez León, 2014).

Tal es el caso de productos que se obtienen a través de la tecnología EM, como modificadores de algunas propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido (Higa et al., 2003), (Siong Andrew et al., 2013), (Ismail and Mohd.Saman, 2014), (Martirena et al., 2014).

Esta investigación se centra en el estudio de los productos obtenidos por la tecnología EM, como plastificantes en pastas de cemento Portland Ordinario.

Caracterizar desde el punto de vista reológico este tipo de productos ayudará a explicar sus mecanismos de acción y en gran medida al proceso de optimización para obtener un aditivo a base de esta tecnología, con buenas propiedades como plastificante.

1.4.1 Tecnología de Microorganismos Eficientes (EM). Surgimiento de la tecnología EM

La denominación de la tecnología proviene del inglés: Effective Microorganisms (EM), que en español se le reconoce como microorganismos efectivos (EM) o eficientes, también se les denomina en la bibliografía como Microorganismos Benéficos (MB), (Higa and Parr, 1994), (Yatim et al., 2009). La Tecnología EM fue desarrollada en la década de los 80 por el Doctor Teruo Higa, profesor de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón, como una opción viable y sostenible para la producción agrícola y animal dentro de los parámetros orgánicos y biológicos, para no afectar el medio ambiente, así como para lograr productos de alta calidad con bajo costo.

Desde entonces, esta tecnología ha sido investigada, redesarrollada y aplicada a una multitud de usos agropecuarios y ambientales (Salgado, 2011), como son el uso en la ganadería, los bio-remedios y los procesos industriales, para solucionar problemas medioambientales, en la promoción de la salud natural en los seres humanos y en la construcción. Debe ser enfatizado, sin embargo, que el EM no es un químico sintético ni es un medicamento, sino tal vez una de las herramientas naturales más positivas que se han descubierto (Greenheartibiza, 2015). Siendo utilizada en más de 130 países del mundo (Salgado, 2011).

1.4.2 Definición de Microorganismos Efectivos

Los EM son un cultivo mixto de microorganismos benéficos naturales a base de *bacterias fototrópicas*, *lactobacillus*, distintos tipos de *levaduras* y *hongos de fermentación*, sin manipulación genética, presentes en ecosistemas naturales, fisiológicamente compatibles unos con otros (Salgado, 2011).

Cuando EM entra en contacto con materia orgánica, secreta sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelados y antioxidantes. Casi todos los químicos provocan un alto grado de oxidación y contaminan cualquier ambiente, solo la producción de antioxidantes fracciona los productos químicos y así provoca una transformación natural y no causa la producción de sustancias patógenas. Los EM tienen la habilidad de partir estos químicos sintéticos en un tiempo relativo a lo corto (según el grado de la contaminación). En otras palabras, los Microorganismos Efectivos son pequeños “Seres Vivos” que apoyan cualquier descomposición natural (Uwe and Roberto, 2014).

1.4.3 Proceso de obtención de los EM

Los productos EM, son resultado de la fermentación microbiana de un consorcio de diferentes familias de microorganismos con hojarasca (subproductos de fuentes de cereales tales como arroz o trigo) constituyendo una fuente de almidón, melaza (miel de caña) como fuente de azúcares y sub productos lácteos (suero de leche, yogur o leche fresca sin pasteurizar) como fuente de *lactobacillus*, todo esto en condiciones de anaerobiosis (ausencia de oxígeno) (Higa et al., 2003). Luego en una primera etapa se prepara un sustrato sólido y se deja fermentar en un tanque hermético durante 25 días. Después, el resultado de este proceso se utiliza como inóculo para obtener un fermentado líquido de microorganismos benéficos (Rodríguez León, 2014).

1.4.4 Caracterización biológicas del EM

Originalmente Teruo Higa declaró que los componentes podrían llegar a ser 83 especies diferentes de microorganismos para formular el EM. Pero con los posteriores estudios, llegó a la conclusión de que solo habían 15 o menos clases de microorganismos primarios. Sin embargo, las tres grupos generales de microorganismos presentes en la tecnología son; poblaciones de *lactobacillus*, *levaduras* y *bacterias fotosintéticas* (Yatim et al., 2009), como muestra la figura 1.1.



Figura 1.1: Principales microorganismos presentes en los EM: *Bacterias Fotosintéticas* (a), *Bacterias Ácido lácticas* (b) y *Levaduras* (c)

Bacterias Fotosintéticas (Rhodopseudomonasspp):

Grupo de microorganismos independientes y autosuficientes, los cuales sintetizan sustancias útiles a partir de las secreciones de las raíces, materia orgánica y/o gases nocivos (Ej. Amoníaco y sulfuro de hidrógeno), usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Estas sustancias incluyen aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, los cuales promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Bacterias Ácido lácticas (lactobacilluspp):

Estas bacterias producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos desarrollados por bacterias fotosintéticas y levaduras. Han sido usadas por mucho tiempo en la producción de alimentos como el yogurt, leches ácidas y pepinillos. Pero además el ácido láctico es un compuesto altamente esterilizador que suprime microorganismos patógenos e incrementa la rápida descomposición de la materia orgánica.

Levaduras (saccharomycesspp):

Las levaduras sintetizan sustancias antimicrobiales y otras sustancias útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por las bacterias fotosintéticas, la materia orgánica y las raíces de las plantas. Las sustancias bioactivas producidas por las levaduras como las hormonas y enzimas, promueven la división activa de las células y raíces (Salgado, 2011).

1.4.5 Caracterización química del EM

Suele encontrarse poca información sobre características de los EM en general en la bibliografía consultada pero los productos obtenidos por la tecnología EM, como son el caso del MEF-19, MEF-20, MEF-30 Y MEF-32, se caracterizan como si fuera un plastificante químico teniendo en cuenta los requisitos de la norma NC 228-1: 2005 (NC228-1, 2005) y un estudio de la composición química elemental por Espectrofotometría de Absorción Atómica (Martirena et al., 2014),(Rodríguez León, 2014). Por lo que se puede señalar el bajo contenido de sólidos totales, alta acidez y densidad similar al agua. La composición química muestra una gran variedad de componentes metálicos, lo que evidencia la complejidad química de estos productos (Martirena et al., 2014), así lo muestra las tablas 1.3 y 1.4.

Tabla 1.3: “Valores de la densidad picnométrica, sólidos totales y del pH de MEF”

| Características Químico –Físicas | MEF |
|---|------------|
| Densidad (picnométrica) g/ml | 1,01 |
| % de los sólidos totales (TS) | 2,32 |
| pH | 3,40 |

Tabla 1.4: “Composición elemental del MEF”

| Elementos (mg/L) | MEF |
|---------------------------|------------|
| Na⁺ | 56,40 |
| K⁺ | 2890,13 |
| Fe_{total} | 45,44 |
| Mn²⁺ | 6.97 |
| Mg²⁺ | 107.11 |
| Cu²⁺ | 1.13 |
| Ni²⁺ | 0.79 |

| | |
|--------------------------|-------|
| Co²⁺ | 0.54 |
| Zn²⁺ | 1.80 |
| Ca²⁺ | 45.12 |
| N_{total} | 57.40 |
| P_{total} | 6.09 |

Mientras que el bio-producto CBQ-VTC obtenido en el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ), se caracteriza como si fuera un plastificante químico, teniendo en cuenta algunos de los requisitos de la norma NC 228-1: 2005 (NC228-1, 2005), como muestra la tabla 1.5.

Tabla 1.5: “Valores de la conductividad, sólidos totales y del pH del CBQ-VTC”

| Características Químico –Físicas | CBQ-VTC |
|---|----------------|
| Conductividad | 21.4 ms/cm |
| % de los sólidos totales (TS) | 13 |
| pH | 3.32 |

1.4.6 Antecedentes del uso de EM en Cuba

La tecnología EM fue introducida en Cuba por el movimiento de Agricultura Orgánica Costarricense y se introdujo en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EPPF-IH), en Matanzas en el año 2007. Además de forma experimental en el instituto Carlos J. Finlay en Cuba, que desde el año 2008 hasta la fecha han encontrado su utilización en la agricultura, en la purificación de las aguas residuales y en productos de limpieza, así como en otras aplicaciones. En el año 2008 un equipo de investigadores de CIDEM de conjunto con las anteriores instituciones comenzaron la investigación del producto como bio-plastificante para hormigones, y los resultados preliminares de las investigaciones son realmente alentadores para la industria del cemento (Abreu Rodríguez, 2011), (Mora López,

2012), (Brizuela, 2013), (Cabrera Pérez, 2013), (Peña León, 2013), (Rodríguez León, 2014), siendo corroborado por otros investigadores han demostrado que productos similares al EM tienen propiedades plastificantes moderadas (Martirena et al., 2014).

En la investigación realizada por (Venkovic et al., 2013), determinaron que la adición de este bio-plastificante, mejora la fuerza de hidratos del silicato del calcio (C-S-H) realzando la cohesión y la fricción de nano-granos sólidos, y disminuye el índice absoluto de la relajación a largo plazo. El análisis estadístico de los resultados de la muesca, también sugiere que este producto inhibe la precipitación de C-S-H de una densidad más alta (Rodríguez León, 2014).

1.5 Aplicaciones generales de los productos EM en el ámbito internacional

El Doctor Higa donó al mundo la tecnología EM, la cual fue desarrollada como una opción viable y sostenible para la producción agrícola y animal dentro de los parámetros orgánicos y biológicos, para no afectar el medio ambiente, así como para lograr productos de alta calidad con bajo costo. Desde entonces, esta tecnología ha sido investigada, redesarrollada y aplicada a una multitud de usos agropecuarios, y ambientales (Salgado, 2011).

Los EM han sido utilizados de forma amplia en el sector agropecuario tanto en suelos como en cultivos, tratamiento de residuos orgánicos, aguas servidas, reducción drástica de plagas (moscas), eliminación de olores molestos producidos por la descomposición de excretas y orina (Salgado, 2011). Ha sido introducido de forma cuidadosa en la biosfera común a lo largo de los últimos veinte años, y tiene un historial de resultados nada más que favorables para todas las formas de vida en la Tierra (Greenheartibiza, 2015). A continuación se citan algunas de sus principales aplicaciones:

En los suelos tratados con materia orgánica enriquecida con los EM, está enmarcado el mejoramiento de las características físicas, químicas, biológicas y supresión de enfermedades. Los EM, como inoculante microbiano, restablecen el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones físico-químicas,

incrementa la producción de los cultivos y su protección, además conserva los recursos naturales, generando una agricultura y medio ambiente más sostenible. Así mismo en la sanidad y salud animal el uso de EM tiene determinadas aplicaciones, las cuales permiten la reducción de la incidencia de enfermedades y estrés en el animal por el mejoramiento de las líneas celulares de defensa a causa de los antioxidantes generados por los EM, incidiendo en la disminución del requerimiento de medicamentos (vitaminas, antibióticos y agentes hormonales), (Salgado, 2011).

También el uso de los EM tiene varios e importantes usos en la construcción, ya que se han utilizado productos que se obtienen por esta tecnología, como modificadores de algunas propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido (Higa et al., **2003**), (Siong Andrew et al., 2013), (Ismail and Mohd.Saman, 2014), (Venkovic et al., 2013), (Martirena et al., 2014), (Rodríguez León, 2014).

En la búsqueda de soluciones al deterioro de las estructuras de hormigón en Japón llevaron a cabo una investigación y se desarrolló un hormigón con microorganismos eficientes. Estos autores encontraron que la trabajabilidad del hormigón fresco mejoró y la resistencia inicial incrementó, entre otras propiedades que se mejoraron (Higa et al., **2003**).

Agregando el EM en la mezcla de hormigón fresca, la resistencia a la compresión aumentó después de 3 y 7 días en (30 - 50)%, con respecto a los hormigones ordinarios. También, el uso de estos productos, redujo el efecto de la carbonatación en el hormigón y formó un ambiente neutral dentro de este (Yatim et al., 2009), (Brizuela, 2013).

1.5.1 Antecedentes de la tecnología EM en la elaboración de pastas, morteros y hormigones, producidos en Cuba.

La tecnología ME en Cuba es introducida por vez primera por MAOCO (Movimiento de Agricultura Orgánica Costarricense), luego la Estación Experimental Indio Hatuey, ubicado en la provincia de Matanzas, comienza a investigar acerca de los microorganismos efectivos donde elaboran un producto

que es registrado como IH-plus que se utiliza desde el 2008 en aplicaciones de la agricultura. Seguidamente el Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM) establece estudios relacionados con el Bioben, resultado de las investigaciones, para comprobar sus características: reductor de agua, y otras propiedades en interacción con el hormigón.

En el año 2012 la dirección del Instituto “Carlos J. Finlay”, muestran interés en el desarrollo y fabricación de productos basados en la tecnología EM, especialmente en aditivos bio-plastificantes para poner a disposición del MICONS con el propósito de ayudar económicamente al país.

Se han realizado estudios para la aplicación del EM, con el objetivo de mejorar las propiedades de las pastas, morteros y hormigones. Tal es el caso de (Gómez, 2010), donde en su trabajo de diploma evalúa la influencia del Bioben en el consumo de agua, en los hormigones autocompactables, en el trabajo “Uso de plastificantes a partir de microorganismos eficientes en hormigones”, experimenta varios % de aditivos en pastas logrando medir la fluidez y el Bioben lo emplea en hormigones autocompactables.

En el 2011 Marlié Abreu Rodríguez (Abreu Rodríguez, 2011), empleó el bio-plastificante Micro-ben o Bioben, procedente de la estación experimental Indio Hatuey. Donde se realizaron pruebas con aditivo biológico y con aditivo comercial del tipo N-200, este último se clasifica como reductor de agua de alto efecto según la norma ASTM C 494-92, 1992 (ASTM-C-494, 1992). Los hormigones obtenidos se compararon teniendo en cuenta su capacidad de paso, capacidad de relleno, homogeneidad, fluidez, densidad y capacidad de flujo, para establecer parámetros de comparación entre las mezclas de prueba con aditivo biológico y las realizadas con aditivo comercial.

Los hormigones obtenidos con el aditivo biológico Micro-ben así como con el aditivo comercial N-200, cumplieron con todos de los parámetros considerados para un hormigón autocompactable según lo establecido en la literatura para la utilización del hormigón autocompactable. La similitud de los hormigones obtenidos evidenció el carácter plastificante del Micro-ben.

En el 2012 Adel Enrique Mora López (Mora López, 2012) comparó IH-plus con Mapefluid 200 en su tesis de grado “Evaluación del “IHplus” como bio-plastificante en la producción de pastas y morteros”. Trató como soluciones que para el uso del EM como aditivo plastificante se debe utilizar una dosificación del 6%. También resumió que IHplus evaluado se comportó como un plastificante de moderada actividad en morteros.

En el 2013 Jose Brizuela, (Brizuela, 2013) con los productos MEF 19, MEF 20 y MEF 30, estableció una relación entre los índices de plasticidad de los diferentes bio-productos y los porcentos de adiciones, con el objetivo de determinar el producto de mejores resultados. Los resultados revelaron que el bio-producto que mantuvo resultados superiores en cuanto al índice de plasticidad fue el MEF 19, obteniéndose los mejores resultados para los porcentajes del 4% y el 8 % de aditivo. Al fraccionar el bio-producto en base a su polaridad, se determinó que un 25 % de las sustancias presentes tenían polaridad similar al agua, siendo esta fracción la de mejor índice de plasticidad determinado. Se comprobó que al disminuir el contenido de agua en el MEF se logra un efecto plastificante superior al del producto inicial. Se evidenciaron de esta manera que el bio-producto MEF tiene diferencias marcadas con los aditivos comerciales en base a parámetros como el porcentaje de sólidos totales y la acidez.

Mientras que Cabrera Pérez (Cabrera Pérez, 2013) comparó los bio-productos MEF 19, MEF 20 Y MEF 30 a través de ensayos físicos y reológicos, los cuales dieron resultados satisfactorios. Con la adición de bio-producto MEF incrementó la plasticidad de las pastas con la misma relación a/c, aunque los índices de esta variable fueron menores que los obtenidos con los aditivos plastificantes comerciales SX 32 y N200. Además se apreciaron efectos cualitativos tales como: variaciones de la consistencia de la pasta durante el amasado, cambios de la textura superficial (granulada y lisa), agrietamientos en la superficie de pasta solidificada, y se pudo diferenciar cualitativamente el comportamiento del fraguado en cada caso. Los mayores valores de índice de plasticidad se obtuvieron con MEF 19 y MEF 30. Estos bio-productos contienen porcentajes mayores de sólidos

solubles (determinados por refractometría) que el MEF 20. Aunque se requiere de estudios más profundos, en base a los resultados se pudo establecer de forma preliminar una relación entre el contenido de sólidos solubles y el índice de plasticidad en pastas: a mayor contenido de sólidos solubles, mayor índice de plasticidad (MEF 19 > MEF 30 > MEF 20).

Al caracterizar las propiedades reológicas en pastas elaboradas con el bio-producto MEF, se definió que los ensayos se realizaran con el bio-producto MEF 19 por ser el de mejores resultados en cuanto a las variables evaluadas previamente. La adición del bio-producto MEF 19 a pastas de cemento incrementó su fluidez lo cual pudo ser comprobado mediante el ensayo del Cono de Marsh. El bio-producto MEF 19 se comportó como retardador de fraguado. A partir de los resultados de los ensayos físicos y reológicos se pudo seleccionar un bio-producto con efecto plastificante y retardador de fraguado en pastas (MEF 19), que en una dosis del 8% del peso del cemento logra efectos de magnitud similar al superfluidificante N200 al 0,5%. Esto podría sentar las bases para disponer de un aditivo bio-plastificante de producción nacional capaz de disminuir los costos en la construcción.

En el año 2014 (Rodríguez León, 2014), hizo una caracterización del bio-producto MEF 32, en su efecto evaluado en pastas y con modificaciones del mismo en su composición química, así mismo se hace un análisis crítico al comparar resultados obtenidos con el bio-producto MEF 32, MEF19 y Dynamon SRC-20. Al comparar los resultados de los sólidos totales, los valores para el MEF-32 y para la referencia MEF-19, son inferiores con respecto al Dynamon SRC-20. Por lo general los aditivos comerciales presentan valores de sólidos totales de (20-40) %. En cuanto a los valores de pH obtenidos para el MEF-32, se observa que el mismo está en la zona ácida de la escala del pH, lo cual concuerda con las condiciones del proceso de fermentación para desarrollar este bio-producto. Este valor es similar al obtenido para la referencia MEF-19.

Por otro lado, al analizar los valores de la conductividad eléctrica obtenidos para el MEF-32, se deduce que existe una elevada presencia de electrolitos (sustancias

iónicas en solución) en este. Comúnmente, los electrolitos existen como disoluciones de ácidos, bases o sales. También las soluciones de electrolitos pueden resultar de la disolución de algunos polímeros. Al comparar los valores de conductividad eléctrica con respecto a las referencias, se observa que estos están en la misma escala de los mS/cm, para el caso del MEF-19 es conocido que presenta una composición química con varios metales disueltos (Martirena et al., 2014) y los polímeros como el Dynamon RSC-20 en disolución contienen múltiples centros cargados.

Al comparar los resultados del índice de plasticidad entre el MEF-32 y el MEF-19, se observa que en el caso del MEF-32 los resultados fueron menores, y se mantuvo la tendencia de trabajos similares realizados con el MEF-19, donde a medida que se incrementó la dosis aumentó el índice de plasticidad. Se comprobó que el aumento del pH del MEF-32, influye en sus propiedades como plastificante. A través de la caracterización parcial que incluyó parámetros tales como: densidad picnométrica, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, sólidos totales, sólidos solubles y la identificación de grupos funcionales, se comprobó que el bio-producto MEF-32 presenta una elevada complejidad química. Se comprobó que el pH y la concentración de sólidos solubles en el bio-producto MEF-32, tuvieron influencia en la plasticidad de las pastas de cemento P-35. El incremento del pH modificó las características químico-físicas del MEF-32 y provocó un aumento en el índice de plasticidad. De igual forma, un aumento de la concentración de sólidos solubles a través de modificar el contenido de las materias primas en el proceso fermentativo condujo a un incremento en el índice de plasticidad.

Conclusiones parciales del Capítulo I

1. Las pastas de cemento poseen distintas características que asociadas a un comportamiento determinado permiten evaluar sus propiedades físico-químicas y reológicas.
2. Los aditivos plastificantes/reductores de agua, permiten para una misma docilidad, una reducción de la cantidad de agua en pastas, morteros u hormigones, según sea el caso, o para una misma cantidad de agua aumentan considerablemente esta docilidad, e incluso permiten obtener estos dos efectos a la misma vez.
3. Los aditivos biológicos elaborados a través de la tecnología EM poseen en proceso de obtención mucho más sencillo y menos dañino al medio ambiente que los aditivos comerciales, por lo que en este sentido ofrecen grandes ventajas sobre estos últimos.
4. Los aditivos de origen biológicos elaborados en el país, están presentando dosis muy elevadas para lograr los efectos deseados en pastas, morteros y hormigones, por lo que se hace fundamental la búsqueda de un aditivo totalmente cubano que permita obtener resultados similares al de los productos comerciales con dosificaciones más bajas y que por sus precios pueda tener un rango de utilización que permita la reducción de costos.

Capítulo II

CAPÍTULO II. Materiales y métodos en la caracterización del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento Portland Ordinario.

La investigación se realizó en las siguientes entidades: Centro de Bioactivos Químicos (CBQ) y Centro de Estudios de Química Aplicada (CQA), ambas pertenecientes a la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. También se realizaron parte de los estudios, en el Laboratorio Central de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas de Villa Clara (ENIA VC).

2.1 Materiales utilizados en la elaboración de las pastas de cemento Portland. Caracterización de los materiales utilizados en la investigación

Los materiales utilizados fueron los siguientes:

1. Agua normalizada.
2. Cemento Portland P-35, de la fábrica Karl Marx ubicada en la provincia de Cienfuegos.
3. Bio-producto CBQ-VTC producido en el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ) perteneciente a la Universidad Central “Marta Abreu de Las Villas”.
4. Aditivo bio-plastificante MEF -32 producido en el Instituto Carlos J. Finlay, La Habana. Cuba.

Los materiales que se definen a continuación, se utilizaron para la elaboración de pastas de cemento P-35, a partir de las dosificaciones establecidas en el diseño de cada ensayo.

2.1.1 Agua

El agua utilizada fue potable, evaluada por la práctica como adecuada para la producción de pastas, morteros y hormigones, cumpliendo con la NC 353: 2004(NC353, 2004).

2.1.2 Cemento

El cemento utilizado fue el Portland P-35, elaborado en la fábrica Karl Marx de la provincia de Cienfuegos. La caracterización de este fue realizada en la ENIA VC, teniendo en cuenta las especificaciones de calidad establecidas por la norma cubana NC 95: 2011 (NC95, 2011) *Cemento Portland. Especificaciones para la evaluación de la conformidad*, tal y como se muestra en las tablas 2.1, 2.2 y 2.3. Este material se clasifica como un cemento Portland P-35.

Tabla 2.1: “Propiedades del Cemento P-350 (Cienfuegos)”

| Ensayo | Resultado | Especificación | Incertidumbre |
|---|-----------|----------------|---------------|
| Finura de Molido (%) | 7,5* | <10 | - |
| Peso Unitario Suelto (kg/m ³) | - | - | - |
| Peso Específico Real del cemento (g/cm ³) | 3.09 | - | ±0,01 |
| Resistencia Comp. 7 días | 30,9* | >25 | ±0,86 |
| Resistencia Flexo-Trac. 7 días | 5,4* | >4 | ±0,39 |
| Resistencia Comp. 28 días | 39,8* | >35 | ±1,6 |
| Resistencia Flexo-Trac. 28 días | 6,7* | >6 | ±0,78 |

(*) Conforme (**) No Conforme

Tabla 2.2: “Composición Química del cemento P-350”

| Óxido | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | Na ₂ O | K ₂ O | MgO |
|-------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------|------|
| % | 62,64 | 21,20 | 5,79 | 2,70 | 0,00 | 0,61 | 1,22 |

Tabla 2.3: “Principales fases del cemento P-350”

| Fases | C ₃ S | C ₂ S | C ₃ A | C ₄ FA | CaO _{lib} |
|-------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|
| % | 41,52 | 29,46 | 10,78 | 8,22 | 1,50 |

2.1.3 Aditivos

Para el trabajo experimental se utiliza como referencia el bio-producto obtenido por fermentación microbiana en el Instituto Finlay en la ciudad de La Habana (Cuba): MEF 32, del cual se obtienen los resultados a partir de investigaciones realizadas anteriormente, las cuales evaluaron los mismos puntos que dicha investigación.

2.1.3.1 Aditivo bio-plastificante MEF-32

El bio-producto MEF-32 es obtenido en el Instituto Carlos J. Finlay, La Habana, Cuba, basado en la tecnología de microorganismos eficientes. Es un líquido de color pardo con un olor parecido al vino, posee un porcentaje de sólidos solubles de aproximadamente 2,8% y un pH que está en un rango entre 3 y 4. Su elaboración tiene como base el producto obtenido por fermentación sólida en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” en la provincia de Matanzas, el cual es sometido a dos fermentaciones posteriores.

2.1.3.2 Bio-producto CBQ-VTC

El bio-producto CBQ-VTC es obtenido en el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ) perteneciente a la Universidad Central “Marta Abreu de Las Villas”, basado en la tecnología de microorganismos eficientes. Es un líquido de color pardo con un olor parecido al vino, posee un porcentaje de sólidos solubles de aproximadamente de 13% y un pH de 3.32. Su elaboración tiene como base la fermentación microbiana, a base de la mezcla de melaza, suero y agua.

2.2 Diseño de experimento

Para el desarrollo de este trabajo se realizó el siguiente diseño de experimento (Gráfico 2.1)

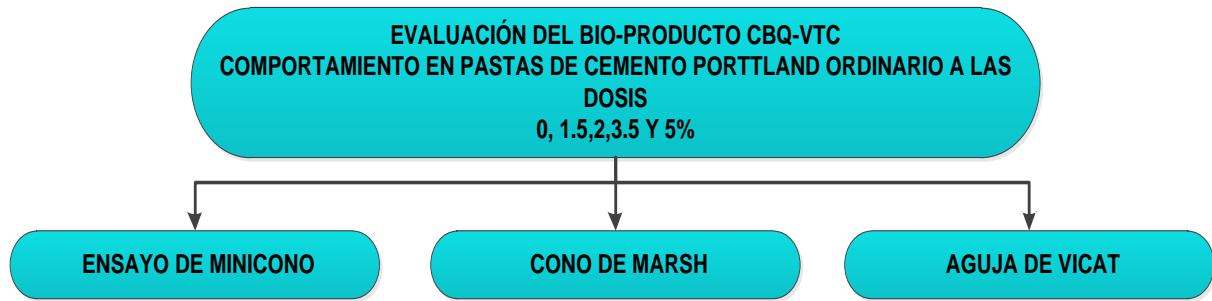


Gráfico 2.1: Diseño experimental

Declaración de las variables independientes

Las variables independientes en las pastas elaboradas para la investigación fueron:

% de Aditivos: En los ensayos en pastas se utilizaron los bio-productos MEF-32 al 3.5% ya que en estudios anteriores es la que brinda los mejores resultados y CBQ-VTC, al 1.5%, 2%, 3.5% y 5%.

Declaración de las variables dependientes

- Plasticidad
- Fluidez
- Tiempo de fraguado

Parámetros de estado

Los parámetros de estado se definen como aquellas variables que se desean mantener constantes atendiendo a los fines prácticos de la investigación; resultando de esta forma establecidos los siguientes:

- Tipo de cemento: P-35 procedente de Karl Marx
- Relación agua-cemento en 0.40

2.2.1 Procedimiento

Primera etapa

En esta etapa se determinan los diferentes índices de plasticidad en pastas del bio-producto CBQ-VTC, a través del ensayo del “Minicono”, evaluando los diferentes puntos:(0,1.5, 2, 3.5 y 5) % del producto CBQ-VTC con respecto al peso del cemento. Para ello se considera en cada caso una relación agua/cemento igual a 0.40, cantidad de cemento (100g) y (40, 38.665, 38.260, 36.955, 35.650) ml de agua respectivamente para cada dosis a evaluar. Se realizan tres replicas por cada punto y lo mismo se evalúa en tres días diferentes.

Segunda etapa

Una vez realizados todos los ensayos del Minicono, para la determinación del índice de plasticidad en cada uno de los puntos evaluados del bio-producto CBQ-VTC, se procede a la realización de los demás ensayos en pastas de cemento Portland (Consistencia normal y tiempo de fraguado por Agujas de Vicat y fluidez por el Cono de Marsh), evaluando para ello los mismo puntos usados en la etapa anterior y tomando al menos dos muestras por cada uno de los puntos.

Tercera etapa

En esta etapa de la investigación se realiza un resumen de todos los resultados obtenidos para procesarlos de forma estadística mediante el Statgraphics Centurio, para observar la incidencia significativa de las variables independientes sobre las variables dependientes y poder lograr un por ciento de significancia en cada una de las muestras.

2.3 Efecto del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento

Para la evaluación del bio-producto CBQ-VTC y su efecto plastificante en pastas de cemento Portland, se requieren la realización de diferentes ensayos, los cuales se muestran a continuación.

2.3.1 Determinación del índice de plasticidad por el método del Minicono

Los ensayos de Minicono se realizaron según la NC 235: 2012(NC-235, 2012), en el laboratorio de la unidad de desarrollo analítico del Centro de Bioactivos Químicos (CBQ), a temperatura de 20 ± 2 °C y humedad controlada (60-65) %.

Se fijó la relación agua/cemento (a/c) a 0.40 ya que resultados obtenidos para una relación a/c de 0.45, como se venía trabajando en investigaciones anteriores (Rodríguez León, 2014), mostraron que los índices de plasticidad daban resultados muy similares y que no mostraban diferencias significativas respecto a los obtenidos para la relación a/c a 0.40. Es por esta razón que se decide fijar como relación a/c 0.40, puesto que la cantidad de agua que se ahorra en términos constructivos, económicos y de calidad a la mezcla es considerable.

La velocidad de agitación se fijó en 300 rpm, la cual fue diferente al requisito de la norma NC 235: 2012(NC-235, 2012), porque el instrumento utilizado es confiable a partir de esta velocidad y se seleccionó un impelente del agitador (varilla agitadora). Para el mezclado se emplearon recipientes cilíndricos de diámetro base ligeramente superior al diámetro de la hélice de la varilla agitadora para facilitar la agitación uniforme de la pasta y limitar la adherencia a las paredes (ver Figuras 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 respectivamente).



Figura 2.1: Agitador



Figura 2.2: Impelente



Figura 2.3: Minicono

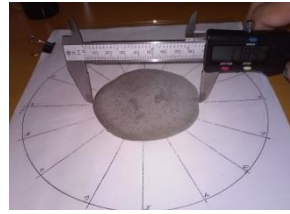


Figura 2.4: Pie de rey

Equipos y utensilios

1. Minicono metálico de 19 mm de diámetro superior, 38 mm diámetro inferior y 57 mm de altura, manteniendo similares proporciones del ensayo de asentamiento del hormigón fresco NC 235: 2012(NC-235, 2012).
2. Agitador de laboratorio tipo Heidolfph RZR 50, con varilla agitadora de hélice (impelente).
3. Láminas de plástico para colocar las pastas
4. Espátula de metal
5. Vaso de precipitado (beaker) o recipiente plástico de 500 ml de capacidad con tapa ranurada
6. Bureta de 50 ml
7. Paños de secado (tela)
8. Reloj
9. Balanza analítica (+/-0,0001g) TE-124S, Sartorius
10. Pie de rey (0,1 mm de precisión)
11. Refractómetro (PCE 032)

Materiales

1. Agua: Cumple con las especificaciones de la NC 353: 2004 (NC353, 2004)
2. Cemento: P-35. Procede de la fábrica de cemento Karl Marx, en Cienfuegos.
3. Aditivo:
✓ CBQ-VTC

A partir de estos materiales y lo descrito por la NC 235: 2012(NC-235, 2012) se pudo realizar la dosificación de materiales para la realización del ensayo, como lo muestra la tabla 2.4.

Tabla 2.4: “Dosificación de materiales para ensayo Minicono”

| MEZCLA | % ADITIVO | CANTIDAD ADITIVO (g) | CEMENTO (g) | AGUA (g) | CANTIDAD MINICONO |
|-----------------|----------------|----------------------------|----------------|-------------|-------------------|
| Patrón | Sin aditivo | 0 | 100 | 40 | 12 |
| Mezcla 1 | MEF 32 (2%) | 2 | 100 | 38.060 | 3 |
| Mezcla 2 | MEF 32 (3.5%) | 3.5 | 100 | 36.605 | 3 |
| Mezcla 3 | MEF 32 (5%) | 5 | 100 | 35.150 | 3 |
| Mezcla 4 | CBQ-VTC (1.5%) | 1.5 | 100 | 38.665 | 9 |
| Mezcla 5 | CBQ-VTC (2%) | 2 | 100 | 38.260 | 9 |
| Mezcla 6 | CBQ-VTC (3.5%) | 3.5 | 100 | 36.955 | 9 |
| Mezcla 7 | CBQ-VTC (5%) | 5 | 100 | 35.650 | 9 |

Procedimiento

Para la determinación de la plasticidad de la pasta de cemento con y sin aditivo, el procedimiento de trabajo se basó en la NC 235: 2012 (NC-235, 2012) y se describe a continuación:

1. Se pesaron $100 \pm 0,0002$ g de cemento y se vertieron en el recipiente cilíndrico.
2. Se preparó una solución con el aditivo (se pesó en balanza analítica) a las dosis de ensayo en base al peso del cemento y el volumen de agua calculado para la relación $a/c=0.40$.
3. Se introdujo la paleta del agitador (Heidolph RZR 50) dentro del recipiente cilíndrico y lentamente se añadió la solución del aditivo y agua de amasado, con el beaker que se apoyó en el eje de la varilla de agitación (Figura 2.1).
4. Se puso en movimiento el agitador a una velocidad de 300 rpm durante dos minutos.
5. Se detuvo el mezclado, se tapó el recipiente con la tapa ranurada y se dejó reposar la mezcla durante tres minutos.

6. Se puso nuevamente en movimiento el agitador y se mezcló durante dos minutos más.
7. Se colocó el Minicono sobre la placa de plástico.
8. Se detuvo el agitador. Se vertió la pasta con la ayuda de una espátula dentro del Minicono. Se enrasó con la espátula y se eliminó el exceso de pasta en el extremo superior y lateral del Minicono.
9. Se mantuvo en reposo el Minicono durante un minuto y se levantó de forma vertical con movimiento rápido dejando caer la pasta hasta que la superficie interior del Minicono quedó completamente limpia.
10. Se dejó la pasta en reposo durante 24h, y se midió su diámetro con un pie de rey. Por cada pastilla (pasta endurecida) se midieron ocho diámetros y se calculó el área. Con este dato se calculó el índice de plasticidad.

Todos los utensilios empleados se lavaron con agua corriente y se secaron antes de usarse nuevamente.

Ajuste de agua por sólidos solubles

Se colocó una gota del aditivo (70 μ L) en el refractómetro, se observó la escala de medición y se anotó el resultado de la cantidad de sólidos solubles. Con este valor se calculó el volumen de agua al utilizar dichos aditivos según las fórmulas:

$$1- AA (\%)=100\% \text{ en peso de aditivo-Sólidos solubles } (\%)$$

$$2- AAD= [g \times AA]/ 100$$

$$3- AP=AI-AAD$$

Dónde:

AI: Cantidad de agua inicial de la pasta según la relación a/c establecida

AA: Cantidad de agua del aditivo

AAD: Agua del aditivo según la dosificación en peso de cemento que se aplique.

AP: Cantidad de agua necesaria para formar la pasta según la relación a/c establecida.

SS: Cantidad de sólidos solubles medidos en el refractómetro (%)

g: masa del aditivo en gramos.

Cálculos para la determinación del índice de plasticidad utilizando el Minicono

Para medir el diámetro de la pastilla, calcular el área y el índice de plasticidad se utilizó la NC 235: 2012(NC-235, 2012). Diámetro medio de la pastilla y área:

Se midió ocho veces el diámetro de la pastilla (con pie de rey) a diferentes ángulos recorriendo toda su circunferencia. Se determinó el diámetro medio y se calculó el área como la de un círculo.

$$D = \frac{\sum d}{8}$$

Donde d: diámetro de cada medición

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Cálculos para el índice de plasticidad

$$IP = \frac{(Ap - Ao)}{Ao} \times 100$$

Dónde:

IP: es el índice de plasticidad

Ap: es el área de la pasta con aditivo

Ao: es el área de la pastilla sin aditivo

2.3.2 Determinación de la consistencia normal y tiempo de fraguado. Ensayo de la Aguja de Vicat

Este ensayo se realizó en la Empresa de Investigaciones Aplicadas de Villa Clara (ENIA VC), a una temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$.

La Norma NC 524: 2007 (NC524, 2007) “Cemento hidráulico—Método de ensayo—Determinación de la consistencia normal y tiempos de fraguado por Aguja Vicat” establece un método para determinar la consistencia normal de los cementos, que se basa en la resistencia que opone la pasta de cemento a la penetración de la sonda de un aparato normalizado, llamado Aparato de Vicat.

Con las mismas dosis evaluadas en el ensayo del Minicono se procedió a hallar la consistencia normal en la pasta de cemento y a partir de este resultado se determinó el tiempo de fraguado inicial y final mediante la aguja de Vicat y así se comprobó si el CBQ-VTC posee como característica ser un retardador o acelerador de fraguado.

Determinación de la consistencia normal

Este método de ensayo se utilizó para definir la cantidad de agua requerida en la preparación de la pasta de cemento hidráulico y poder determinar el tiempo de fraguado.

Se consideró que la pasta obtuvo una consistencia normal, cuando la barra, después de ser liberada, penetró en un punto (10 ± 1 mm) por debajo del nivel original de la superficie en 30s NC 524: 2007(NC524, 2007). Se realizaron varias pruebas con diferentes pastas variando el porcentaje de agua hasta que se obtuvo la consistencia normal.

Una vez conocido el volumen de agua necesario para alcanzar la consistencia normal, se determinaron los tiempos de fraguado inicial y final.

Accesorios y el equipo Aguja de Vicat utilizado

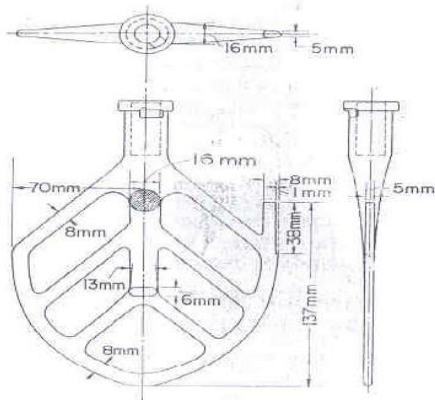


Figura 2.5: Paleta

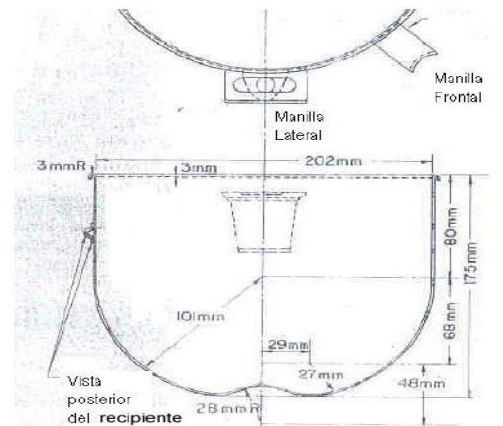


Figura 2.6: Recipiente

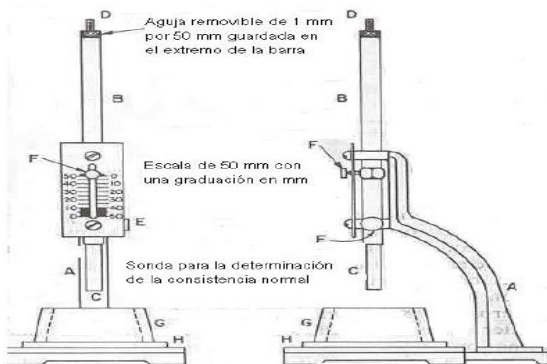


Figura 2.7: Equipo Vicat

Determinación del tiempo de fraguado

Las dosificaciones con las cuales se logró la consistencia normal, se utilizaron para la determinación del tiempo de fraguado por la Aguja de Vicat a través de procedimiento descrito en la NC 524: 2007 (NC524, 2007).

Equipos y utensilios

1. Amasadora.
2. Aparato de Vicat
3. Espátulas
4. Balanza (CONTROLS)

5. Pesa de 1000 g (para realizar la calibración de la balanza)
6. La amasadora cumple con los requisitos exigidos en la norma NC 524: 2007 (NC524, 2007).

Accesorios de la amasadora

1. Paleta
2. Recipiente de amasado

El aparato Vicat tiene la posibilidad de ajustarle dos tipos de agujas diferentes (una de 50mm y otra de 1mm) en dependencia del ensayo. Las características del ensayo se encuentran abordadas en la NC 524: 2007 (NC524, 2007).



Figura 2.8: Equipo Vicat, medición de Tiempo de fraguado con la aguja de 1mm

Materiales

1. Agua: Cumple con la NC 353: 2004 (NC353, 2004).
2. Cemento: P-350. Procedente de la fábrica de cemento Karl Marx, de Cienfuegos.
3. Aditivo:
✓ CBQ-VTC

A partir de estos materiales y lo descrito por la NC 524: 2007 (NC524, 2007) se pudo realizar la dosificación de materiales para la realización del ensayo, como lo muestra la tabla 2.5.

Tabla 2.5: “Dosificación de materiales para ensayo de Agujas de Vicat”

| MEZCLA | % ADITIVO | CANTIDAD ADITIVO (g) | CEMENTO (g) | AGUA (g) | CANTIDAD |
|-----------------|----------------|----------------------------|----------------|-------------|----------|
| Patrón | Sin aditivo | 0 | 650 | 165 | 2 |
| Mezcla 1 | MEF 32 (3.5%) | 22.75 | 650 | 155 | 2 |
| Mezcla 2 | CBQ-VTC (1.5%) | 9.75 | 650 | 155 | 2 |
| Mezcla 3 | CBQ-VTC (2%) | 13 | 650 | 145 | 2 |
| Mezcla 4 | CBQ-VTC (3.5%) | 22.75 | 650 | 130 | 2 |
| Mezcla 5 | CBQ-VTC (5%) | 32.5 | 650 | 120 | 2 |

Procedimiento

El procedimiento seguido fue el de la norma NC 524: 2007 (NC524, 2007):

Preparación de la pasta de cemento

Ponga en la amasadora la paleta y el recipiente, bien secos en la posición como para mezclar. Entonces introduzca los materiales para una mezcla en el recipiente y mezcle de la siguiente manera:

1. Ponga toda el agua de la mezcla en el recipiente. Es preferible agua destilada y deberá ser utilizada siempre para todos los ensayos de arbitraje y corporativos.
2. Añade 650 g del cemento al agua y permita que absorba agua durante 30 s.
3. Encienda la amasadora y mezcle a la velocidad lenta (140 ± 5 rpm) por 30 s.
4. Detenga la amasadora por 15 s, y durante este tiempo raspe con la espátula de goma hacia abajo, de modo que cualquier cantidad de pasta que quede en las paredes del recipiente se pueda incorporar a la mezcla.
5. Mezcle de nuevo a la velocidad rápida (285 ± 10 rpm) por 1 min. La duración de los distintos períodos de amasado, se debe cumplir con una precisión de ± 1 s.

2.3.3 Determinación de la fluidez. Ensayo del Cono de Marsh

Para determinar el efecto de la dosis del bio-producto en peso del cemento sobre la fluidez de las pastas se realizó ensayo con el Cono de Marsh. Este se efectuó

en la Empresa de Investigaciones Aplicadas de Villa Clara (ENIA VC), a una temperatura de $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

La calibración del Cono de Marsh se llevó a cabo con agua, NC 461: 2006 (NC461, 2006) y se comprobó que 1 litro de agua demoró 14 segundos en atravesar por la boquilla del cono. El agua de amasado fue corregida debido al aporte de los aditivos.

Ensayo del Cono de Marsh

El estudio evaluó el efecto del bio-producto CBQ-VTC en la fluidez de las pastas de cemento. Para esto se fijó un volumen constante de pasta, a la cual se le midió el tiempo que necesitó para pasar por el Cono de Marsh. Se empleó como aditivo de referencia MEF-32. El ensayo consiste en introducir en el cono 1 litro de pasta y medir el tiempo (T) que tarda en fluir por la apertura inferior una mezcla de 1000 ml. Este tiempo de flujo se adopta como una medida inversa de la fluidez de la pasta.

Utensilios y equipos

1. Amasadora para mezclar la pasta: cumple con los requisitos exigidos en la norma NC 524: 2007 (NC524, 2007).

Accesorios de la amasadora:

1. Paleta
2. Recipiente de amasado



Figura 2.9: Cono de Marsh

Materiales

1. Agua: Cumple con lo establecido en la NC 353: 2004 (NC353, 2004).
2. Cemento: P-350. Procedente de la fábrica de cemento Karl Marx, provincia de Cienfuegos.
3. Aditivo:
 - ✓ CBQ-VTC

A partir de estos materiales y lo descrito por la NC 461: 2006 (NC461, 2006) se pudo realizar la dosificación de materiales para la realización del ensayo, como lo muestra la tabla 2.6.

Tabla 2.6: “Dosificación de materiales para ensayo de Cono de Marsh”

| MEZCLA | % ADITIVO | CEMENTO (g) | AGUA (g) | CANTIDAD ADITIVO (g) | CANTIDAD |
|-----------------|------------------|------------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Patrón | Sin aditivo | 1450 | 580 | 0 | 3 |
| Mezcla 1 | MEF 32 (3.5%) | 1450 | 531 | 50.75 | 3 |
| Mezcla 2 | CBQ-VTC (1.5%) | 1450 | 580 | 21.75 | 3 |
| Mezcla 3 | CBQ-VTC (2%) | 1450 | 580 | 29 | 3 |
| Mezcla 4 | CBQ-VTC (3.5%) | 1450 | 536 | 50.75 | 3 |
| Mezcla 5 | CBQ-VTC (5%) | 1450 | 517 | 72.5 | 3 |

Procedimiento

Se realizó según la norma NC 461-2006(NC461, 2006):

Humedezca la superficie interior del embudo llenándolo con agua y un minuto antes de introducir la lechada de inyección, permita drenar el agua, contenida en el embudo, en el interior de la probeta de 1000 ml colocada bajo el cono. Limpie el interior de la probeta, colóquela de nuevo bajo el embudo.

Cierre la salida de la boquilla con el dedo, y llene el embudo con la mezcla utilizada en la lechada de cemento Portland. Arranque el cronómetro y libere simultáneamente la salida de la boquilla quitando el dedo y llenando la probeta de

1000 ml, colocada bajo el embudo. Detenga el cronómetro a la primera interrupción del flujo continuo de la lechada y registre el tiempo.

Observe el interior del embudo y, si es visible la luz a través del orificio de la boquilla, el tiempo registrado con el cronómetro determinará el tiempo de fluidez de la lechada para inyección.

Expresa los resultados a través de una gráfica representando en la abscisa, el porcentaje de aditivo y en la ordenada el tiempo que tarda en fluir la pasta contenida en el embudo.

Mantenga en el local donde se realizan los ensayos la temperatura de 22 ± 2 °C.

Conclusiones parciales del Capítulo II

1. Las dosis evaluadas del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento manifiestan una influencia reveladora en cuanto a la plasticidad, que marca una diferencia significativa con respecto a las muestras del MEF 32.
2. Las pastas elaboradas con las diferentes dosificaciones, registran buenos resultados en cuanto a la fluidez para todos los casos, donde a medida que disminuye el porcentaje de aditivo se logra una mejor fluidez de la pasta de cemento.
3. Se demostró que el bio-producto CBQ-VTC para sus diferentes dosis presenta mejores resultados que el bio-producto MEF-32 en su mejor concentración, tanto en sus propiedades físico-químicas, como reológicas y todo esto lo corrobora los resultados obtenidos en cuanto a índice de plasticidad, fluidez, consistencia, tiempo de fraguado inicial y final.
4. Se determina mediante el análisis de las normativas para la aplicación y control del efecto de los plastificantes comerciales, que las muestras analizadas pueden ser aplicadas a pastas de cemento, como un aditivo orgánico procedentes de la tecnología ME.

Capítulo III

CAPÍTULO III. Análisis del comportamiento del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento Portland Ordinario.

En el capítulo se analizan los resultados de los ensayos en pastas de cemento Portland Ordinario, para su elaboración se utilizó cemento P-35 y diferentes dosis del bio-producto CBQ-VTC. Se determinaron los parámetros de plasticidad, fluidez, consistencia normal y tiempos de fraguado inicial y final. Finalmente mediante el empleo de los programas Excel y Statgraphics Centurion, se definen la influencia y grado de significación de los diferentes factores en las variables respuestas enumeradas en el anterior capítulo.

3.1 Análisis del índice de plasticidad de las pastas de cemento con diferentes dosis. Ensayo del Minicono

En el gráfico 3.1 se muestra como los resultados obtenidos de índice de plasticidad para cada bio-producto en una misma dosis varían de una manera muy significativa, superando el valor del CBQ-VTC en un 124.46% al MEF-32.

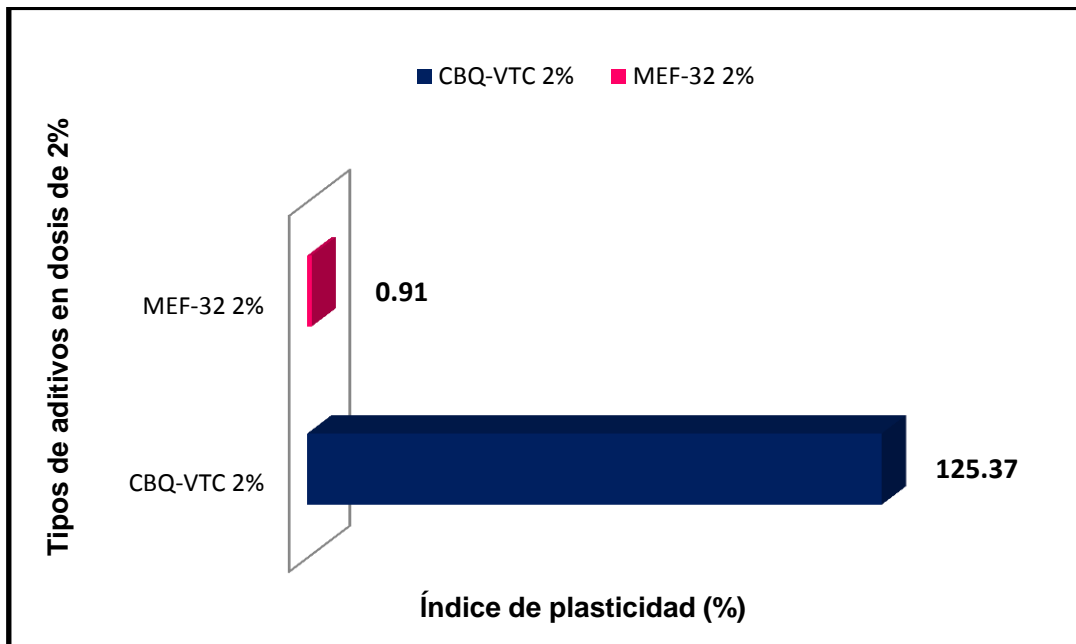


Gráfico 3.1: “Resultados del índice de plasticidad en dosis de 2% para cada bio-producto”

De igual forma se comprueba que para una dosis de 3.5%, los resultados revelan una vez más que el bio-producto CBQ-VTC supera en cuanto a valor de índice de plasticidad al MEF-32 en un 105.69% y lo mismo sucede al evaluar la dosis de 5%, donde los resultados del CBQ-VTC siguen siendo mayores, en este caso con un valor superior de 87.18%. Estos resultados se pueden observar en las gráficas 3.2 y 3.3 respectivamente.

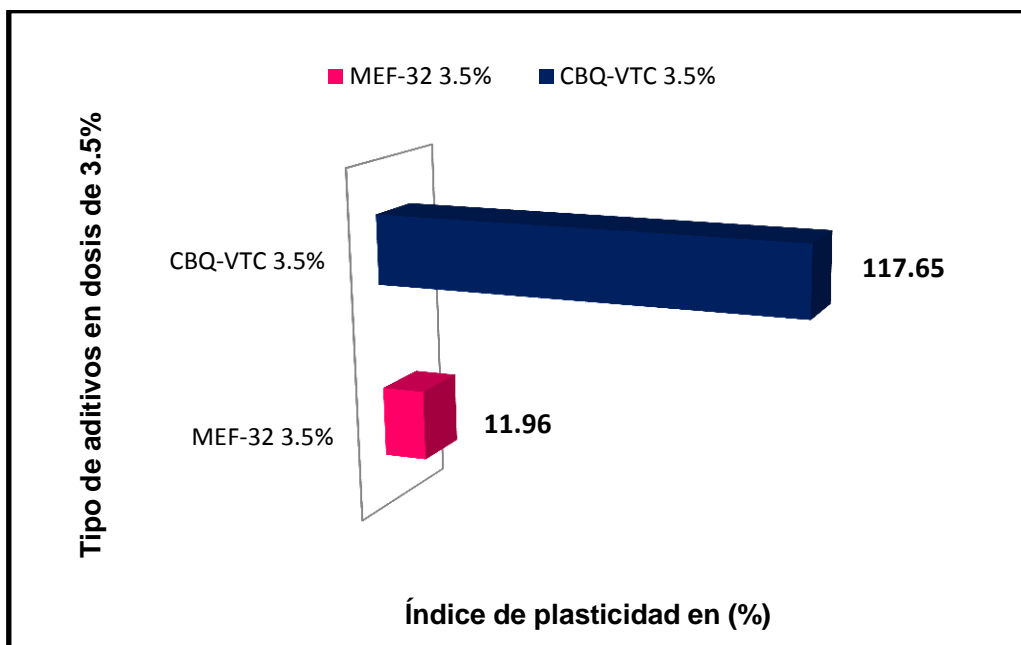


Gráfico 3.2: “Resultados del índice de plasticidad en dosis de 3.5% para cada bio-producto”

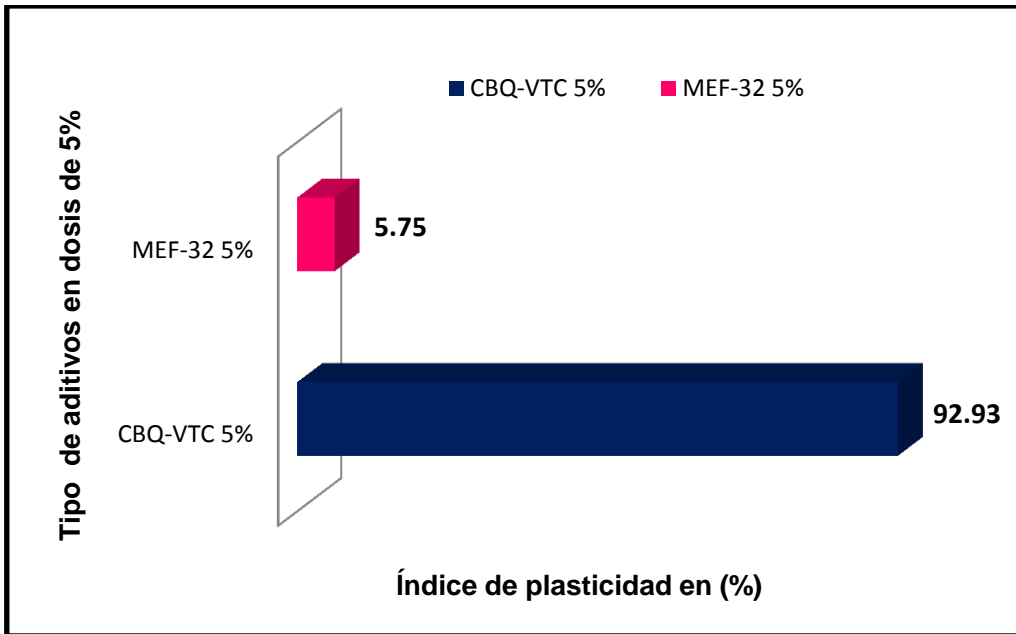


Gráfico 3.3: “Resultados del índice de plasticidad en dosis de 5% para cada bio-producto”

En el gráfico 3.4 se establece una relación entre el índice de plasticidad obtenido y el tipo y porcentajes de aditivos, con el objetivo de determinar el porcentaje de mejores resultados, tomando siempre como referencia al aditivo biológico obtenido por fermentación microbiana MEF-32. Como revela el gráfico, todas las dosis empleadas con el aditivo CBQ-VTC reflejan valores significativamente superiores a la muestra patrón con dosis de 3.5% MEF-32, que fue la de mayor resultado obtenido y a partir de la cual se traza una línea patrón en los demás ensayos, que define como referencia al MEF-32 en su dosis 3.5%. Por lo que la dosis de aditivo CBQ-VTC que logra resultados superiores en cuanto al índice de plasticidad es la de 2%, logrando resultados similares con la dosis de 3.5%, no mostrándose así con las dosis de 5% y 1.5%, las cuales reflejan resultados menores. De este modo se pudo inferir de forma preliminar la existencia de una posible relación entre la cantidad de sólidos solubles y el índice de plasticidad.

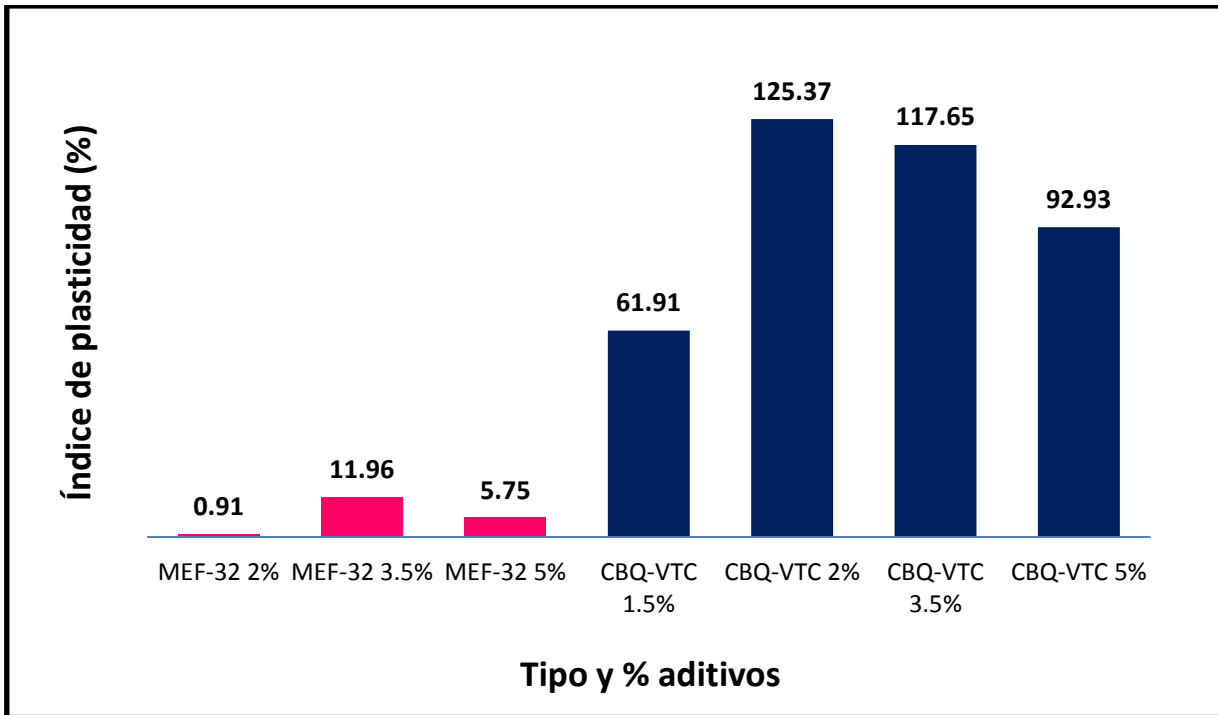


Gráfico 3.4: “Resultados del índice de plasticidad”

El área de esparcimiento calculada para cada bio-producto en sus diferentes dosis, es una muestra visible de como las pastillas obtenidas con el CBQ-VTC se esparcen de una manera mayor que las del MEF-32, obteniéndose mayores diámetros y esto se puede apreciar a través del gráfico 3.5.

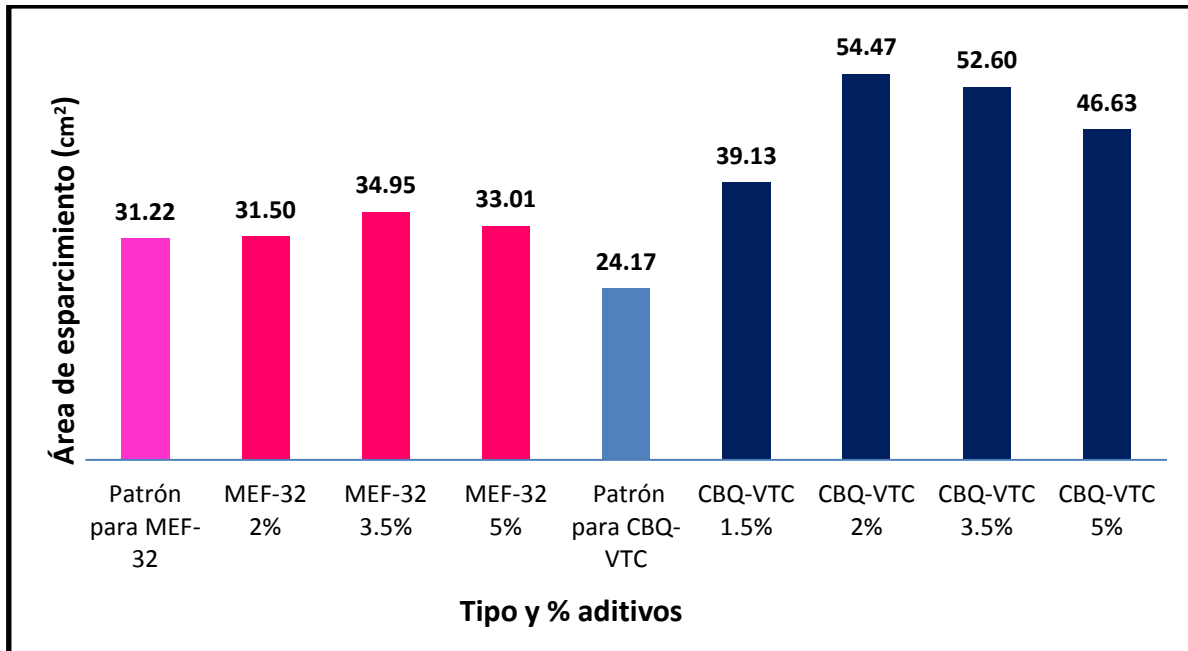


Gráfico 3.5: “Resultados de área de esparcimiento obtenida para cada una de las dosis usadas en cada bio-producto”

Al realizar un análisis por separado de cada bio-producto y su comportamiento a través de las tres dosis a las cuales se le evaluó su efecto, se puede apreciar como cada uno responde a un comportamiento totalmente diferente. El MEF-32, en su dosis 3.5% crece considerablemente respecto a la dosis 2% y alcanza su máximo valor, luego decayendo la curva para la dosis de 5%. Mientras que el CBQ-VTC alcanza su valor máximo en 2% y cae completamente en valor hasta la dosis de 5%, respondiendo a un comportamiento totalmente lineal y decreciente, lo cual no es el caso del MEF-32 que responde a una curva polinómica con ecuación de segundo grado como muestra las gráficas 3.6 y 3.7 respectivamente.

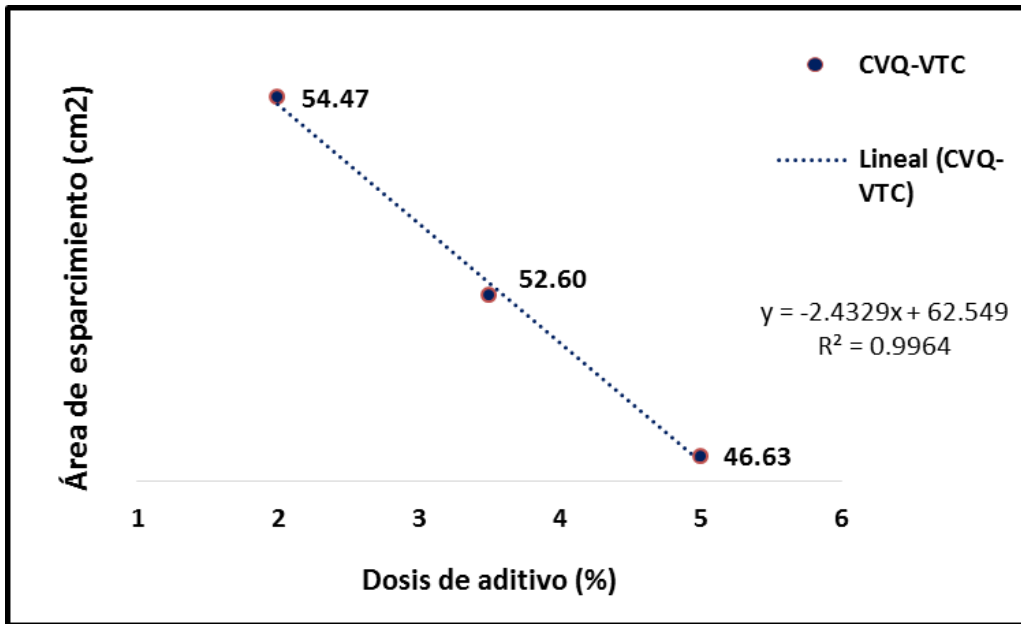


Gráfico 3.6: “Comportamiento del bio-producto CBQ-VTC respondiendo a sus diferentes dosis”

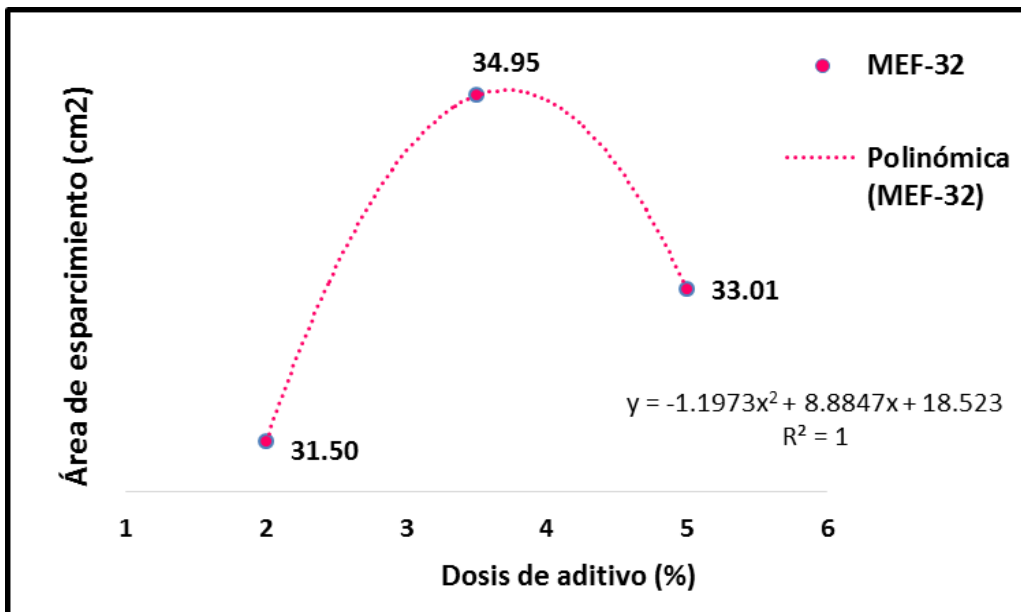


Gráfico 3.7: “Comportamiento del bio-producto MEF-32 respondiendo a sus diferentes dosis”

En ambas gráficas se puede apreciar como a partir de determinado por ciento los resultados tienden a decrecer. Comprobándose que los aditivos, indistintamente del caso que se analice, al ser incorporados al hormigón en dosis elevadas provocan una saturación del mismo, producto de la cantidad de aditivo disuelto en la mezcla, esto corrobora lo descrito en la bibliografía consultada (Tortosa and López, 2015), y la norma (NC228-1, 2005) donde definen como máximo valor el 5% en peso del cemento.

3.2 Análisis de la fluidez de las pastas de cemento con diferentes dosis.

Ensayo del Cono de Marsh

Como revela el gráfico 3.8 la fluidez de la pasta de cemento medida en segundos entre un bio-producto y otro para una misma dosis de 3.5% es completamente diferente, el MEF-32 supera en tiempo casi del doble al registrado por el CBQ-VTC, lo que demuestra una mejora sustancial en términos de fluidez con el bio-producto CBQ-VTC, lo cual no ocurre con el MEF-32, ya que este para una dosis de 3.5% no logra su fluidez completamente.

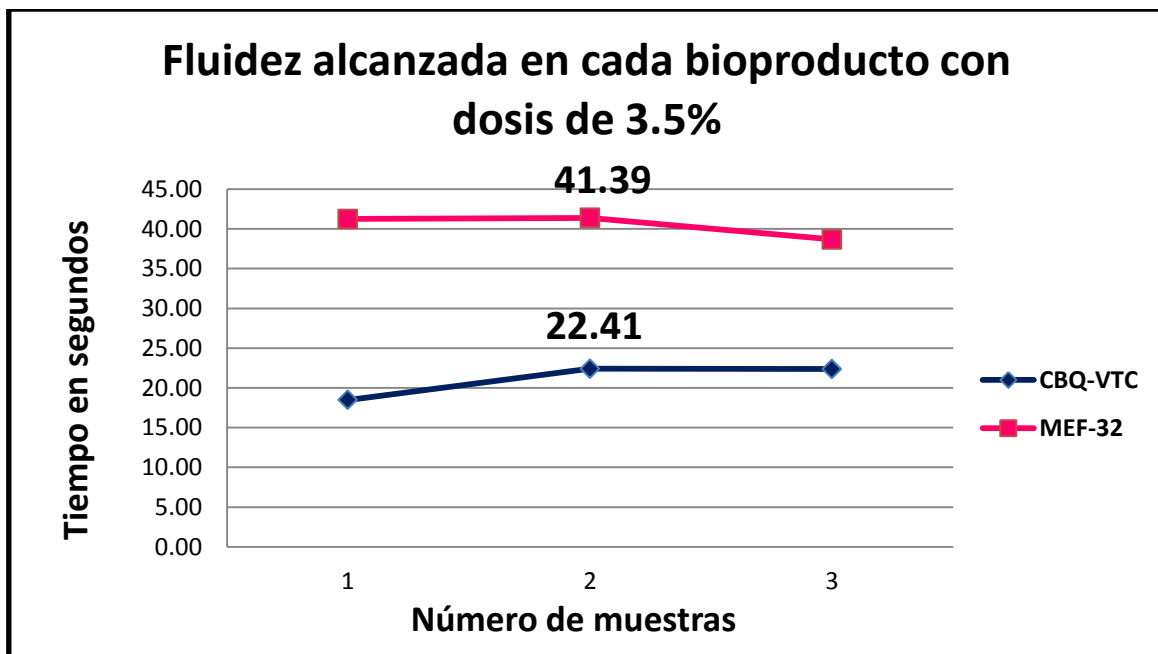


Gráfico 3.8: “Fluidez lograda con cada bio-producto con dosis de 3.5%”

La adición de diferentes dosis del bio-producto CBQ-VTC a pastas de cemento aumentó la fluidez de las mismas respecto a la muestra patrón, comprobándose mediante el ensayo del Cono de Marsh como se observa en el gráfico 3.9, tomando como referencia la pasta elaborada con MEF-32 al 3.5%. Se demuestra que la fluidez alcanzada con la referencia MEF-32 al 3.5% disminuyó con respecto a la muestra patrón. Mostrándose el mejor resultado para la dosis del 1.5%, la cual obtuvo valores similares a la dosis del 2%. Estos resultados para la dosis de 1.5% es inconsistente con el ensayo del Minicono, ya que no se corresponde con la fluidez alcanzada.

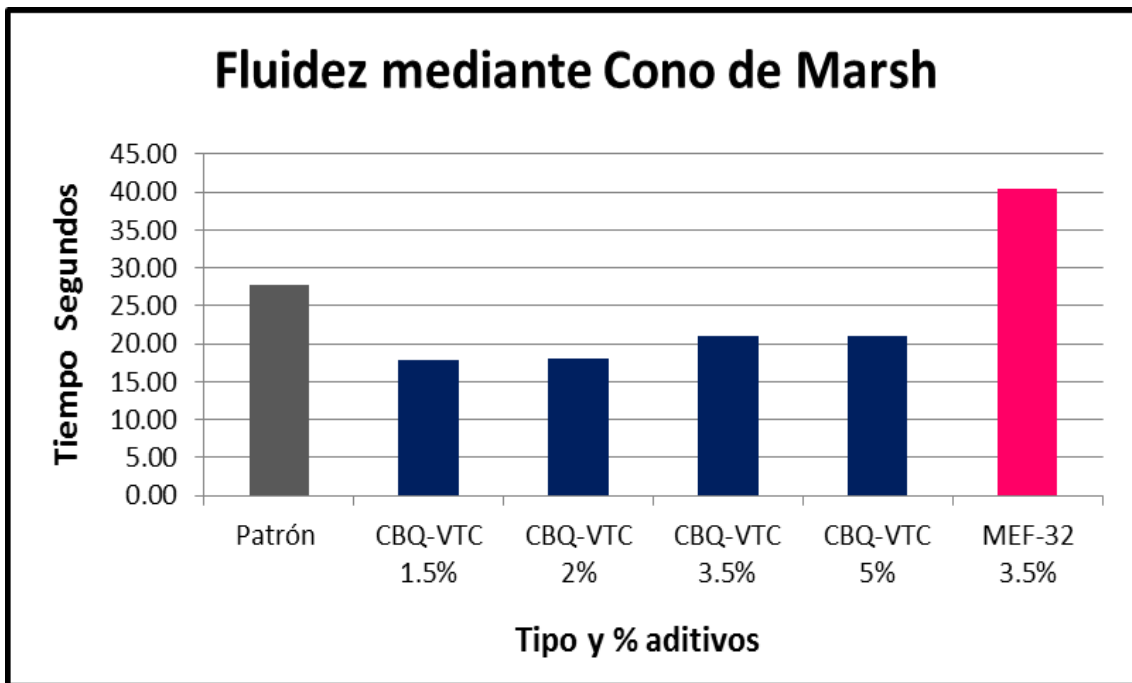


Gráfico 3.9: “Resultados de la fluidez empleando el Cono de Marsh”

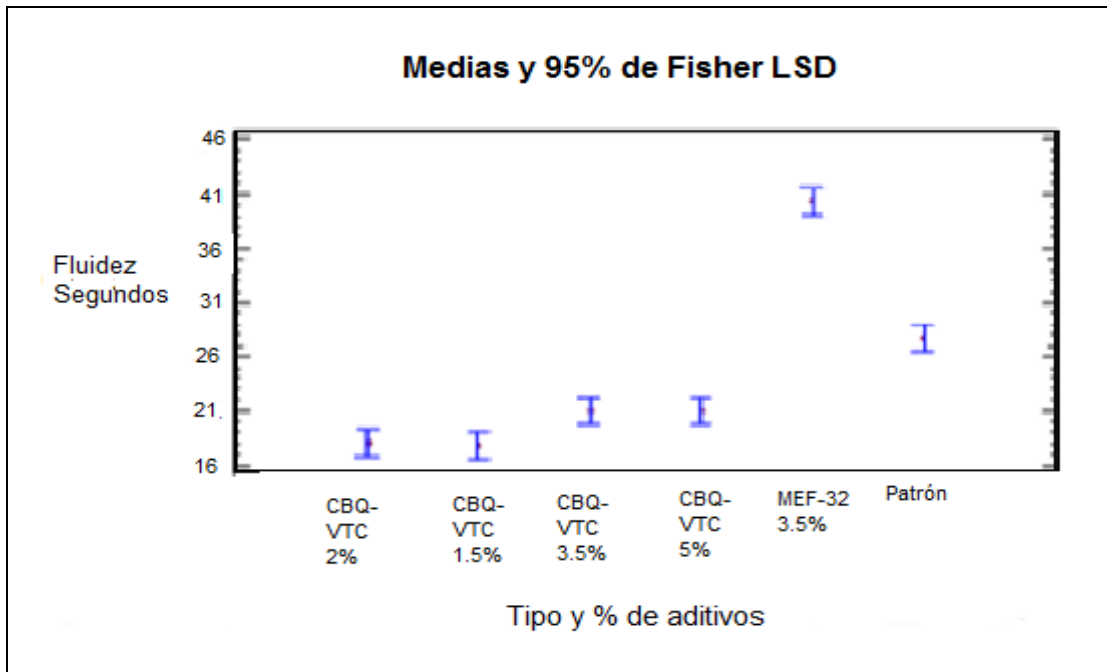


Gráfico 3.10: “Resultados de las medias obtenidas para un nivel de confianza del 95% en la determinación de la fluidez”

Como se muestra en el gráfico 3.10, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Fluidez Segundos entre un nivel de Tipo % aditivo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza (ver Anexo I). Demostrándose que entre la dosis 1.5% y 2% del bio-producto CBQ-VTC no existen diferencias, y lo mismo ocurre para la dosis 3.5% y 5%, las cuales tienen un comportamiento similar, no siendo así para la muestra utilizada como referencia, la cual no posee similitud con ninguna dosis, y sobrepasándose de la muestra patrón en valor de segundos, esto corrobora lo antes descrito por el gráfico 3.9.

3.3 Análisis de la consistencia normal en pastas de cemento con diferentes dosis. Ensayo Aguja de Vicat

Para la determinación de la cantidad de agua requerida para preparar la pasta de cemento hidráulico, se realizaron varias réplicas, tanteando el contenido de agua, hasta lograr la consistencia adecuada para que dicha pasta de cemento pueda ser hidratada. Al analizar el gráfico 3.11, donde se observa el porcentaje de agua

logrado en cada bio-producto para una misma dosis de 3.5%, que el CBQ-VTC alcanza un menor valor que el MEF-32, poniéndolo en una posición ventajosa, ya que logra la consistencia con una menor cantidad de agua. De igual manera, al ser ambos comparados con una muestra patrón se evidencia que el CBQ-VTC es un mejor reductor de agua que el MEF-32 para una misma dosis, ya que el mismo logra reducir un 21% de agua y el MEF-32 solo un 6%.

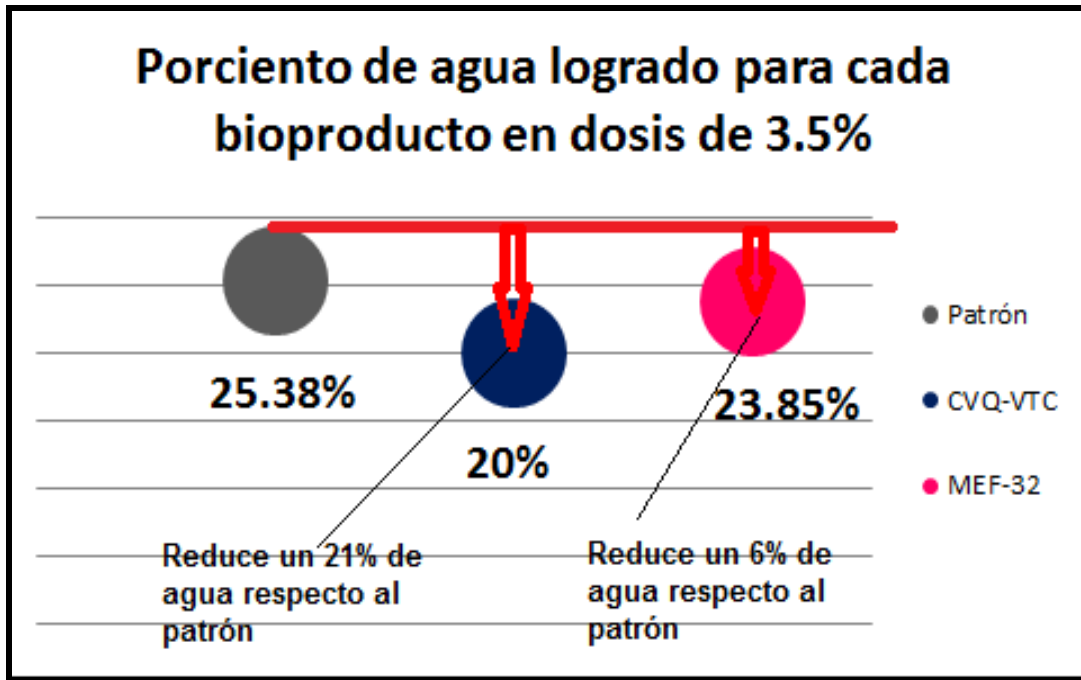


Gráfico 3.11: “Consistencia lograda para cada bio-producto en dosis de 3.5%”

Si se observa el gráfico 3.12 se llega a la conclusión de que el aditivo referencia MEF-32 al 3.5% muestra un efecto similar a la dosis de 1.5% del CBQ-VTC, lo que demuestra una reducción notable en cuanto al porcentaje de aditivo en función de un aditivo y otro, para un misma cantidad de agua requerida. Con respecto a la muestra patrón cada una de las dosis utilizadas con el bio-producto CBQ-VTC, reflejan efecto reductor de agua, lo que determina que a media que se incrementan las dosis del bio-producto, el carácter reductor de agua aumenta también. Para la dosis de 1.5% se reduce respecto a la muestra patrón un 6 % de agua, mientras que la dosis 2% reduce un 12%, para la dosis 3.5% se logra una

reducción del 21% y para la dosis del 5% se alcanza una reducción notable de 27% de agua.

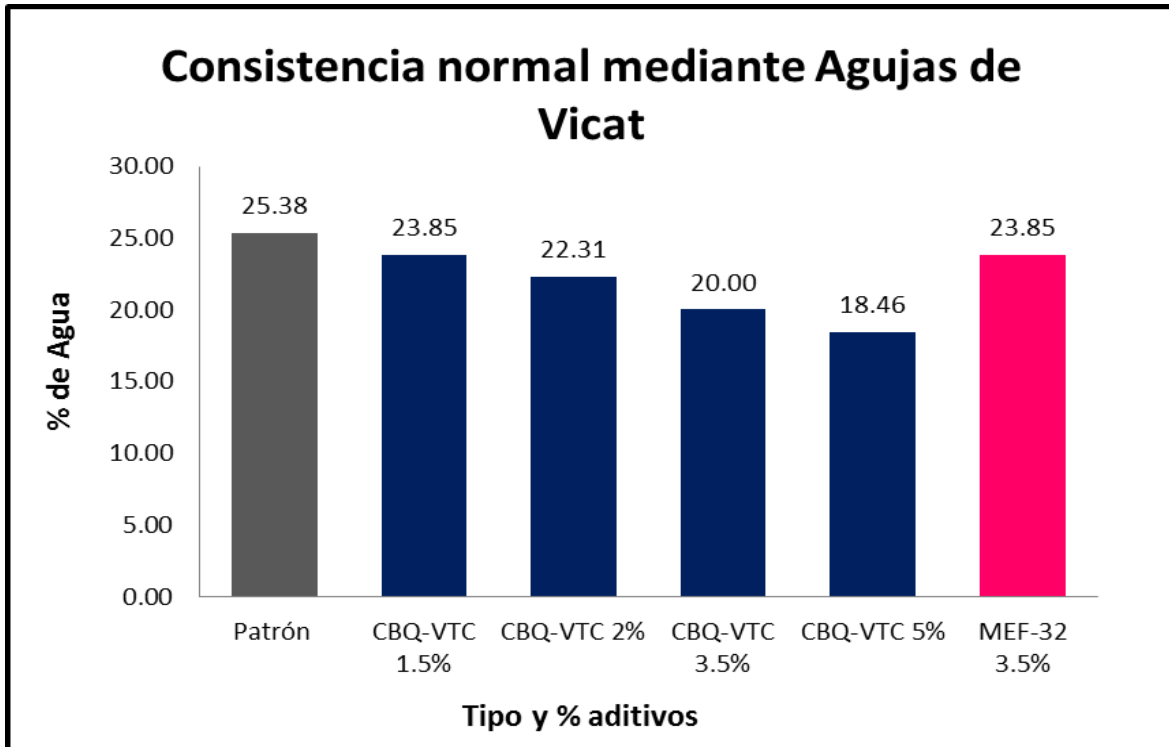


Gráfico 3.12: “Por ciento de agua necesaria para Consistencia normal (%)”

3.4 Análisis de los tiempos de fraguados inicial y final en pastas de cemento con diferentes dosis. Ensayo Aguja de Vicat

Como se muestra en el gráfico 3.13, para una misma dosis utilizada en cada bio-producto los resultados en cuanto a tiempo de fraguado revelan notables diferencias, ya que el MEF-32 alcanza un mayor tiempo de fraguado inicial que el CBQ-VTC, con un tiempo considerable de aproximadamente 1 hora, y sin embargo el CBQ-VTC supera al MEF-32 en su tiempo de fraguado final en 4 horas. Por lo que se definen dos comportamientos diferentes en cuanto a tiempo para cada uno de los bio-productos.

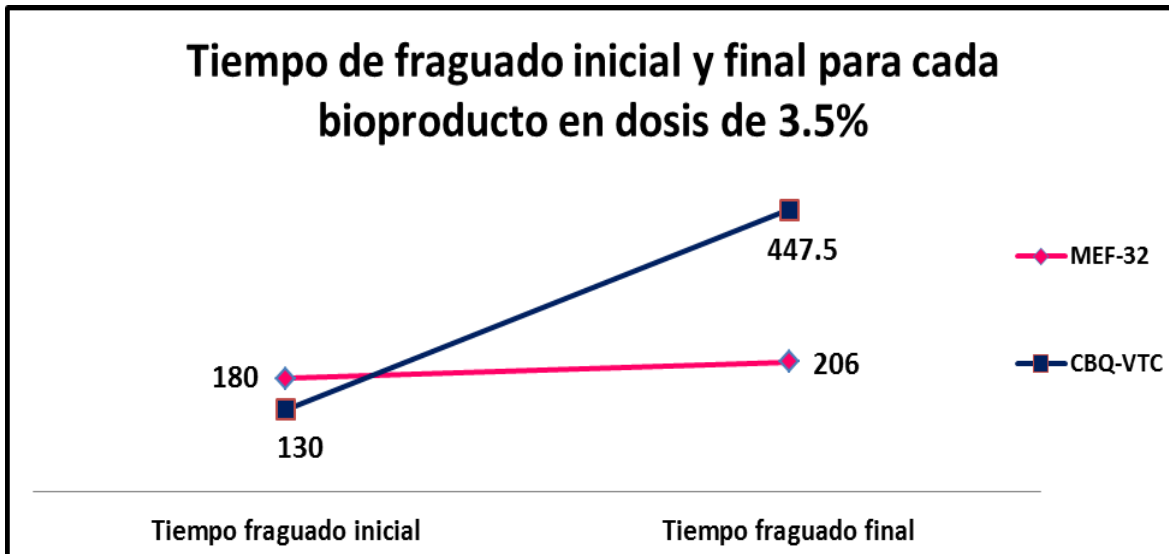


Gráfico 3.13: “Resultados de tiempo de fraguado inicial y final en cada bioproducto para una misma dosis de 3.5%”

Un aditivo retardador del fraguado es aquel que retarda la velocidad inicial de la reacción del cemento con el agua, aumentando el tiempo del principio de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estado rígido. Una vez determinada la consistencia normal, mediante el ensayo con el método de la aguja de Vicat, se constató que los tiempos de fraguado inicial y final de la pasta variaron con diferentes comportamientos ante la adición de las diferentes dosis del bio-producto CBQ-VTC, con respecto a la referencia y al patrón. Después de realizar el análisis de los datos mostrados en el gráfico 3.14, se comprobó que las dosis 1.5% y 2% tienen un efecto retardador ya que ambas presentaron un tiempo de fraguado inicial que supera al alcanzado por la muestra patrón en un tiempo de 135 minutos para la dosis 1.5% y en 80 minutos para la del 2%, no siendo así para las dosis 3.5% y 5%, las cuales tienden a disminuir el tiempo de fraguado inicial, comportándose las cuatro dosis antes mencionadas con similar efecto respecto a la referencia MEF-32 al 3.5%, y este a su vez muestra un efecto retardador respecto a la muestra patrón.

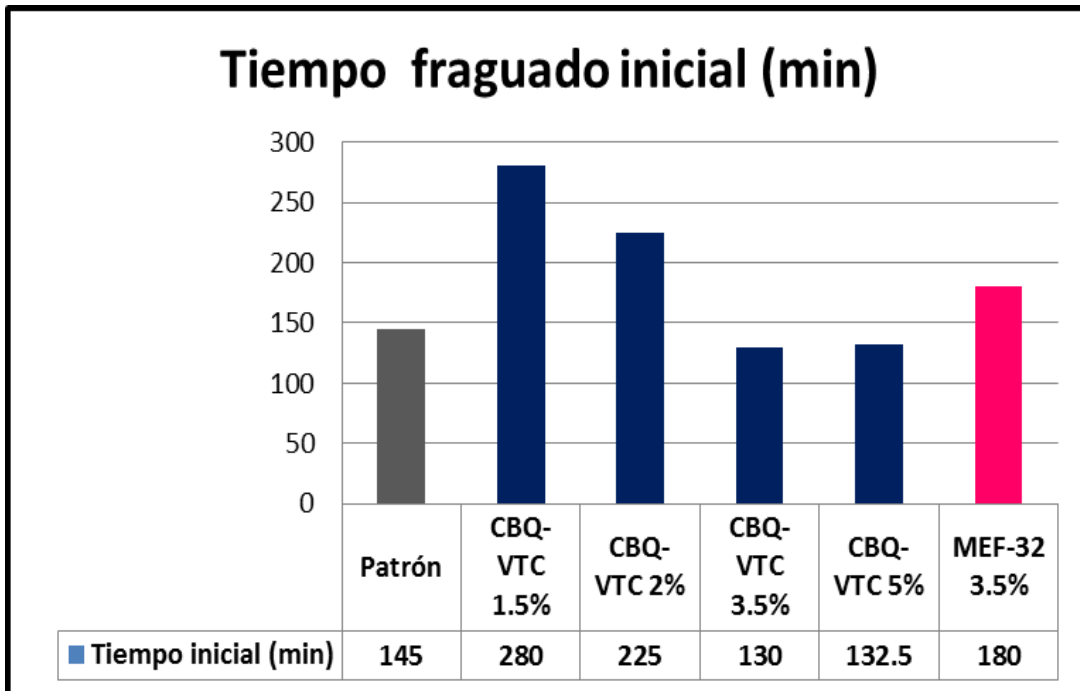


Gráfico 3.14: “Resultados de tiempo de fraguado inicial medidos para las distintos tipos de aditivos y sus diferentes dosis”

Para el caso de tiempo de fraguado final, como lo demuestra el gráfico 3.15, existe un comportamiento decreciente del bio-producto CBQ-VTC desde su dosis 1.5% hasta la de 2% y de esta respecto a la dosis de 5%, quedando un pequeño aumento que sobresale de esta línea decreciente para la dosis 3.5%. Además se puede comprobar que todos los resultados superan de lo establecido por la muestra patrón, mientras que la referencia MEF-32 define un valor similar a la misma. De esta manera queda demostrado que el mejor comportamiento lo experimenta la dosis 1.5% del CBQ-VTC.

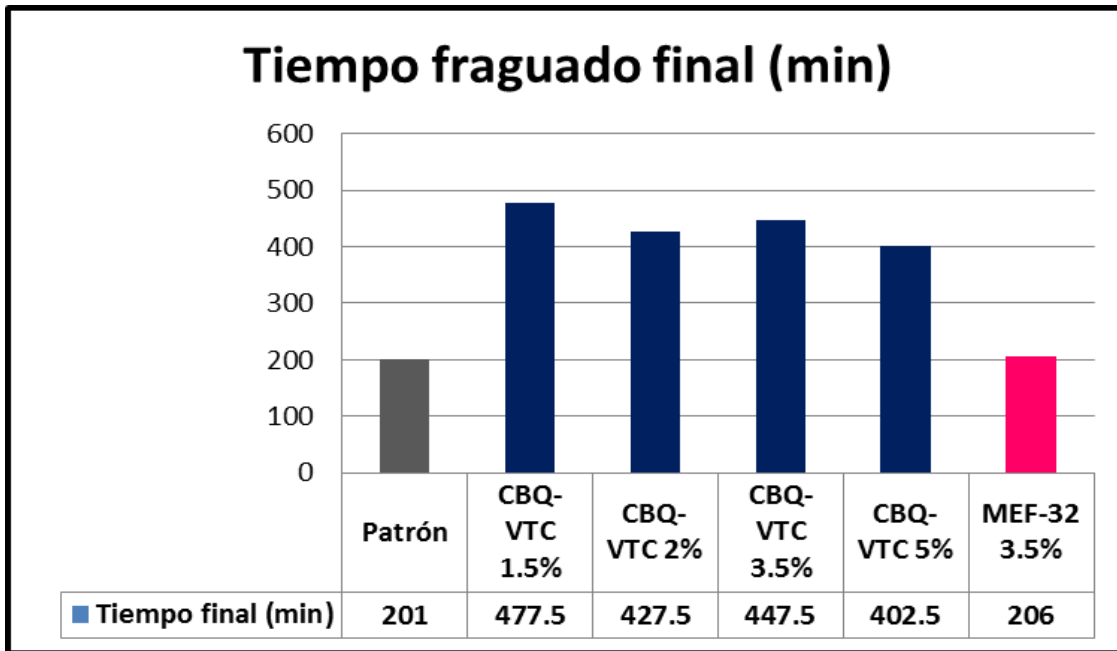


Gráfico 3.15: “Resultados de tiempo de fraguado final medidos para las distintos tipos de aditivos y sus diferentes dosis”

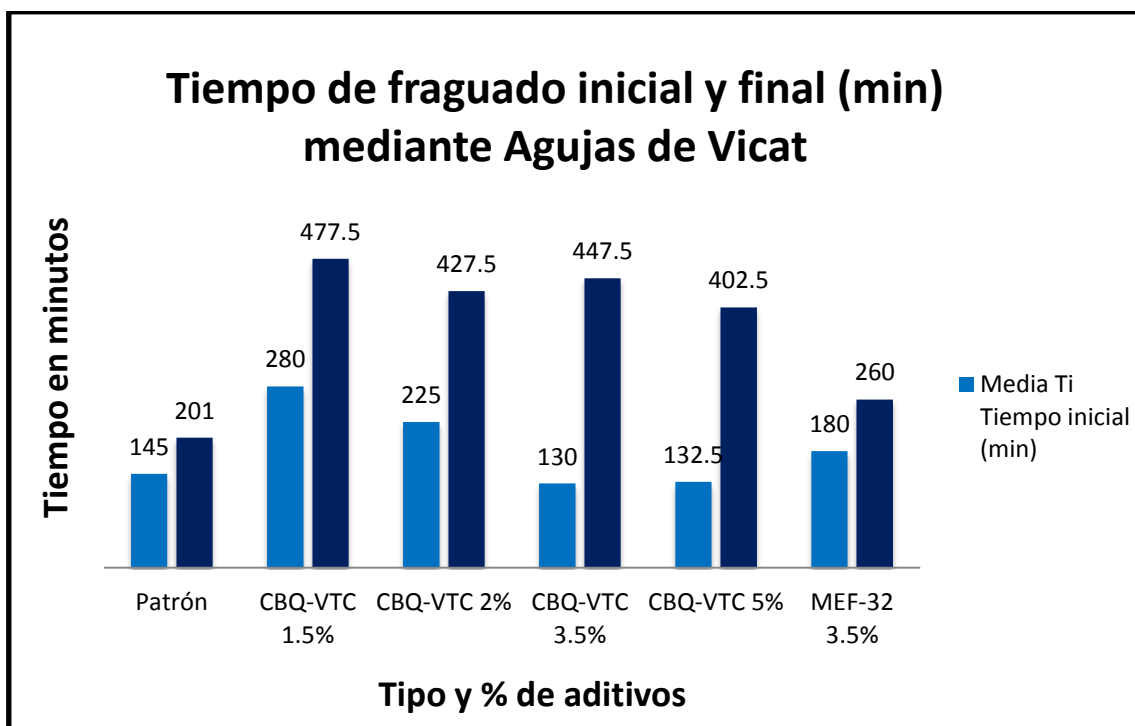


Gráfico 3.16: “Resultados de tiempos de fraguado inicial y final mediante Aguja de Vicat”

De manera general se puede observar a través del gráfico 3.16 que en cuanto a tiempo de fraguado inicial y final la dosis de mejor resultado respecto a la patrón es la de 1.5%, puesto que en ambos casos se alcanza los mayores valores, comportándose como un retardador de fraguado inicial y final el bio-producto CBQ-VTC en su dosis 1.5%.

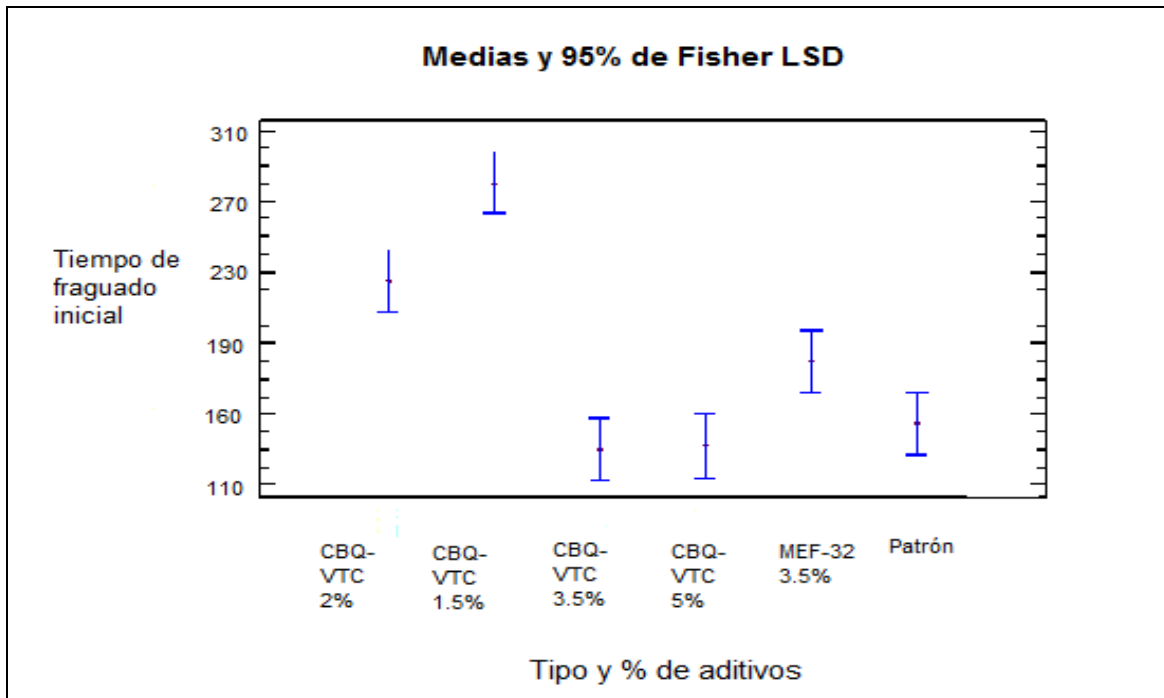


Gráfico 3.17: “Resultados de las medias obtenidas para un nivel de confianza del 95% en la variación de tiempo de fraguado inicial”

Como se muestra en el gráfico 3.17, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Tiempo fraguado inicial entre un nivel de Tipo de aditivo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza (ver Anexo II). Demostrándose que entre la dosis 1.5% y 2 % del bio-producto CBQ-VTC no existen diferencias, y lo mismo ocurre para la dosis 3.5% y 5%, las cuales tienen un comportamiento similar, mientras que la muestra patrón y la referencia MEF-32 al 3.5% poseen diferencia.

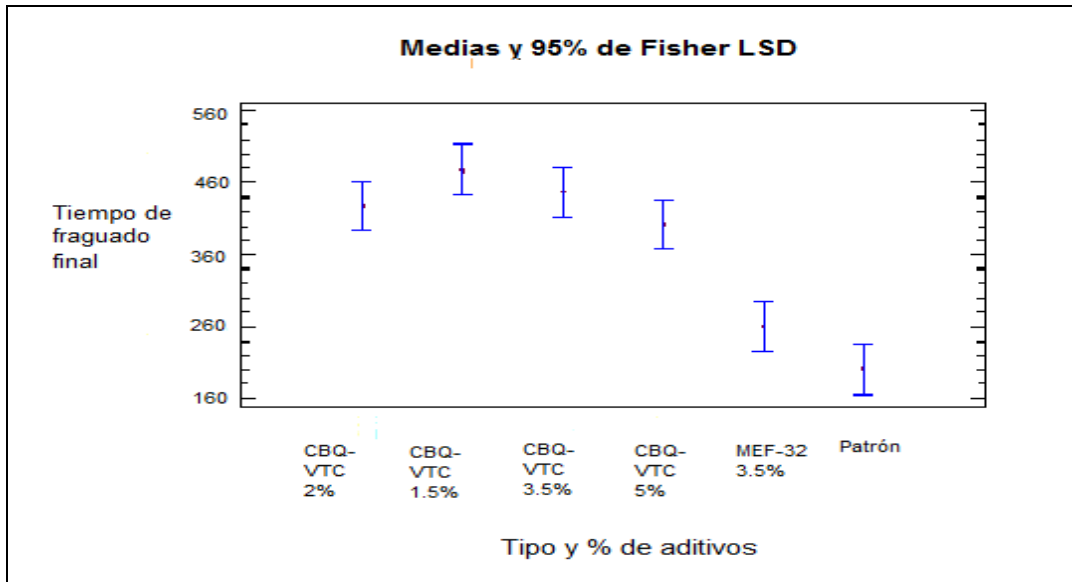


Gráfico 3.18: “Resultados de las medias obtenidas para un nivel de confianza del 95% en la variación de tiempo de fraguado final”

El gráfico 3.18 muestra los resultados de las medias del tiempo de fraguado final para los diferentes aditivos y por cientos utilizados (ver Anexo III). En esta figura se muestra como a medida que aumenta el por ciento de aditivos de 1.5% a 5% disminuyen los tiempos de fraguado final, comportándose como mejor resultado la dosis de 1.5%, la cual alcanza el mayor valor de 478 minutos. Estos resultados a su vez reflejan valores superiores al obtenido por la referencia MEF-32 al 3.5% y este supera el valor alcanzado por la muestra patrón.

Conclusiones parciales del Capítulo III

1. En el ensayo de Minicono se demostró que las muestras ensayadas con el bio-producto CBQ-VTC son más eficientes en cuanto al índice de plasticidad que las del MEF 32, presentándose como mejores resultados las dosis de un 2% y 3.5%.
2. En los ensayos realizados se comprueba que la dosis 1.5% del bio-producto CBQ-VTC logra actuar como retardador del fraguado, comparado con la muestra patrón, que logra aumentar el tiempo de fraguado inicial en 135 minutos y el final en 276.5 minutos.
3. El bio-producto CBQ-VTC alcanza mayor fluidez en la muestra de 1.5%, donde logra disminuir con respecto a la muestra del MEF 32, en 22.15 segundo, según el ensayo del Cono de Marsh.
4. Se demostró que el bio-producto CBQ-VTC alcanza sus mejores resultados en las dosis más bajas (1.5% y 2%), lo que demuestra una mejora sustancial en comparación con las altas dosis requeridas por los demás bio-productos.

Conclusiones Generales

Conclusiones Generales

1. Los bio-productos elaborados en el país como posibles aditivos en el hormigón, siendo el caso del MEF 32, están presentando dosis muy elevadas para obtener los efectos deseados. De esta manera se logra un nuevo bio-producto (CBQ-VTC) que obtiene mayores resultados con dosificaciones más bajas con respecto a los utilizados anteriormente.
2. Las diferentes dosis evaluadas del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento, manifiestan una influencia significativa en la plasticidad, consistencia, tiempo de fraguado y en la fluidez, destacándose como mejores resultados las dosis del 1.5% y 2% en la mayoría de los casos.
3. En pastas se puede utilizar el bio-producto CBQ-VTC como aditivos en dosis de 1.5% en peso del cemento, ya que muestra mejores resultados que la dosis del 2% en su comportamiento en cuanto a la fluidez y tiempo de fraguado inicial y final.

Recomendaciones

Recomendaciones

1. Obtener una caracterización química completa del bio-producto estudiado, para de esta manera poder conocer sus potencialidades y limitantes.
2. Realizar un análisis más amplio en el estudio del bio-producto CBQ-VTC en cuanto a la Calorimetría Isotérmica y otros ensayos necesarios como Encogimiento químico y variación de la viscosidad en el tiempo para una mejor caracterización del mismo.
3. Continuar profundizando en el estudio del impacto económico que puede generar para nuestro país la utilización del bio-producto CBQ-VTC en la fabricación de hormigón.

Bibliografía

Bibliografía

- ABREU RODRÍGUEZ, M. 2011. *Análisis del Micro-ben como aditivo plastificante para los Hormigones Autocompactables*. Universidad central "Marta Abreu" de Las Villas.
- ACEBES PASCUAL, M. 2007. *Estudio y extensión de un modelo micromecánico trifásico para la caracterización ultrasónica de materiales compuestos*. Universidad politecnica de madrid escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos
- AGUIRRE CABRERA, D. A., PACHECO GIRÓN, R. I., LAGOS VENTURA, P., HERNÁNDEZ NAJARRO, S., ABARCA DE GARCÍA, P., CASTILLO URRUTIA, J. E. & HERNÁNDEZ CEDILLOS, M. 2007. "Uso de aditivos para concreto". Universidad "Albert Einstein".
- ALONSO, S. & PALOMO, A. 2001. Calorimetric study of alkaline activation of calcium hydroxide±metakaolin solid mixtures. *Cement and Concrete Research*.
- ALUJAS DÍAZ, A. 2010. *Obtención de un Material Puzolánico de alta reactividad a partir de la activación térmica de una fracción arcillosa multicomponente* Doctor en Ciencias Técnicas Doctorado, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- ASTM-C-125 2000. ASTM C 125 – 00: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States: ASTM.
- ASTM-C-494 1992. ASTM C494/C494M-99a. Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto. 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States: ASTM.
- BECKER, E. A. 2013. Cemento portland. Características y recomendaciones de uso. *LOMA NEGRA*, 8-12.
- BETANCOURT RODRÍGUEZ, S. 2009a. Cementos puzolánicos *Puzolanas*. Santa Clara.
- BETANCOURT RODRÍGUEZ, S. 2009b. Composición mineral del cemento Pórtland. *Fases del CPO*. Santa Clara: Formato Electrónico.

- BETANCOURT RODRÍGUEZ, S. 2009c. Fraguado y endurecimiento del cemento Pórtland. *Fraguado CPO*.
- BRIZUELA, J. A. 2013. *Determinación del efecto plastificante de bioproductos MEF en pastas*. Universidad central "Marta Abreu" de las Villas.
- CABRERA PÉREZ, M. 2013. *Influencia de bioproductos MEF sobre propiedades físicas y reológicas de pastas de cemento*. Trabajo de Diploma, Universidad central "Marta Abreu" de Las Villas.
- CAPÍTULO DE INGENIEROS CIVILES, A. E. I. 2013. Aditivos – Aspectos generales. *Conferencia inicial del Seminario "Aditivos y Adiciones en el Concreto"*, 1-6.
- CIVIL, I. 2009. *Los aditivos. Definición y generalidades* [Online]. Copyright © 2009 Ingeniería Civil. Available: <http://ingecivilcusco.blogspot.com/2009/07/aditivos-aspectos-generales.html> [Accessed 24-3-2015].
- COLLEPARDI, M. Chemical admixtures today. Proceedings of Second International Symposium on Concrete Technology for Sustainable February-Development with EmpHasis on Infrastructure, 2005. 527-541.
- CONCRETO, B. E. 2014. *¿Qué sabes de la contracción (retracción) del concreto? Retracción por secado del concreto, retracción plástica y retracción química* [Online]. Copyright Concreto - 360 Grados -Blog En Concreto 2014 | Términos Y Condiciones. Available: <http://blog.360gradosenconcreto.com/que-sabes-de-la-contraccion-retraccion-del-concreto/> [Accessed 25-3-2015].
- CORRES, P., HUGO, SEIJO, V., CARMELA , GARCÍA, E., JOSÉ DANIEL , CALVO, H., IGNACIO , GRÁVALOS, M., JAVIER , CHOZAS, L., VALLE, LAMPLE, C., ROSA & VIÑOLO, A., ANDRÉS 2010. Advanced concrete technologies implementation in shell footbridges over Madrid river in MRio Project. *Revista de Obras Públicas*, 7-18.
- EHE 2008. EHE – 08. Instrucción de Hormigón Estructural Universidad de Castilla- La Mancha: Instituto Español de Normalización.
- EMOTO, T. & BIER, T. A. 2007. Rheological behavior as influenced by plasticizers and hydration kinetics. *Cement and Concrete Research*.
- EN 2008. BS EN 934. Admixtures for concrete, mortar and grout.

- FLATT, R. J., ROUSSEL, N. & R. CHEESEMAN, C. 2012. An eco material that needs to be improved. *Journal of the European Ceramic Society*.
- FRANCISCO 2013a. LECCION 1. Cemento portland. Generalidades. 2-6.
- FRANCISCO 2013b. LECCION 7. Hidratacion del cemento Portland. 6-15.
- FUNG, W. W. S. & KWAN, A. K. H. 2010. Role of water film thickness in rheology of CSF mortar. *Cement and Concrete Composites*, 32, 255-264.
- GEEK, C. 2015. *Tipos de aditivos para concreto* [Online]. Civil Geek.com. Available: <http://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-aditivos-para-concreto/> [Accessed 16-3-2015].
- GÓMEZ, M., DAMARIS. 2010. *Uso de plastificantes a partir de microorganismos eficientes en hormigones*. Universidad central "Marta Abreu" de Las Villas.
- GONZALES DE LA COTERA, M. 2002. Comportamiento filler calizo en los concretos autocompactados. Comportamiento de las adiciones minerales en los concretos autocompactados. Asociación de Productores de Cemento Coloquio de Química del Cemento 9. 1-12.
- GREENHEARTIBIZA. 2015. *Algunos usos básicos de la tecnología EM* [Online]. Copyright © 2015 Casita Verde - All rights reserved. Available: <http://www.casitaverde.com/effective-micro-organisms.php?lan=es> [Accessed 4-3-2015].
- GRUPOCMATERIALES. 2015. *Reacciones de hidratación* [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/grupocmateriales/home/introduccion/reacciones-de-hidratacion> [Accessed 16-3-2015].
- HERMIDA, G. 2012. *Aditivos para Concreto una visión actual*. Sika Informaciones Técnicas.
- HERRERUEL GARCÍA, F. 2014. *Contenidos formativos de certificados de profesionalidad. Pastas, morteros, adhesivos y hormigones*.
- HIGA, T. & PARR, J. F. 1994. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment.
- HIGA, T., SATO, N., SHOYA, M. & SUGITA, S. Some properties of concrete mixed with effective microorganisms and the on-site investigation of structures. 28th Conference On Our World In Concrete & Structures, **2003** Singapore.

- ISMAIL, N. & MOHD.SAMAN, H. Microstructure Examination and Strength Characteristics of Effective Microbed Cement. International Conference on Biological, Civil and Environmental Engineering (BCEE-2014, 2014 Dubai (UAE).
- JONKERS, H. 2007. Self Healing Concrete: A Biological Approach. *In: VAN DER ZWAAG, S. (ed.) Self Healing Materials*. Springer Netherlands.
- JONKERS, H. M. & SCHLANGEN, E. 2009. Towards a sustainable bacterially-mediated self healing concrete.
- KETT, I. 2010. Engineered Concrete: Mix Design and Test Methods.
- MARIO, J. 2015. *Método de ensayo para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico* [Online]. Available: <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/mtodo-de-ensayo-para-determinar-la.html> [Accessed 28-3-2015].
- MARTIRENA, F., RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, Y., CALLICO, A., GONZALEZ, R., DIAZ , Y., BRACHO, G., ALUJAS, A., GUERRA DE LEON , J. O. & ALVARADO-CAPÓ, Y. 2014. Microorganism-based bioplasticizer for cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 60, 91–97.
- MITHRA, M., RAMANATHAN, P., MUTHUPRIYA, P. & VENKATASUBRAMANI, R. 2012. Flexural Behavior of Reinforced Self Compacting Concrete Containing GGBFS. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 1, 124-129.
- MORA LÓPEZ, A. E. 2012. *Evaluación del "IHplus" como bioplastificante en la producción de pastas y morteros*. Universidad centra "Marta abreu" de Las Villas.
- MORAGUES TERRADES, A. 2013. *Procesos de hidratación del cementos y microestructura del hormigón*. Escola Técnica Superior de ingeniería de caminos, canales y puertos de Barcelona.
- NC95 2011. NC 95: 2011 Cemento Portland- Especificaciones. Ciudad de La Habana: Oficina Nacional de Normalización (NC).
- NC228-1 2005. NC 228-1:2005 Admixtures for concretes, mortars y grouts. Part 1: Admixtures for concrete.Requirements. Ciudad de la Habana: Cuban National Bureau of Standards (NC).

- NC353 2004. NC 353 : 2004 Water for preparing and curing concrete and mortars-specifications. Ciudad de La Habana: Cuban National Bureau of Standards (NC).
- NC461 2006. NC 461: 2006 Determination of grout flow test in cement Portland applying marsh cone. Ciudad de La Habana. Cuba: Cuban National Bureau of Standards (NC).
- NC524 2007. NC 524: 2007 Cemento hidráulico- Método de ensayo- Determinación de la consistencia normal y tiempos de fraguado por Aguja Vicat. Ciudad de La Habana: Oficina Nacional de Normalización (NC).
- NC-235 2012. NC 235: 2012. Cement pastes-Determination of plasticity and its variation over time using the mini-cone method. La Habana. Cuba: Cuban National Bureau of Standards (NC).
- NISTAL CORDERO, Á. F., RETANA MAQUEDA, M. J. & RUIZ ABRIO, T. 2012. El hormigón: Historia, antecedentes en obras y factores identificativos. *Tecnología y Desarrollo*, X, 1-16.
- NTE-INEN-158 2009. NTE INEN 158:2009: Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat. Quito. Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- PACHECO-TORGAL, F. & LABRINCHA, J. A. 2013. Biotechnologies and bioinspired materials for the construction industry: An overview. *International Journal of Sustainable Engineering*, 1-10.
- PEÑA LEÓN, D. 2013. *Propiedades reológicas de morteros y hormigones hidráulicos empleando aditivos bioplastificantes mef producidos en Cuba*. UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS.
- PORTLAND, A. D. F. D. C. 2010. La industria del cemento y la sostenibilidad. *Asociación de fabricantes de cemento portland*, 13-20.
- RODRÍGUEZ LEÓN, J. P. 2014. *Incremento del efecto plastificante del Bioproducto MEF-32 en pastas de cemento P-35*. Universidad central "Marta Abreu" de Las Villas.
- RONCERO, J. & MAGAROTTO, R. 2010. Los aditivos para el concreto. *Revista Construcción y Tecnología, IMCYC*.
- SALGADO, L. 2011. Tecnología EM® - Microorganismos Eficaces. *ECO TECNOLOGIAS*.

- SANTIAGO, P., ESTELA & VIDAL, C., MANUEL DEKAR. 2011. "Diferentes tipos de aditivos para el concreto". UNIVERSIDAD VERACRUZANA: FACULTAD DE INGENIERÍA.
- SIKA. 2014. Química en la construcción: Soluciones para cada necesidad. Available: www.sika.es.
- SIONG ANDREW, T. C., SYAHRIZAL, I. I. & JAMALUDDIN, M. Y. 2013. Effective Microorganisms for Concrete (EMC) Admixture – Its Effects to the Mechanical Properties of Concrete. *Caspian Journal of Applied Sciences Research*, 2(AICCE'12 & GIZ' 12), 150-157.
- TAYLOR, H. F. W. 1990. *Cement Chemistry* London, Academic Press.
- TORTOZA, C. & LÓPEZ, H. L. 2015. *Comportamiento de dos aditivos aceleradores con el mortero E-5, utilizado en el revestimiento primario proyectado en los túneles de la línea 5 del metro de Caracas*. Universidad "Nueva Esparta".
- UNE-83-200-84 1985. UNE 83-200-84: Aditivos para hormigones, morteros y pastas
- Normativa: clasificación y definiciones. España: Asociación Española de Normalización y Certificación (IRANOR).
- UNE-EN-196-3 2003. UNE-EN 196-3: 2003 Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen. España: Asociación Española de Normalización y Certificación (IRANOR).
- UWE, R. & ROBERTO, S. 2014. Microorganismos efectivos. El uso de EM en Hoteles, Gastronomía y Lugares Públicos.
- VÁSQUEZ A, R. 2012. Cemento y sus aplicaciones. *Cementos Pacasmayo S.A.A*, 7-12.
- VENKOVIC, N., SORELLI, L. & MARTIRENA, F. 2013. Nanoindentation study of calcium silicate hydrates in concrete produced with effective microorganisms-based bioplasticizer. *Cement & Concrete Composites*, 49 127–139.
- YATIM, J. M., RAHMAN, W. A. B. W. A. & SAM, A. R. M. 2009. Characterization and effects of the effective microorganics (em) and industrial waste (iw) materials as a partial mixture of concrete.

ZATON ORCASITAS, M. 2015. *Empleo de aditivos en la fabricación de materiales*. Escola Técnica Superior de ingeniería de caminos, canales y puertos de Barcelona.

ANEXOS

Anexo I: "Fluidez Cono de Marsh"

Resumen Estadístico para Fluidez Segundos

| Tipo % aditivo | Recuento | Promedio | Desviación Estándar | Coefficiente de Variación | Mínimo | Máximo | Rango |
|----------------|----------|----------|---------------------|---------------------------|--------|--------|-------|
| CBQ-VTC 2% | 3 | 18,02 | 1,22462 | 6,79591% | 17,1 | 19,41 | 2,31 |
| CBQ-VTC 1.5% | 3 | 17,85 | 0,438634 | 2,45733% | 17,53 | 18,35 | 0,82 |
| CBQ-VTC 3.5% | 3 | 21,09 | 2,25175 | 10,6769% | 18,49 | 22,41 | 3,92 |
| CBQ-VTC 5% | 3 | 21,0733 | 1,27692 | 6,05943% | 19,6 | 21,86 | 2,26 |
| MEF-32 3.5% | 3 | 40,4367 | 1,53158 | 3,7876% | 38,67 | 41,39 | 2,72 |
| Patrón | 3 | 27,6967 | 0,433628 | 1,56563% | 27,2 | 28,0 | 0,8 |
| Total | 18 | 24,3611 | 8,19915 | 33,6567% | 17,1 | 41,39 | 24,29 |

| Tipo % aditivo | Sesgo Estandarizado | Curtosis Estandarizada |
|----------------|---------------------|------------------------|
| CBQ-VTC 2% | 1,04134 | |
| CBQ-VTC 1.5% | 1,08588 | |
| CBQ-VTC 3.5% | -1,22431 | |
| CBQ-VTC 5% | -1,2163 | |
| MEF-32 3.5% | -1,21324 | |
| Patrón | -1,13668 | |
| Total | 2,24283 | 0,414968 |

Hay una diferencia de más de 3 a 1 entre la desviación estándar más pequeña y la más grande. Esto puede causar problemas puesto que el análisis de varianza asume que las desviaciones estándar de todos los niveles son igual.

Tabla ANOVA para Fluidez Segundos por Tipo y % de aditivos

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 1120,99 | 5 | 224,198 | 123,11 | 0,0000 |
| Intra grupos | 21,8536 | 12 | 1,82113 | | |
| Total (Corr.) | 1142,84 | 17 | | | |

La razón-F, igual a 123,109. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Fluidez Segundos entre un nivel de Tipo % aditivo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos para Fluidez Segundos por Tipo % aditivo

Método: 95,0 porcentaje LSD

| Nivel | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|-------------------------|----------|--------------|-------------------|
| CBQ-VTC 1.5% | 3 | 17,85 | X |
| CBQ-VTC 2% | 3 | 18,02 | X |
| CBQ-VTC 5% | 3 | 21,07 33 | X |
| CBQ-VTC 3.5% | 3 | 21,09 | X |
| Patrón | 3 | 27,69 67 | X |
| MEF-32 3.5% | 3 | 40,43 67 | X |

| Contraste | Sig. | Diferenci a | +/- Límites |
|---------------------------------|------|----------------|----------------|
| CBQ-VTC 2% - CBQ-VTC 1.5% | | 0,17 | 2,4007 5 |
| CBQ-VTC 2% - CBQ-VTC 3.5% | * | -3,07 | 2,4007 5 |
| CBQ-VTC 2% - CBQ-VTC 5% | * | -3,05333 | 2,4007 5 |
| CBQ-VTC 2% - MEF-32 3.5% | * | -22,4167 | 2,4007 5 |
| CBQ-VTC 2% - Patrón | * | -9,67667 | 2,4007 5 |
| CBQ-VTC 1.5% - CBQ- VTC 3.5% | * | -3,24 | 2,4007 5 |
| CBQ-VTC 1.5% - CBQ- VTC 5% | * | -3,22333 | 2,4007 5 |
| CBQ-VTC 1.5% - MEF-32 3.5% | * | -22,5867 | 2,4007 5 |

| | | | |
|----------------------------|---|---------------|-------------|
| CBQ-VTC 1.5% - Patrón | * | -9,84667 | 2,4007 5 |
| CBQ-VTC 3.5% - CBQ-VTC 5% | | 0,016666 7 | 2,4007 5 |
| CBQ-VTC 3.5% - MEF-32 3.5% | * | -19,3467 | 2,4007 5 |
| CBQ-VTC 3.5% - Patrón | * | -6,60667 | 2,4007 5 |
| CBQ-VTC 5% - MEF-32 3.5% | * | -19,3633 | 2,4007 5 |
| CBQ-VTC 5% - Patrón | * | -6,62333 | 2,4007 5 |
| MEF-32 3.5% - Patrón | * | 12,74 | 2,4007 5 |

* indica una diferencia significativa.

No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's, mediante el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

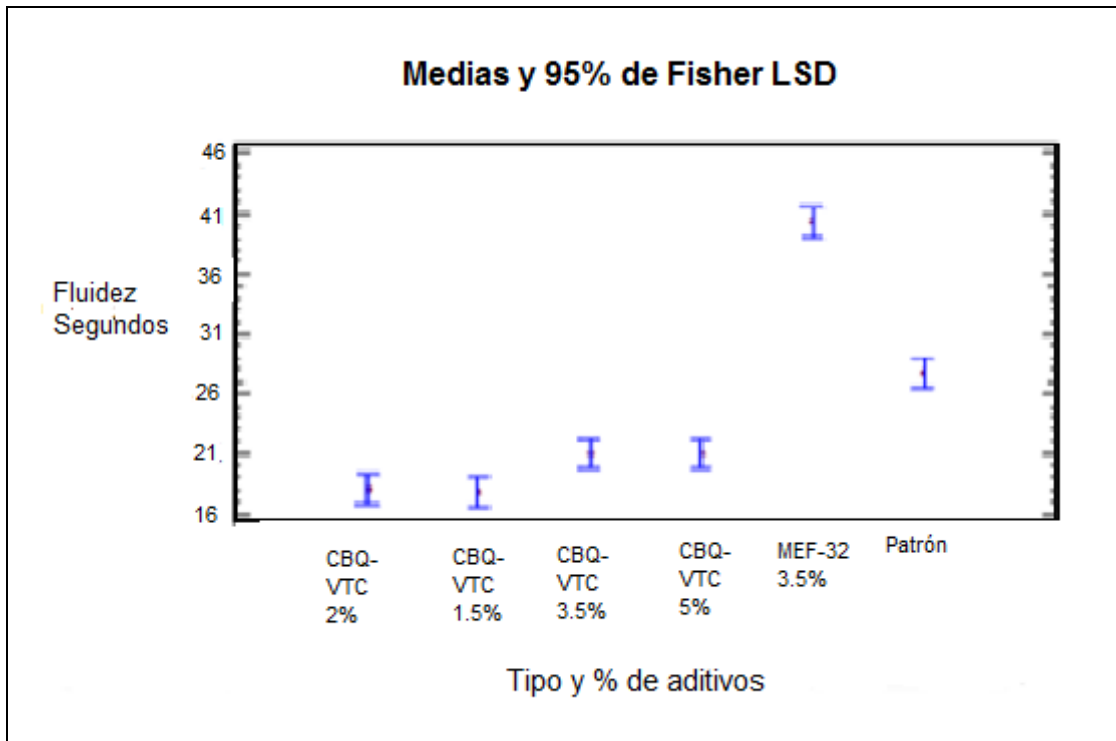


Gráfico 1: “Gráfico de las medias obtenido para fluidez”

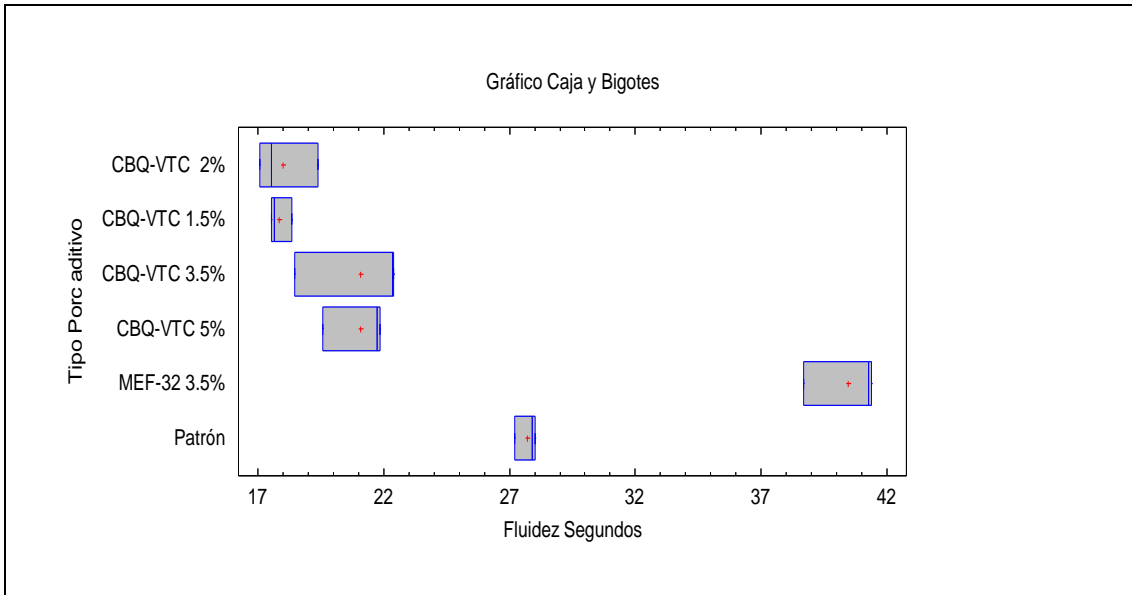


Gráfico 2: “Gráfico de bigotes obtenido para fluidez”

Anexo II: "Tiempo de fraguado inicial"

Resumen Estadístico para Tiempo fraguado inicial

| Tipo de aditivo | Recuento | Promedio | Desviación Estándar | Coefficiente de Variación | Mínimo | Máximo | Rango |
|-----------------|----------|----------|---------------------|---------------------------|--------|--------|-------|
| CBQ-VTC 2% | 2 | 225,0 | 28,2843 | 12,5708% | 205,0 | 245,0 | 40,0 |
| CBQ-VTC 1.5% | 2 | 280,0 | 21,2132 | 7,57614% | 265,0 | 295,0 | 30,0 |
| CBQ-VTC 3.5% | 2 | 130,0 | 0,0 | 0,0% | 130,0 | 130,0 | 0,0 |
| CBQ-VTC 5% | 2 | 132,5 | 3,53553 | 2,66833% | 130,0 | 135,0 | 5,0 |
| MEF-32 3.5% | 2 | 180,0 | 0,0 | 0,0% | 180,0 | 180,0 | 0,0 |
| Patrón | 2 | 145,0 | 0,0 | 0,0% | 145,0 | 145,0 | 0,0 |
| Total | 12 | 182,083 | 58,1713 | 31,9476% | 130,0 | 295,0 | 165,0 |

| Tipo de aditivo | Sesgo Estandarizado | Curtosis Estandarizada |
|-----------------|---------------------|------------------------|
| CBQ-VTC 2% | | |
| CBQ-VTC 1.5% | | |
| CBQ-VTC 3.5% | | |
| CBQ-VTC 5% | | |
| MEF-32 3.5% | | |
| Patrón | | |
| Total | 1,28584 | -0,355587 |

Hay una diferencia de más de 3 a 1 entre la desviación estándar más pequeña y la más grande. Esto puede causar problemas puesto que el análisis de varianza asume que las desviaciones estándar de todos los niveles son igual.

Tabla ANOVA para Tiempo fraguado inicial por Tipo de aditivo

| Fuente | Suma de Cuadrados | GI | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 35960,4 | 5 | 7192,08 | 34,18 | 0,0002 |
| Intra grupos | 1262,5 | 6 | 210,417 | | |
| Total (Corr.) | 37222,9 | 11 | | | |

La razón-F, es igual a 34,1802. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Tiempo fraguado inicial entre un nivel de Tipo de aditivo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo fraguado inicial por Tipo de aditivo

Método: 95,0 porcentaje LSD

| Nivel | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|--------------|-------|-------|-------------------|
| CBQ-VTC 3.5% | 2 | 130,0 | X |
| CBQ-VTC 5% | 2 | 132,5 | X |
| Patrón | 2 | 145,0 | XX |
| MEF-32 3.5% | 2 | 180,0 | X |
| CBQ-VTC 2% | 2 | 225,0 | X |
| CBQ-VTC 1.5% | 2 | 280,0 | X |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|---------------------------|------|------------|-------------|
| CBQ-VTC 2% - CBQ-VTC 1.5% | * | -55,0 | 35,4944 |
| CBQ-VTC 2% - CBQ-VTC 3.5% | * | 95,0 | 35,4944 |

| | | | |
|-----------------------------|---|-------|---------|
| CBQ-VTC 2% - CBQ-VTC 5% | * | 92,5 | 35,4944 |
| CBQ-VTC 2% - MEF-32 3.5% | * | 45,0 | 35,4944 |
| CBQ-VTC 2% - Patrón | * | 80,0 | 35,4944 |
| CBQ-VTC 1.5% - CBQ-VTC 3.5% | * | 150,0 | 35,4944 |
| CBQ-VTC 1.5% - CBQ-VTC 5% | * | 147,5 | 35,4944 |
| CBQ-VTC 1.5% - MEF-32 3.5% | * | 100,0 | 35,4944 |
| CBQ-VTC 1.5% - Patrón | * | 135,0 | 35,4944 |
| CBQ-VTC 3.5% - CBQ-VTC 5% | | -2,5 | 35,4944 |
| CBQ-VTC 3.5% - MEF-32 3.5% | * | -50,0 | 35,4944 |
| CBQ-VTC 3.5% - Patrón | | -15,0 | 35,4944 |
| CBQ-VTC 5% - MEF-32 3.5% | * | -47,5 | 35,4944 |
| CBQ-VTC 5% - Patrón | | -12,5 | 35,4944 |
| MEF-32 3.5% - Patrón | | 35,0 | 35,4944 |

* indica una diferencia significativa.

No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's, mediante el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher

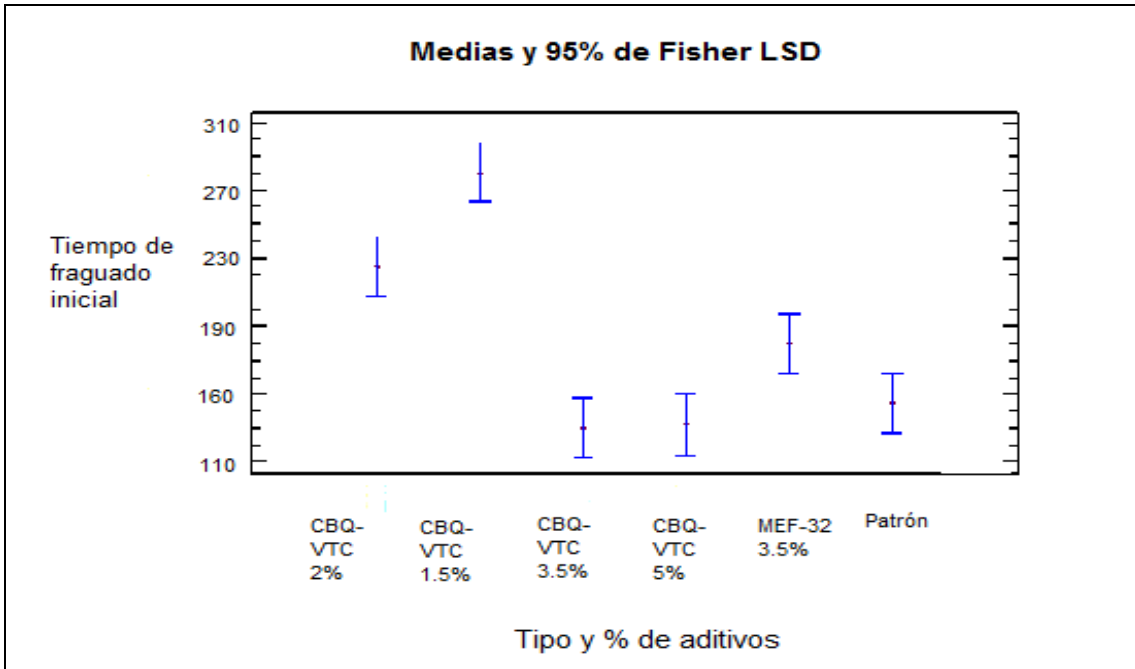


Gráfico 1: “Gráfico de las medias obtenido para tiempo de fraguado inicial”

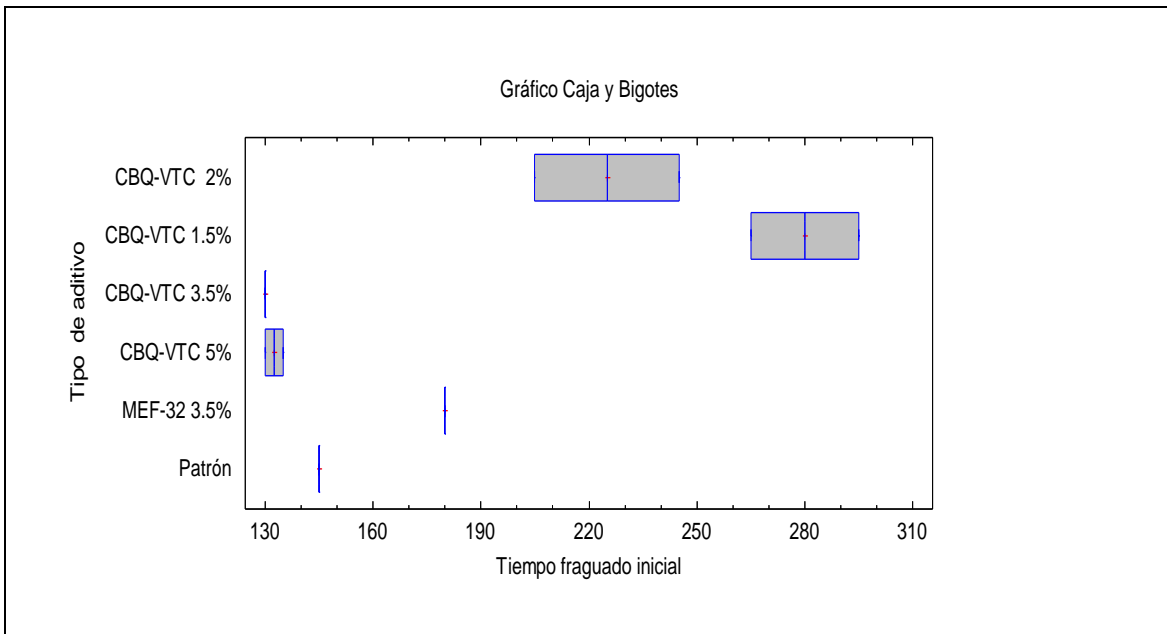


Gráfico 2: “Gráfico de bigotes obtenido para tiempo de fraguado inicial”

Anexo III: "Tiempo de fraguado final"

Resumen Estadístico para Tiempo fraguado final

| Tipo y % de aditivo | Recuento | Promedio | Desviación Estándar | Coefficiente de Variación | Mínimo | Máximo | Rango |
|---------------------|----------|----------|---------------------|---------------------------|--------|--------|-------|
| CBQ-VTC 2% | 2 | 427,5 | 24,7487 | 5,78918% | 410,0 | 445,0 | 35,0 |
| CBQ-VTC 1.5% | 2 | 477,5 | 17,6777 | 3,70213% | 465,0 | 490,0 | 25,0 |
| CBQ-VTC 3.5% | 2 | 447,5 | 45,9619 | 10,2708% | 415,0 | 480,0 | 65,0 |
| CBQ-VTC 5% | 2 | 402,5 | 17,6777 | 4,39197% | 390,0 | 415,0 | 25,0 |
| MEF-32 3.5% | 2 | 260,0 | 28,2843 | 10,8786% | 240,0 | 280,0 | 40,0 |
| Patrón | 2 | 201,0 | 26,8701 | 13,3682% | 182,0 | 220,0 | 38,0 |
| Total | 12 | 369,333 | 108,728 | 29,4389% | 182,0 | 490,0 | 308,0 |

| Tipo y % de aditivo | Sesgo Estandarizado | Curtosis Estandarizada |
|---------------------|---------------------|------------------------|
| CBQ-VTC 2% | | |
| CBQ-VTC 1.5% | | |
| CBQ-VTC 3.5% | | |
| CBQ-VTC 5% | | |
| MEF-32 3.5% | | |
| Patrón | | |
| Total | -0,9714 | -0,808931 |

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de Tiempo fraguado final para cada uno de los 6 niveles de Tipo y % de aditivo. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, enlistados aquí bajo la columna de Promedio.

Tabla ANOVA para Tiempo fraguado final por Tipo y % de aditivo

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 125167, | 5 | 25033,3 | 30,83 | 0,0003 |
| Intra grupos | 4872,0 | 6 | 812,0 | | |
| Total (Corr.) | 130039, | 11 | | | |

La razón-F, es igual a 30,8292. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Tiempo fraguado final entre un nivel de Tipo y % de aditivo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo fraguado final por Tipo y % de aditivo

Método: 95,0 porcentaje LSD

| Nivel | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|-----------------|-------|-------|-------------------|
| Patrón | 2 | 201,0 | X |
| MEF-32 3.5% | 2 | 260,0 | X |
| CBQ-VTC 5% | 2 | 402,5 | X |
| CBQ-VTC 2% | 2 | 427,5 | XX |
| CBQ-VTC 3.5% | 2 | 447,5 | XX |
| CBQ-VTC 1.5% | 2 | 477,5 | X |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|---------------------------|------|------------|-------------|
| CBQ-VTC 2% - CBQ-VTC 1.5% | | -50,0 | 69,7264 |
| CBQ-VTC 2% - CBQ-VTC 3.5% | | -20,0 | 69,7264 |
| CBQ-VTC 2% - CBQ-VTC | | 25,0 | 69,7264 |

| | | | |
|---------------------------------|---|-------|---------|
| 5% | | | |
| CBQ-VTC 2% - MEF-32 3.5% | * | 167,5 | 69,7264 |
| CBQ-VTC 2% - Patrón | * | 226,5 | 69,7264 |
| CBQ-VTC 1.5% - CBQ- VTC 3.5% | | 30,0 | 69,7264 |
| CBQ-VTC 1.5% - CBQ- VTC 5% | * | 75,0 | 69,7264 |
| CBQ-VTC 1.5% - MEF-32 3.5% | * | 217,5 | 69,7264 |
| CBQ-VTC 1.5% - Patrón | * | 276,5 | 69,7264 |
| CBQ-VTC 3.5% - CBQ- VTC 5% | | 45,0 | 69,7264 |
| CBQ-VTC 3.5% - MEF-32 3.5% | * | 187,5 | 69,7264 |
| CBQ-VTC 3.5% - Patrón | * | 246,5 | 69,7264 |
| CBQ-VTC 5% - MEF-32 3.5% | * | 142,5 | 69,7264 |
| CBQ-VTC 5% - Patrón | * | 201,5 | 69,7264 |
| MEF-32 3.5% - Patrón | | 59,0 | 69,7264 |

* indica una diferencia significativa.

No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's, mediante el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

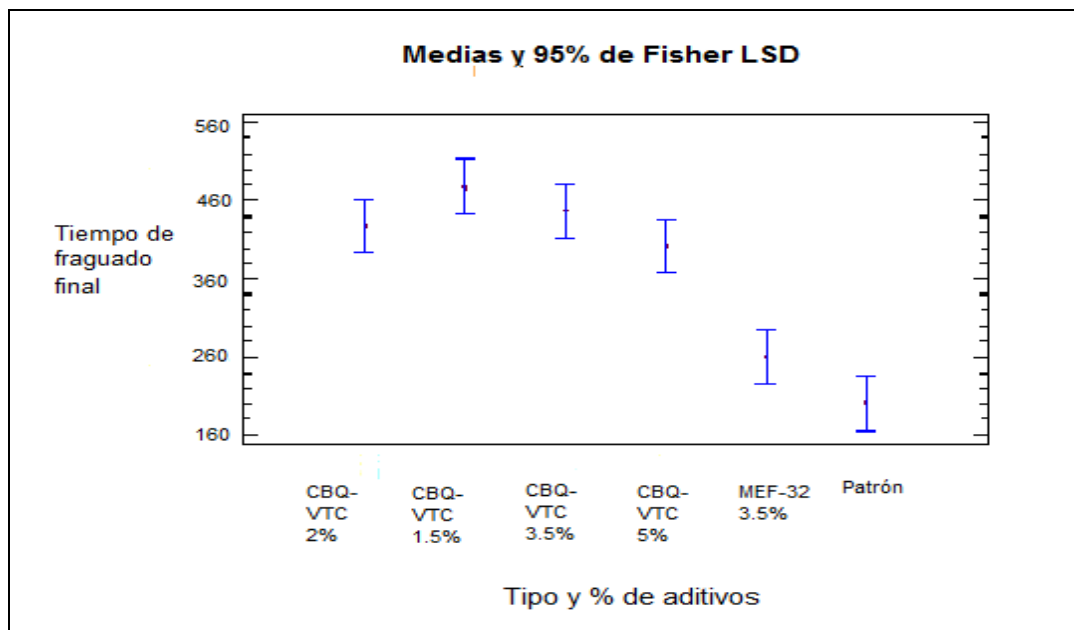


Gráfico 1: “Gráfico de las medias obtenido para tiempo de fraguado final”

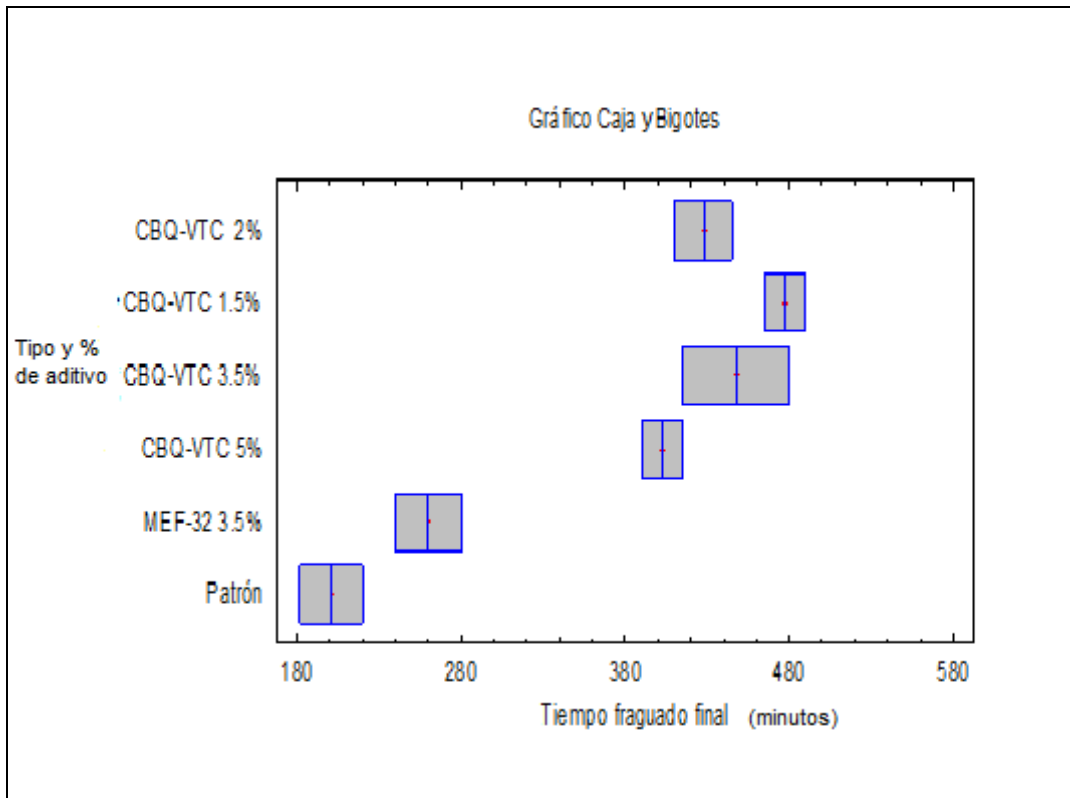


Gráfico 2: “Gráfico de bigotes obtenido para tiempo de fraguado final”

Anexo IV: "Resultados obtenidos en el ensayo Cono de Marsh"

Tabla 1: "Resultados de la fluidez obtenidos mediante Cono de Marsh"

| | Tiempo (s) | Tiempo promedio (s) |
|--------------------------------|------------|---------------------|
| Patrón | 27.20 | |
| | 28.00 | |
| Agua = 580 ml | 27.89 | 27.70 |
| CBQ-VTC 1.5%=21.75g | 18.35 | |
| | 17.67 | |
| Agua = 580 ml | 17.53 | 17.85 |
| CBQ-VTC 2%=29g | 19.41 | |
| | 17.10 | |
| Agua = 580 ml | 17.55 | 18.02 |
| CBQ-VTC 3.5%=50.75g | 18.49 | |
| | 22.41 | |
| Agua = 536ml | 22.37 | 21.09 |
| CBQ-VTC 5%=72.5g | 19.60 | |
| | 21.86 | |
| Agua = 517 ml | 21.76 | 21.07 |
| MEF-32 3.5%=50.75 | 41.25 | |
| | 41.39 | |
| Agua = 335 ml | 38.67 | 40.44 |

Anexo V: “Resultados obtenidos en el ensayo Aguja de Vicat”

Tabla 1: “Resultados del contenido de agua requerido para alcanzar la consistencia”

| Consistencia normal sin aditivos (Mezcla patrón) | | | | |
|---|-------------|----------|----------|---------------------------|
| Tanteo | Cemento (g) | Agua (g) | Agua (%) | Consistencia lograda (mm) |
| 1 | 650 | 165 | 25.38 | 9.00 |
| 2 | 650 | 165 | 25.38 | 9.00 |
| Consistencia normal con aditivo CBQ-VTC al 1.5% | | | | |
| Tanteo | Cemento (g) | Agua (g) | Agua (%) | Consistencia lograda (mm) |
| 1 | 650 | 155 | 23.85 | 11.00 |
| 2 | 650 | 155 | 23.85 | 10.00 |
| Consistencia normal con aditivo CBQ-VTC al 2% | | | | |
| Tanteo | Cemento (g) | Agua (g) | Agua (%) | Consistencia lograda (mm) |
| 1 | 650 | 145 | 22.31 | 11.00 |
| 2 | 650 | 145 | 22.31 | 9.00 |
| Consistencia normal con aditivo CBQ-VTC al 3.5% | | | | |
| Tanteo | Cemento (g) | Agua (g) | Agua (%) | Consistencia lograda (mm) |
| 1 | 650 | 130 | 20.00 | 9.00 |
| 2 | 650 | 130 | 20.00 | 9.00 |
| Consistencia normal con aditivo CBQ-VTC al 5% | | | | |
| Tanteo | Cemento (g) | Agua (g) | Agua (%) | Consistencia lograda (mm) |
| 1 | 650 | 120 | 18.46 | 10.00 |
| 2 | 650 | 120 | 18.46 | 11.00 |
| Consistencia normal con aditivo MEF-32 al 3.5% | | | | |
| Tanteo | Cemento (g) | Agua (g) | Agua (%) | Consistencia lograda (mm) |
| 1 | 650 | 155 | 23.85 | 10.00 |
| 2 | 650 | 155 | 23.85 | 11.00 |

Tabla 2: “Resultados del tiempo de fraguado inicial y final”

| | Tiempo fraguado inicial (min) | Tiempo fraguado final (h:min) | Tiempo fraguado final (min) |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Patrón | 145 | 3.02 | 182 |
| R | 145 | 3.40 | 220 |
| CBQ-VTC 1.5% | 295 | 8.10 | 490 |
| R1 | 265 | 7.45 | 465 |
| CBQ-VTC 2% | 245 | 6.50 | 410 |
| R2 | 205 | 7.25 | 445 |
| CBQ-VTC 3.5% | 130 | 6.55 | 415 |
| R3 | 130 | 8.00 | 480 |
| CBQ-VTC 5% | 130 | 6.30 | 390 |
| R4 | 135 | 6.55 | 415 |
| MEF-32 3.5% | 180 | 4.00 | 240 |
| R1 | 180 | 4.40 | 280 |

Anexo VI: “Resultados obtenidos en el ensayo del Minicono”**Tabla 1: “Resultados del área de esparcimiento y el índice de plasticidad”**

| Aditivo | Dosis (%) | Área (cm²) | IP (%) |
|----------------|------------------|------------------------------|---------------|
| Patrón MEF-32 | 0.0 | 31.22 | |
| MEF-32 | 2.0 | 31.50 | 0.91 |
| MEF-32 | 3.5 | 34.95 | 11.96 |
| MEF-32 | 5.0 | 33.01 | 5.75 |
| Patrón CBQ-VTC | 0.0 | 24.17 | |
| CBQ-VTC | 1.5 | 39.13 | 61.91 |
| CBQ-VTC | 2.0 | 54.47 | 125.37 |
| CBQ-VTC | 3.5 | 52.60 | 117.65 |
| CBQ-VTC | 5.0 | 46.63 | 92.93 |