

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS  
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**TRABAJO DE DIPLOMA**

---

**TÍTULO: “Evaluación de las propiedades reológicas del Bio-producto CBQ-VTC y en pastas de cemento P-35”.**

---

**Diplomante:** Claudia Varela González

**Tutor:** Ing. Robelio Ramos Méndez

**Consultante:** Dr.C. Yosvany Diaz Cárdenas

**Santa Clara**

**2016**

## EXERGO

*“Largo es el camino de la enseñanza por medio de teorías;  
breve y eficaz por medio de ejemplos”*

*Séneca*

## DEDICATORIA

*A mi padre:*

*Por haberme apoyado en todo momento, por saber guiar mis pasos hacia el conocimiento y sembrar en mí la vocación de servir y ser cada día mejor en todos los aspectos. Porque sin escatimar esfuerzo alguno, ha sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme. Para quien la ilusión de su vida ha sido verme convertida en una profesional y a quien nunca podré defraudar. Por esto y más... Gracias!!!*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi tutor Robelio, por su valiosa ayuda, preocupación y dedicación incondicional durante todo este tiempo.*

*A mis padres Beatriz y Jesús, por su amor y sustento cada día, por guiarme hasta lo que hoy soy, como profesional y como persona, por todos sus sacrificios y dedicación en cada etapa de mi vida.*

*A mi hermana Yamilis, por estar siempre a mi lado y regalarme tres sobrinitos hermosos que me alegran la vida.*

*A mi novio Ismael, por apoyarme en mis sueños y metas, por compartir su vida conmigo y por entregarme todo su amor.*

*A mis suegros Marilyn y David, por su apoyo y por estar siempre presentes cuando los he necesitado.*

*A Tania y Nelson, por convertirse en parte de mi familia y por su apoyo para la culminación de este largo camino.*

*A todos los profesores que contribuyeron a mi formación como profesional durante la carrera.*

*A todos los familiares y amigos que de una forma u otra se han preocupado por el desenvolvimiento de este trabajo.*

## RESUMEN

Actualmente en Cuba una de las alternativas que se están investigando para sustituir los aditivos comerciales extranjeros, 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 de cemento P-35, pero con un alto por ciento de utilización.

El siguiente trabajo centra su análisis en determinar el efecto de la adición del producto orgánico CBQ-VTC variando las dosis en valores que oscilan entre 1% y 5% en pastas de cemento Portland Ordinario (P-35). A través del ensayo del Minicono se seleccionó la dosis de mejor desempeño en cuanto a plasticidad. A la dosis de aditivo escogida se le determinaron: por ciento de reducción de agua y la pérdida de plasticidad en el tiempo por el método de ensayo del Minicono, el tiempo de fluidez por el embudo Marsh y la consistencia normal y tiempos de fraguado por la Aguja de Vicat. El análisis de los resultados se realizó mediante el software Statgraphics, lo que permitió el estudio del comportamiento del bio-producto CBQ-VTC en pastas según las especificaciones exigidas por las normativas cubanas vigentes.

**Palabras clave:** pastas, reología, plasticidad, fluidez, aditivo CBQ-VTC.

## **ABSTRACT**

Now a days, in Cuba, one of the alternatives being investigated to replace foreign commercial additives, is the use of a plasticizer additive of biological origin, known by its creators as CBQ-VTC (Viscous, Tense-active and Controller retraction) which is based on previous studies on a bio-product called MEF 32, reaching optimal values in terms of rheology cement pastes P-35, but with a high percentage of use.

The following work focuses its analysis in determining the effect of the addition of the organic product-VTC CBQ, varying the doses of the ranging values from 1% to 5% by ordinary Portland cement pastes (P-35). Through assay dose of mini cone, the best performance in terms of plasticity was selected. To additive dose chosen were determined: water reduction percent and plasticity loss in time by mini cone assay method, the flow time by Marsh funnel and normal consistency and setting times by Vicat needle. The results analysis were performed using the Statgraphics software, allowing the study of the bio-product CBQ-VTC behavior in pastes according to the specifications required by the Cuban regulations.

**Keywords:** paste, rheology, plasticity, fluidity, CBQ-VTC additive.

**ÍNDICE**

Exergo .....	I
Dedicatoria .....	II
Agradecimientos .....	III
Resumen .....	IV
Abstract .....	V
Introducción .....	1
Capítulo I. Revisión bibliográfica .....	5
1.1. Aditivos químicos para la industria de la construcción. Definición .....	5
1.1.1. Aditivos químicos. Clasificación .....	6
1.1.2. Aditivos químicos plastificantes. Composición y efecto .....	8
1.1.3. Aditivos biológicos para la industria de la construcción .....	11
1.2. Antecedentes de la tecnología EM en la elaboración de pastas, morteros y hormigones, producidos en Cuba .....	11
1.2.1. Proceso de obtención del CBQ-VTC .....	14
1.3. Cemento Portland. Composición química .....	16
1.1.1. Hidratación del cemento Portland, etapas de hidratación y cinética.....	17
1.1.2. Estudio de la reología de las pastas de cemento. Definición.....	20
1.1.3. Efecto de los plastificantes en la Reología en pastas de cemento .....	22
1.4. Conclusiones parciales del capítulo .....	23
Capítulo II: Materiales y métodos empleados para evaluar la influencia del bioproducto CBQ-VTC como aditivos plastificantes en pastas. ....	40
2.1. Materiales utilizados en la elaboración de las pastas de cemento Portland. Caracterización de los materiales utilizados en la investigación .....	40
2.1.1. Agua.....	40
2.1.2. Cemento.....	41
2.1.3. Aditivo bio-producto CBQ-VTC .....	42
2.2. Diseño de experimento .....	43
2.2.1. Procedimiento .....	44
2.3. Efecto del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento .....	45
2.3.1. Determinación del índice de plasticidad, % de reducción de agua y variación de plasticidad con el tiempo por el método del Minicono .....	45
2.3.2. Determinación del % de reducción de agua por el método del Minicono .....	50

2.3.3. Determinación de la variación de plasticidad con el tiempo por el método del Minicono .....	51
2.3.4. Determinación de la consistencia normal y tiempo de fraguado. Ensayo de la Aguja de Vicat .....	52
2.3.5. Determinación de la fluidez. Ensayo del Cono de Marsh .....	55
2.4. Conclusiones parciales del capítulo .....	57
CAPÍTULO III. Análisis del comportamiento del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento Portland Ordinario.....	58
3.1. Análisis del índice de plasticidad de las pastas de cemento con diferentes dosis, ensayo del Minicono .....	58
3.2. Determinación del porcentaje de reducción de agua. Ensayo Minicono.....	60
3.3. Determinación de la pérdida de plasticidad en el tiempo. Ensayo Minicono .....	61
3.4. Análisis de la fluidez. Ensayo del Cono de Marsh .....	62
3.5. Análisis de la consistencia normal en pastas de cemento con diferentes dosis. Ensayo aguja de Vicat .....	63
3.6. Análisis de los tiempos de fraguados inicial y final en pastas de cemento con diferentes dosis. Ensayo Aguja de Vicat.....	64
3.7. Conclusiones parciales del capítulo .....	65
Conclusiones generales .....	66
Recomendaciones.....	67
Referencias bibliográficas .....	68
Anexos.....	72
Anexo I. Resultados del análisis estadístico del índice de plasticidad mediante el Statgraphics .....	72
Anexo II: Resultados obtenidos en el ensayo Aguja de Vicat.....	76
Anexo III: Resultados obtenidos en el ensayo Cono de Marsh .....	78

### **INTRODUCCIÓN**

El hormigón es el material más usado por el hombre en la industria de la construcción y es irremplazable en múltiples progresos de la infraestructura (Constantino, 2010). Hace casi dos siglos, se ha convertido en el material de construcción más utilizado en todo el mundo (Jonkers, 2007).

Tradicionalmente se definió al concreto como una mezcla homogénea de tres componentes fundamentales: un ligante o aglutinante, en este caso el cemento, el agente activante de este; el agua, y un conjunto de partículas minerales de diferentes tamaños ligadas por la pasta cementante, que son los agregados. En la actualidad, los avances en la tecnología del concreto han hecho necesario su perfeccionamiento y a medida que su uso se ha ido generalizando, se han demandado de este material otras prestaciones necesarias de atender; lo que como es lógico, ha resultado en el surgimiento de un nuevo componente: los aditivos químicos (Quintana, 2014).

La industria química no ha cesado en la investigación desde la pasada centuria, en el desarrollo de aditivos químicos para obtener hormigones más eficientes, de mayor desempeño y más sostenibles (Rodríguez León, 2014).

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 (NC228-1, 2005). Son incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) (Espinosa López, 2015) 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 concretos 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). Es de señalar que el mercado de estos productos está liderado por grandes empresas como: la BASF (Alemania), SIKA (Suiza), CHRYSO (Francia) y MAPEI (Italia) y el costo de estos aditivos en el mercado internacional y la exigencia que existe sobre estos hoy en día, los hacen inasequibles para muchos países en vías de desarrollo o encarecen considerablemente los costos de producción. De ahí, la necesidad de buscar nuevas alternativas más económicas y eficientes para el desarrollo de nuevos productos (Rodríguez León, 2014).

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), (Mora López, 2012). Sin embargo, estos presentan propiedades moderadas como plastificantes en pastas, morteros y hormigones con cemento P-35 y se requiere de altas dosificaciones (Venkovic et al., 2013).

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 dicha característica.

Es de señalar que en la actualidad se desconoce el comportamiento de las propiedades reológicas en pastas de cemento P-35, al emplear el Bio-producto CBQ-VTC, de ahí que esta **situación problemática** constituye el fin del presente trabajo de diploma.

En la presente investigación, se asume la siguiente interrogante como **problema científico**:

¿En qué medida la aplicación de hasta un máximo del 5% del bio-producto CBQ-VTC obtenido en el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ), influye en las propiedades reológicas en pastas elaboradas con cemento Portland en Villa Clara?

### **Hipótesis:**

De emplearse la combinación del bio-producto CBQ-VTC obtenido en el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ), se podría mejorar las propiedades reológicas de las pastas elaboradas a partir del cemento Portland Ordinario.

El **objetivo general** de este trabajo de diploma será: Evaluar el comportamiento en las propiedades reológicas, del bio-producto CBQ-VTC en pastas elaboradas a partir del cemento Portland Ordinario.

Como **objetivos específicos** se plantea:

1. Evaluar el estado del arte en el empleo de aditivos orgánicos e inorgánicos en pastas de cemento.
2. Evaluar las propiedades reológicas en pastas de cemento, del bio-producto CBQ-VTC.
3. Seleccionar el mejor por ciento de aplicación del aditivo objeto de estudio, que exhibe mejores resultados en cuanto a plasticidad.

Para dar cumplimiento a los objetivos anteriormente mencionados se trazan las siguientes **tareas científicas**:

1. Revisión y Análisis crítico de tesis, publicaciones, artículos, revistas, libros.
2. Determinación de las propiedades reológicas de los aditivos objeto de estudio, a través del ensayo del minicono en pastas de cemento.
3. Selección de la mezcla con mejor índice de plasticidad (I.P) a través del ensayo del minicono para la evaluación del comportamiento reológico.
4. Realización de los ensayos de consistencia normal, tiempo de fraguado, Aguja de Vicat, Fluidez con el cono de Marsh y la variación de encogimiento por secado en pastas.
5. Comparación de los resultados obtenidos en los ensayos realizados con resultados obtenidos en tesis anteriores.
6. Escritura y entrega de la tesis
7. Discusión de la tesis

La **novedad científica** de este trabajo radica en demostrar en qué medida podría mejorar las propiedades reológicas y físicas de las pastas de cemento, la utilización de hasta un 5% del bio-producto CBQ-VTC.

La **actualidad** de la investigación está dada, por la necesidad de disminuir las importaciones de productos químicos de alto costo utilizados en la industria de los materiales de la construcción cuya demanda ha aumentado en el territorio nacional en los últimos años, por bio-productos de bajos costos y de producción nacional.

Los siguientes **aportes del trabajo** son descritos a continuación:

**En el orden práctico:** Potenciar la disminución de los altos costos de hormigones con aditivos comerciales, al proponer la utilización de un aditivo orgánico de producción nacional.

**En el orden Económico:** Su empleo en la industria de la construcción podría contribuir al ahorro de divisas convertibles al disminuir la importación de aditivos químicos para la construcción.

**Medio ambiental:** Se contribuye a la reutilización de subproductos orgánicos de la industria azucarera y la láctea, en la elaboración de un bio-producto para ser empleado en la construcción, capaz de disminuir los aditivos químicos y por ende disminuir la contaminación ambiental en nuestras obras.

El trabajo está estructurado en un único texto, que consta con todos los elementos estipulados:

### **Introducción general**

#### **Capítulo 1: “Revisión bibliográfica”**

#### **Capítulo 2: “Materiales y métodos”**

#### **Capítulo 3: “Análisis y discusión de los resultados”**

#### **Conclusiones**

#### **Recomendaciones**

#### **Referencias bibliográficas**

#### **Anexos**

El cuerpo principal cuenta con tres capítulos.

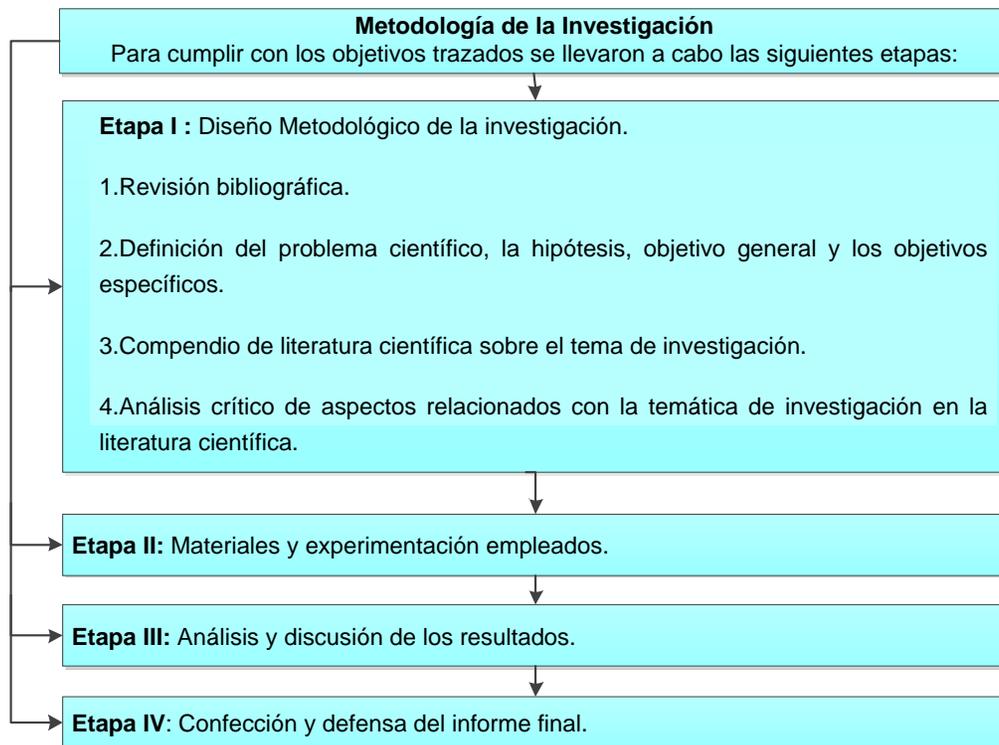
Capítulo I: **Revisión bibliográfica:** se realiza un estudio teórico acerca de los componentes de las pastas de cemento. Se establecen algunas consideraciones sobre el contexto actual en el empleo de los aditivos químicos y orgánicos, así como el desarrollo de nuevas fuentes de estos productos. Se reconocen los modelos, ensayos y los equipos utilizados para el estudio de las propiedades reológicas en el cemento Portland.

Capítulo II. **Materiales y métodos:** se realiza una descripción de los materiales a utilizar y se exponen los métodos y procedimientos experimentales, utilizados para determinar la influencia del bio-producto CBQ-VTC elaborado en el Centro de Bioactivos Químico (CBQ), en la fabricación de pastas de cemento Portland a escala de laboratorio.

Capítulo III. **Análisis y resultados de los ensayos realizados a pastas de cemento:** se presentan los resultados de laboratorio realizándose el análisis de los mismos y su interpretación.

Además incluye Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía y Anexos.

## Esquema metodológico de la investigación:



## CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Aditivos químicos para la industria de la construcción. Definición

Definición:

Los aditivos son productos que se adicionan en pequeña proporción al concreto 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. Esta definición excluye, por ejemplo, a las fibras metálicas, las puzolanas y otros.

En la actualidad los aditivos permiten la producción de concretos 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. Tanto por el Comité 116R del ACI como por la Norma ASTM C 125 definen al aditivo como: “Un material distinto del agua, de los agregados y cemento hidráulico que se usa como componente del concreto 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” (Capítulo de Ingenieros Civiles, 2013).

El uso de aditivos está condicionado por:

- a) Que se obtenga el resultado deseado sin tener que variar sustancialmente la dosificación básica.
- b) Que el producto no tenga efectos negativos en otras propiedades del concreto.
- c) Que un análisis de costo justifique su empleo.

### **1.1.1. Aditivos químicos. Clasificación**

Existen numerosas clasificaciones de aditivos, sin embargo una de las más usadas corresponde a la norma (ASTM-C-494, 1992b). 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.

Según la norma cubana (NC228-1, 2005). Aditivos para hormigones, morteros y pastas, Parte 1: Aditivos para hormigón-Requisitos, clasifica los aditivos en los términos siguientes:

1) Aditivo plastificantes/reductor de agua

Aditivo que por acciones internas permiten sin modificar la consistencia, reducir el contenido de agua de un determinado hormigón, o sin modificar el contenido de agua e incrementan el asentamiento, o que producen ambos efectos simultáneamente.

2) Aditivo superplastificantes/reductores de agua de alto rango

Aditivo que, sin modificar la consistencia permiten altas reducciones de agua de un determinado hormigón, o que, sin modificar el contenido de agua, aumentan considerablemente el asentamiento, o que producen ambos efectos simultáneamente.

3) Aditivo acelerador del fraguado

Aditivo que incrementa la velocidad inicial de reacción entre el agua y el cemento, disminuyendo el tiempo del principio de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estado rígido.

4) Aditivo acelerador del endurecimiento

Aditivo que aumenta la velocidad del desarrollo de las resistencias iniciales del hormigón, sin o con modificaciones en el tiempo de fraguado.

5) Aditivo retardador del fraguado

Aditivo 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.

6) Aditivo introductor de aire

Aditivo que provocan la formación controlada de pequeñas burbujas de aire durante el amasado, uniformemente repartidas, que permanecen después del endurecimiento.

7) Aditivo retenedor de agua

Aditivo que reduce la pérdida de agua, disminuyendo la exudación.

8) Aditivo hidrófugo de masa

Aditivo que reduce la absorción capilar del hormigón endurecido.

9) Aditivo anticorrosivo

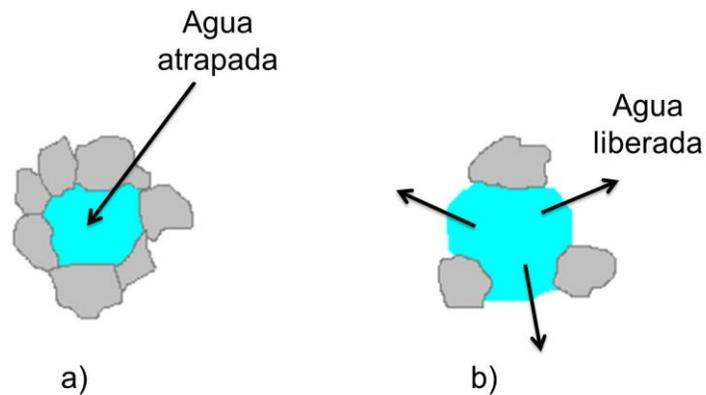
Aditivo que actúa formando en la superficie del metal una película protectora muy insoluble, para la protección del acero de refuerzo.

10) Aditivo multifuncional

Aditivo que afecta a diversas propiedades de un hormigón fresco y/o endurecido actuando sobre más de una de las funciones principales definidas en 1) – 9).

### **1.1.2. Aditivos químicos plastificantes. Composición y efecto**

Los aditivos químicos plastificantes han sido subestimados con frecuencia pero son en realidad sustancias cuya altísima eficiencia, les permite permanecer en la producción actual de hormigón ya que se basan en compuestos orgánicos que logran optimizar los diseños de hormigón, al disminuir las cantidades de agua y cemento para alcanzar las propiedades requeridas por la construcción. Ver figura 1. Con ellos se logra disminuir las necesidades de agua en un rango de (5-12) % (E-701, 2013).



**Figura 1.1** “Efecto de la defloculación en la matriz del cemento. a) Partícula de cemento floclada, b) partícula de cemento defloculada”.

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

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, 1992a, EN, 2008).

El efecto directo de un plastificante sobre la pasta de cemento es disminuir la viscosidad de la misma (se vuelva más líquida) y fluye 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 (ver figura 1) (Collepari, 2005).

Al ser la pasta más fluida por ende el hormigón también lo será, y esto permite disminuir la cantidad de agua del mismo, modificando por lo tanto las propiedades de la pasta, que con menos agua aumentará su resistencia en estado endurecido. Estos aditivos permiten, para una misma docilidad, una reducción de la cantidad de agua, o para una misma cantidad de agua aumentar de forma considerable la docilidad, o incluso permiten obtener estos dos efectos a la par. Este aumento de docilidad permite la colocación del hormigón en

estructuras complicadas, con gran cantidad de aceros sin necesidad de aumentar la cantidad de agua de amasado, y por consiguiente la dosis de cemento para obtener las resistencias deseadas (Minettis, 2008).

### 1.1.2.1. Aditivos químicos plastificantes. Mecanismos

A continuación se describen mecanismos de acción de los plastificantes:

- Defloculación

La ionización de los filamentos del aditivo produce la separación de los granos de cemento entre sí, conduciendo a una efectiva defloculación. Esta desintegración en partículas primarias, permite que el agua atrapada quede en libertad. De esta manera los granos de cemento quedan individualizados y defloculados, facilitándose aún más el mojado (Figura 1), lo que produce una hidratación y reducción del esfuerzo de cizalle, necesario para poner en movimiento el hormigón fresco, lo que explica su efecto como plastificante (Straße, 2008, Dransfield, 2013).

- Lubricación

Las moléculas del aditivo son absorbidas y se orientan en la superficie de los granos de cemento en un espesor de varias moléculas creándose una capa de moléculas sobre las partículas, resultando una mayor lubricación (Straße, 2008, Dransfield, 2013).

Este mecanismo puede producir incorporación de aire en forma de microburbujas esféricas, al evitar que el aire atrapado se disuelva o salga a la superficie. Este efecto incorpora aire, pero no siempre se ve expresado en un mayor volumen de aire, pues se supone que el aditivo convierte el aire atrapado en microburbujas que quedan retenidas en su masa. Actuando como rodamiento entre las partículas sólidas, contribuyendo al aumento de la docilidad del hormigón (Straße, 2008).

- Disolución

La disolución es la interacción de partículas esféricas de cemento con el agua (Straße, 2008).

- Efecto electrostático

Los granos de cemento absorben los aditivos plastificantes y superplastificantes, neutralizando la carga eléctrica molecular. Provocando la dispersión de las partículas y logrando que se hidraten mejor, lo que mejora la laborabilidad de la mezcla y además se incrementan las resistencias mecánicas (Straße, 2008, Hermida, 2012).

### **1.1.3. Aditivos biológicos para la industria de la construcción**

El desarrollo biotecnológico en la industria de la construcción es muy nuevo y sólo existen unos pocos antecedentes en esta rama.

### **1.2. 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 ME, especialmente en aditivos bio-productos para poner a disposición del MICONS con el propósito de ayudar económicamente al país.

Se han realizado estudios para la aplicación del ME, 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-producto Microben o Bioben, procedente de la estación experimental Indio Hatuey. Donde se diseñaron mezclas de prueba 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, 1992b). 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, cumplen con todos de los parámetros considerados para un hormigón autocompactable según lo establecido en la literatura para la utilización del HAC. La similitud de los hormigones obtenidos evidencia el carácter plastificante del Micro-ben.

En el 2012 Adel Enrique Mora López (Mora López, 2012) comparó IH-plus con Mapefluid 200 y el bio-producto de Japón, en su tesis de grado “Evaluación del “IHplus” como bio-producto 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 IH-plus evaluado se comportó como un plastificante de moderada actividad en morteros. Teniendo en cuenta el efecto de la adición del aditivo bio-producto MEF 19 se confirma el comportamiento de moderada actividad, no obstante atendiendo a su costo y disponibilidad a escala nacional podría la construcción utilizarlo de forma moderada como un aditivo a escala nacional.

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 por cientos de adiciones, con el objetivo de determinar el producto de mejores resultados. Los resultados revelan que el bio-producto que mantiene resultados superiores en cuanto al índice de plasticidad es 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 evidencia de esta manera que el bio-producto MEF tiene diferencias marcadas con los aditivos comerciales en base a parámetros como el por ciento de sólidos totales y la acidez. Mientras que en su tesis de grado (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 comporta 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-producto de producción nacional capaz de disminuir los costos en la construcción.

En el año 2014 (Rodríguez León, 2014), hace un 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.

En el 2014, el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ), muestran interés en el desarrollo y fabricación de productos basados en la tecnología ME, especialmente en aditivos bio-productos para poner a disposición del MICONS con el propósito de ayudar económicamente al país.

### **1.2.1. Proceso de obtención del 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 modificación de la tecnología de microorganismos eficientes. Es un líquido de color pardo con olor agridulce, donde predominan bacterias y levaduras. Para su elaboración se emplea reactores de fermentación anaeróbica y como materia prima se utiliza la mezcla de melaza, suero y agua.

**Tabla 1.1** “Valores de la propiedades del CBQ-VTC”

<b>Propiedades</b>	<b>Método de ensayo</b>	<b>Resultados</b>
<b>Homogeneidad</b>	Examen visual	Homogéneo
<b>Color</b>	Examen visual	carmelita
<b>Densidad relativa</b>	NC 271-2	1,02
<b>Contenido de ST (%)</b>	NC 271-1	3,60
<b>Contenido de SS (%)</b>	Refractómetro	12.6
<b>Valor de pH</b>	NC 271-4	3,78

**Tabla 1.2** “Composición elemental del CBQ-VTC”

<b>Elementos (mg/L)</b>	<b>CBQ-VTC</b>	<b>Elementos (mg/L)</b>	<b>CBQ-VTC</b>
Na <sup>+</sup>	56,40	Ni <sup>2+</sup>	0.79
K <sup>+</sup>	2890,13	Co <sup>2+</sup>	0.54
Fe <sub>total</sub>	45,44	Zn <sup>2+</sup>	1.80
Mn <sup>2+</sup>	6.97	Ca <sup>2+</sup>	45.12
Mg <sup>2+</sup>	107.11	N <sub>total</sub>	57.40
Cu <sup>2+</sup>	1.13	P <sub>total</sub>	6.09

El bio-producto CBQ-VTC obtenido en el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ), se caracteriza como si fuera un plastificante químico, teniendo en cuenta los requisitos de la norma (NC228-1, 2005) y un estudio de la composición química elemental por Espectrofotometría de Absorción Atómica, (Rodríguez León, 2014).

### 1.3. Cemento Portland. Composición química

El clínquer de cemento Portland contiene cuatro compuestos químicos mayoritarios: silicato tricálcico ( $C_3S$ ), silicato dicálcico ( $C_2S$ ), aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) y ferrita aluminato tetracálcico ( $C_4AF$ ), 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, 2009a, Francisco, 2013).

Compuestos principales del cemento:

a) Silicato tricálcico ( $C_3S$ ):

- Fase denominada “alita”.
- Constituye del 50% al 70% del clínquer.
- 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 clínquer.
- 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 clínquer.
- 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 clínquer.
- Se hidrata con rapidez pero contribuye muy poco a la resistencia.
- Su formación reduce la temperatura (T) de clinquerización.

e) Sulfato de calcio:

- Yeso:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Anhidrita:  $\text{CaSO}_4$
- Se adiciona al cemento (aproximadamente 5%), durante su molienda, para controlar el fraguado.

**Tabla 1.3** “Influencia de los compuestos en las propiedades del cemento”, según ([Vásquez A. 2012](#))

Fase	Velocidad de hidratación	Calor de hidratación	Desarrollo de resistencia
<b>C3S</b>	Rápida	Alto (120 cal/g)	Rápido y prolongado
<b>C2S</b>	Lenta	Bajo (62 cal/g)	Lento y muy prolongado
<b>C3A</b>	Muy rápida	Muy alto (207 cal/g)	Muy rápido y de corta duración
<b>C4AF</b>	Rápida	Moderado (100 cal/g)	Lento y poco significativo.

- Controla la hidratación del  $\text{C}_3\text{A}$ .
- Ayuda a controlar la contracción por secado y puede influenciar la resistencia.

### 1.1.1. Hidratación del cemento Portland, etapas de hidratación y cinética

#### Etapas de hidratación

La hidratación del cemento Portland es una secuencia de reacciones químicas entre los componentes minerales del clínquer, 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 clínquer (principalmente  $\text{C}_3\text{S}$  y  $\text{C}_3\text{A}$ ), 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  $\text{AlO}_{4-5}$ ,  $\text{SiO}_{4-4}$  y  $(\text{Ca})^{2+}$  y los iones  $(\text{SO}_4)^{2-}$  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, 2009b, Rodríguez León, 2014).

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



(alita) (agua) (tobermorita) (portlandita)



(belita) (agua) (tobermorita) (portlandita)

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, 2009b, Grupocmateriales, 2015).

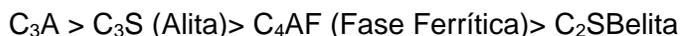
### Cinética de la hidratación

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  $\text{C}_3\text{S}$ .
- 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.

Atmósfera de horno que debe ser ligeramente oxidante para evitar la formación de compuestos reducidos e inestables (Moragues Terrades, 2013).

### 1.1.2. Estudio de la reología de las pastas de cemento. Definición

Es de gran interés el estudio del comportamiento de las pastas de cemento y el hormigón en estado fresco dado que este último es procesado y emplazado en su estado fluido, de ahí que la medición y control de los parámetros reológicos son muy importantes en la industria de la construcción para la producción de un hormigón con calidad.

La reología es un área de estudio bien establecida para una gran variedad de materiales. Se define como el estudio del comportamiento del flujo. Es de forma normal aplicada a materiales fluidos (o materiales que exhiben una respuesta dependiente del tiempo a la tensión). El flujo se mide de forma típica usando parámetros de corte y la tensión ( $t$ ) y la velocidad de deformación ( $\dot{\gamma}$ ) y se calculan a partir de las mediciones del torque y de la velocidad de flujo.

La Viscosidad ( $\eta$ ) se define como  $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$  (1.1), esta es conocida como viscosidad aparente.

Existen otras formas de definir la viscosidad (por ejemplo, la viscosidad plástica, la pendiente de tensión frente a la velocidad de deformación para un material plástico, como se discute a continuación, y la viscosidad diferencial, la pendiente de la curva que relaciona la tensión y la velocidad de deformación) por lo que es importante identificar el tipo específico de viscosidad cuando se informe de los resultados.

- **Suspensiones reológicas. Pastas de cemento**

Los morteros y hormigones son materiales compuestos por un líquido viscoso con partículas sólidas en suspensión, que en escala macroscópica puede fluir como un líquido. Por esta razón son considerados como una suspensión reológica según varios autores (Fuentes Aguilar, 2008).

#### 1.1.2.1. Modelos más utilizados para describir el comportamiento reológico de pastas, morteros y hormigones

Los modelos más utilizados que describen el comportamiento reológico de los fluidos son: el Pseudonewtoniano, el de Bingham: plástico ideal, el de Ostwald y de Waele: Pseudoplástico o dilatante (Blaß, 1972), el de Herschel y Bulkley: pseudoplástico o dilatante con tensión de fluencia (Coussot, 1994), y el de Casson: pseudoplástico con tensión de fluencia (Kruyt, 1992). El más utilizado para describir el comportamiento reológico de pastas, morteros y hormigones, es el modelo de Bingham.

Las sustancias conocidas como “fluidos no-Newtonianos” (pastas, morteros y hormigones) pueden ser modeladas utilizando la ecuación de Bingham (modelo plástico ideal), cuya ecuación es:

$$\tau = \tau_0 + \mu\gamma \quad (1.3)$$

Donde:  $\tau_0$  es el Límite de fluencia que se debe sobrepasar para que el fluido se ponga en movimiento,  $\mu$  es la viscosidad plástica,  $\gamma$  es la velocidad de deformación transversal y  $\tau$  es la tensión del flujo (Roussel, 2006).

### 1.1.2.2. Ensayos reológicos en pastas

- **Ensayo del Minicono**

El método del Minicono conocido como: mini-slump test (en idioma inglés), ha sido desarrollado por la Portland Cement Association publicado como en 1979 por la American Society for Testing Materials (ASTM) como método no normalizado para ensayos reológicos de pastas cemento. Este 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 la norma cubana (NC-235, 2012). Se utiliza para determinar la plasticidad, 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. En la actualidad este método se correlaciona con otros métodos y se ha utilizado en varias investigaciones en el campo de los materiales (Roussel et al., 2005).

- **Ensayo aguja de Vicat**

Los tiempos de fraguados son variables importantes, ya que a través del conocimiento de estos, se puede conocer el tiempo disponible para el transporte, colocación en obra y compactación correcta de los morteros y hormigones. De ahí la importancia de conocer el tiempo del fraguado inicial de los cementos, característica especificada en las distintas normas internacionales ((ASTM), 2001, COGUANOR, 2013). La Norma cubana (NC524, 2007) “Cemento hidráulico—método de ensayo—determinación de la consistencia normal y

tiempos de fraguado por Aguja Vicat” especifica un método de ensayo para la determinación de la consistencia normal y los tiempos de fraguado inicial y final del cemento hidráulico.

- **Ensayo de la determinación del tiempo de flujo**

El ensayo del Cono de Marsh, es un ensayo utilizado para determinar la fluidez de las pastas de cemento (Mebrouki, 2010). Se ha empleado para evaluar la relación plastificante/cemento, con una relación a/c constante. Este ensayo permite además evaluar la pérdida de fluidez con el tiempo e influencia de la temperatura entre otros. Si se dosifica por encima del punto de saturación pueden ocasionarse problemas como retraso de fraguado, segregación o aumento de la viscosidad de la mezcla, sin modificar significativamente la fluidez y con el consecuente aumento del costo.

- **Ensayo de la determinación de la viscosidad (reómetro)**

La viscosidad es la propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza. Algunos autores señalan que la viscosidad se puede definir como una medida de la resistencia de un fluido a la deformación.

La viscosidad de un fluido está directamente relacionada con la interacción entre las moléculas que la conforman. Un sólido es incapaz de fluir, ya que la interacción entre las moléculas que lo componen es muy fuerte; por el contrario un gas, fluye rápida y fácilmente, en el espacio donde se encuentre almacenado, debido a que la interacción entre las moléculas que lo conforman es prácticamente inexistente o despreciable. Los líquidos, comparativamente hablando, se ubican en una situación intermedia. Adicionalmente a las interacciones existentes entre las partículas y el medio de dispersión, el comportamiento reológico de un sistema disperso, va a depender de la viscosidad, propiamente dicha, del medio de dispersión, la concentración de la fase dispersa, y la forma y el tamaño de las partículas. El estudio de la reología de un sistema disperso proporciona información sobre su estructura interna. Es por ello que al modificar su estructura, se puede esperar cambios en las propiedades de flujo y de esta manera satisfacer los requisitos de calidad de una determinada formulación (Espinosa López, 2015).

### **1.1.3. Efecto de los plastificantes en la Reología 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, morteros y hormigones. 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 (Vikan, 2007).

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. Conclusiones parciales del capítulo**

1. El empleo de aditivos químicos es necesario para alcanzar hormigones competitivos en el mercado actual, debido a su impacto negativo económico y ambiental se propone la utilización de aditivos de origen biológico que ofrecen ventajas sobre los aditivos comerciales al ser más fáciles de producir y menos agresivos para el medio ambiente.
2. La producción de aditivos biológicos en Cuba se presentan como una alternativa necesaria para disminuir los costos asociados a la producción de hormigón, por lo que conocer el comportamiento reológico en pastas es una tarea necesaria para la industria de la construcción cubana.
3. Al emplear aditivos biológicos en la industria de la construcción cubana resulta importante conocer los modelos, ensayos y equipos utilizados, en la evaluación del comportamiento de las propiedades reológicas en el cemento Portland Ordinario P-35.

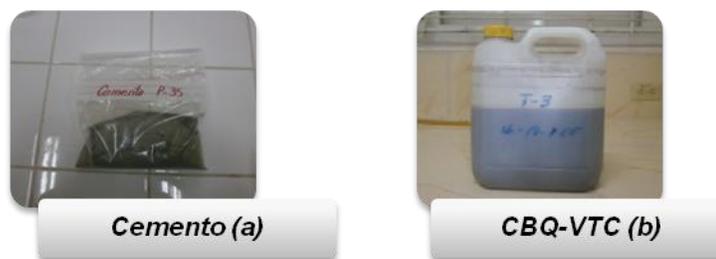
## **CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS PARA EVALUAR LA INFLUENCIA DEL BIOPRODUCTO CBQ-VTC COMO ADITIVOS PLASTIFICANTES EN PASTAS.**

La investigación se realizó en las siguientes entidades: Centro de Bioactivos Químicos (CBQ) y Facultad de Construcciones, ambas pertenecientes a la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

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

1. Agua normalizada de la pila.
2. Cemento Portland P-35, de la fábrica Karl Marx ubicada en la provincia de Cienfuegos. (Figura 2.1 a)
3. Bio-producto CBQ-VTC producido en el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ). (Figura 2.1 b)

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



**Figura 2.1** “Materias primas empleadas (a, b)”

#### **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. Este material se clasifica como un cemento Portland P-35.

**Tabla 2.1** “Propiedades del Cemento P-35 (Cienfuegos)”

Ensayo	Resultado	Especificación	Incertidumbre
Finura de Molido (%)	7,5*	<10	-
Peso Unitario Suelto (kg/m3)	-	-	-
Peso Específico Real del cemento (g/cm3)	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-35”

Óxido	CaO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Na2O	K2O	MgO
%	62,64	21,20	5,79	2,70	0,00	0,61	1,22

**Tabla 2.3:** “Principales fases del cemento P-35”

<b>Fases</b>	<b>C3S</b>	<b>C2S</b>	<b>C3A</b>	<b>C4FA</b>	<b>CaOlib</b>
<b>%</b>	41,52	29,46	10,78	8,22	1,50

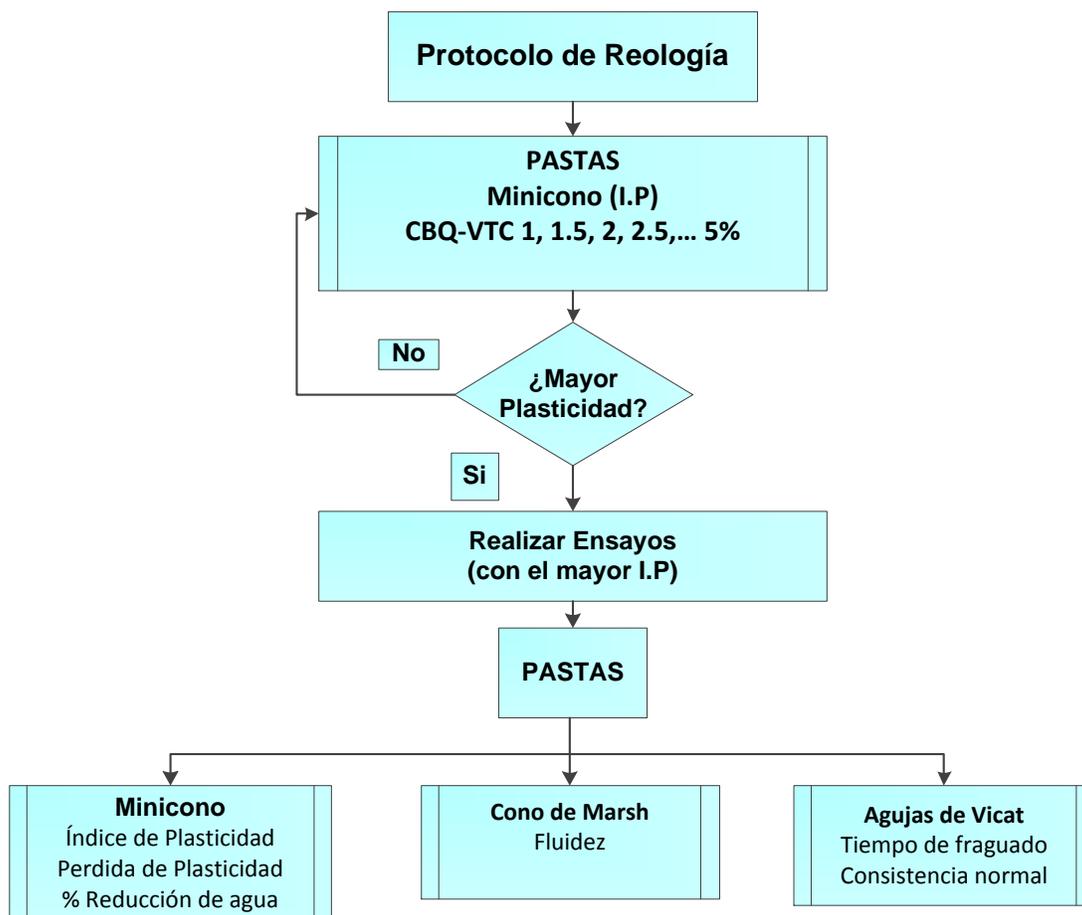
### 2.1.3. Aditivo bio-producto CBQ-VTC

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 modificación de la tecnología de microorganismos eficientes. Es un líquido de color pardo con olor agridulce, donde predominan bacterias y levaduras. Para su elaboración se emplea reactores de fermentación anaeróbica y como materia prima se utiliza la mezcla de melaza, suero y agua.

**Tabla 2.4** “Valores técnicos característicos del aditivo CBQ-VTC”

<b>Propiedades</b>	<b>Método de ensayo</b>	<b>Resultados</b>
<b>Homogeneidad</b>	Examen visual	Homogéneo
<b>Color</b>	Examen visual	carmelita
<b>Densidad relativa</b>	NC 271-2	1,02
<b>Contenido de ST (%)</b>	NC 271-1	3,60
<b>Contenido de SS (%)</b>	Refractómetro	12.6
<b>Valor de pH</b>	NC 271-4	3,78

**2.2. Diseño de experimento**



**Figura 2.2 “Diseño experimental”**

Para el desarrollo de este trabajo se realizó el siguiente diseño de experimento (Figura 2.1). Primeramente, se ensayaron las dosis según protocolo de reología y se seleccionaron los de mayor índice de plasticidad.

**Declaración de las variables independientes**

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

% de Aditivos: Bio-producto CBQ-VTC, al 1, 1.5, 2,... 5%.

**Declaración de las variables dependientes**

- Índice de plasticidad
- Reducción de agua
- Pérdida de 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 a través del ensayo del “Minicono”, en los diferentes puntos: (0, 1, 1.5, 2,... 5) % con respecto al peso del cemento. Para ello se considera en cada caso una relación agua/cemento igual a 0.40, se realizan tres replicas por cada punto 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 con el bio-producto CBQ-VTC, se procede a la realización de los demás ensayos en pastas de cemento Portland: % de reducción de agua y variación de la plasticidad en el tiempo “Minicono”, consistencia normal y tiempo de fraguado por “Agujas de Vicat” y fluidez por el “Cono de Marsh”, se evaluó el punto en el que se obtuvo mejores resultados en cuanto a índice de plasticidad en la etapa anterior y tomando seis muestras para este.

#### **Tercera etapa**

En esta etapa de la investigación se realiza un resumen de todos los resultados obtenidos para procesarlos de forma estadística mediante el Statgraphs, 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, % de reducción de agua y variación de plasticidad con el tiempo por el método del Minicono

Los ensayos de Minicono se realizaron según la NC-235: 2012 (NC-235, 2012), en el laboratorio de la Planta de Producción del Centro de Bioactivos Químicos (CBQ).

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), 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 significativamente considerable.

La velocidad de agitación se fijó en 250 rpm, la cual es igual al requisito de la norma NC 235: 2012 (NC-235, 2012), 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.



**Figura 2.3** “Equipos v utensilios del método de ensavo del Minicono”

#### 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 (Figura 2.3 c)
2. Agitador de laboratorio tipo Heidolph RZR 50, con varilla agitadora de hélice (impelente) (Figura 2.3 b)
3. Plancha de acrílico para colocar las pastas
4. Espátula
5. Recipiente plástico de 250 ml de capacidad con tapa ranurada
6. Recipiente plástico de 500 ml de capacidad con tapa ranurada
7. Bureta de 50 ml
8. Paños de secado (Santiago and Vidal)
9. Cronómetro
10. Balanza analítica JY5002 (e=10d, d=0.01g, Max: 500g)
11. Pie de rey (0,1 mm de precisión)
12. Refractómetro de mano (PCE 0~32) (Figura 2.3 d)
13. Varilla de vidrio de 5 mm de diámetro

**Tabla 2.5** “Dosificación de materiales para ensayo Minicono”

<b>Mezcla</b>	<b>% Aditivo</b>	<b>Cantidad Aditivo (g)</b>	<b>Cemento (g)</b>	<b>Agua (g)</b>	<b>Cantidad minicono</b>
<b>Patrón</b>	Sin aditivo	0	100	40	9
<b>Mezcla 1</b>	CBQ-VTC (1%)	1	100	39.126	9
<b>Mezcla 2</b>	CBQ-VTC (1.5%)	1.5	100	38.689	9
<b>Mezcla 3</b>	CBQ-VTC (2%)	2	100	38.252	9
<b>Mezcla 4</b>	CBQ-VTC (2.5%)	2.5	100	37.815	9
<b>Mezcla 5</b>	CBQ-VTC (3%)	3	100	37.378	9
<b>Mezcla 6</b>	CBQ-VTC (3.5%)	3.5	100	36.941	9
<b>Mezcla 7</b>	CBQ-VTC (4%)	4	100	36.504	9

Mezcla	% Aditivo	Cantidad Aditivo (g)	Cemento (g)	Agua (g)	Cantidad minicono
Mezcla 8	CBQ-VTC (4.5%)	4.5	100	36.067	9
Mezcla 9	CBQ-VTC (5%)	5	100	35.63	9

### 2.3.1.1. 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. (Figura 2.4 a)
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 se rectificó según relación  $a/c=0.40$ .

Nota: El ajuste de agua para el aditivo CBQ-VTC se realizó en base a la determinación del contenido de sólidos solubles (%) por refractometría.

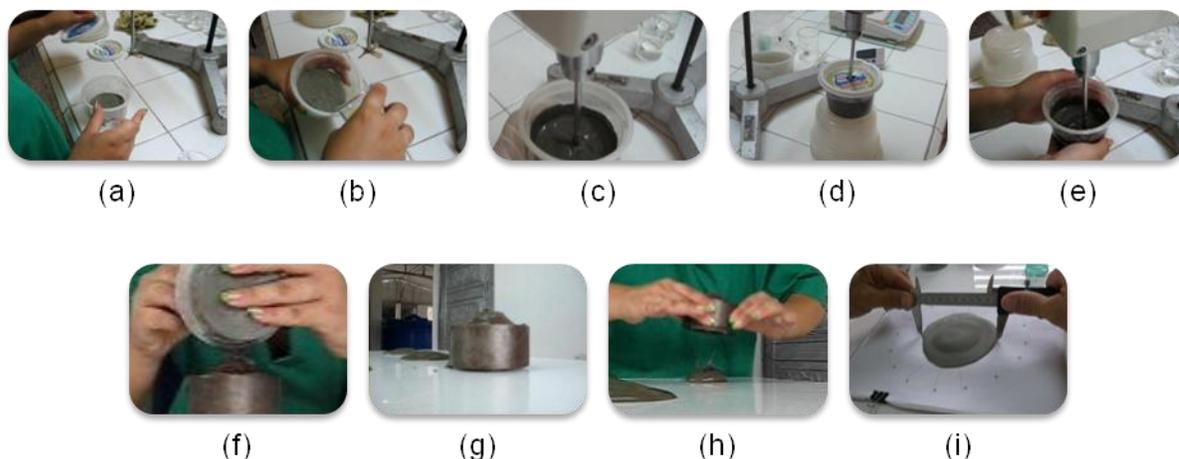
3. Se introdujo la paleta del agitador (Heidolph RZR 50) dentro del recipiente cilíndrico y lentamente se añadió la solución del aditivo y agua de amasado, con el beaker que se apoyó en el eje de la varilla de agitación. (Figura 2.4 b).
4. Se puso en movimiento el agitador a una velocidad de 250 r.p.m. durante dos minutos. (Figura 2.4 c)
5. Se detuvo el mezclado, se tapó el recipiente con la tapa ranurada y se dejó reposar la mezcla durante tres minutos. (Figura 2.4 d)
6. Se puso nuevamente en movimiento el agitador y se mezcló durante dos minutos más. (Figura 2.4 e)
7. Se colocó el Minicono sobre la placa de plástico.

8. Se detuvo el agitador. Se vertió la pasta con la ayuda de la varilla dentro del Minicono. Se enrasó con la espátula y se eliminó el exceso de pasta en el extremo superior y lateral del Minicono. (Figura 2.4 f)

9. Se mantuvo en reposo el Minicono durante un minuto y se levantó verticalmente con movimiento rápido dejando caer la pasta hasta que la superficie interior del Minicono quedó completamente limpia. (Figura 2.4 g, h)

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. (Figura 2.4 i)

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



**Figura 2.4** “Procedimiento de ensayo del Minicono”

### **Ajuste de agua por sólidos solubles**

Se colocó una gota del aditivo (70  $\mu\text{L}$ ) en el refractómetro (ver Fig. 2.4), 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:

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

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

$$3- AP=AI-AAD$$

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.

### 2.3.1.2. Cálculos

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

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 del % de reducción de agua por el método del Minicono**

La determinación del % de reducción de agua por el ensayo del Minicono se realizó según la NC 235: 2012. Se fijó la relación agua/cemento (a/c) a 0.40 para la pastilla patrón, y

**Tabla 2.6** “Dosificación de materiales para la determinación del % de reducción de agua”

Mezcla	% Aditivo	Relación a/c	Cantidad aditivo (g)	Cemento (g)	Agua (g)	Cantidad minicono
Patrón	Sin aditivo	0.40	0	100	40	6
Mezcla 1	CBQ-VTC (3%)	0.40	3	100	37.378	6
Mezcla 2	CBQ-VTC (3%)	0.38	3	100	35.378	6
Mezcla 3	CBQ-VTC (3%)	0.36	3	100	33.378	6
Mezcla 4	CBQ-VTC (3%)	0.34	3	100	31.378	6

después se redujo el agua en diferentes por cientos.

**2.3.2.1. Procedimiento**

Para medir la reducción de agua se mantuvo la proporción de aditivo y se siguió igual el procedimiento descrito para obtener el índice de plasticidad excepto que se redujo el agua según el % que se desea estudiar.

**2.3.2.2. Cálculos**

$$\%R = \left(1 - \frac{Aa}{Ai}\right) \cdot 100$$

Dónde:

**%R:** Por ciento de reducción de agua

**Aa:** Agua empleada en la pasta con aditivo para igual área de pastilla que la obtenida en la pasta sin aditivo

**Ai:** Agua empleada en la pasta sin aditivo

### 2.3.3. Determinación de la variación de plasticidad con el tiempo por el método del Minicono

La determinación de la variación de plasticidad con el tiempo por el ensayo del Minicono se realizó según la NC 235: 2012. Se fijó la relación agua/cemento (a/c) a 0.40 para la pastilla patrón y para las demás se realizaron las correcciones por sólidos solubles.

**Tabla 2.7** “Dosificación de materiales para la determinación de la variación de plasticidad con el tiempo”

Mezcla	% Aditivo	Cantidad Aditivo (g)	Cemento (g)	Agua (g)	Cantidad minicono
Patrón	Sin aditivo	0	100	40	3
Mezcla 1	CBQ-VTC (3%)	15	500	186.905	3

#### 2.3.3.1. Procedimiento

Para la medición de la pérdida de plasticidad de la pasta con aditivo en el tiempo:

Se introdujeron 500 g de cemento en el beaker, el agua y el aditivo correspondiente a esta cantidad. Se siguió igual procedimiento que el anterior, pero el resto de la pasta se distribuyó en cuatro recipientes de 100 ml, se fijó los intervalos de tiempo a ensayar (40, 80, 120 y 160 minutos).

Después de pasar el tiempo fijado, se mezcló la pasta durante un minuto. Se vertió con la ayuda de la varilla dentro del Minicono y se mantuvo en reposo durante un minuto, se levantó verticalmente con movimiento rápido dejando caer la pasta hasta que la superficie interior del Minicono quedó completamente limpia.

Se dejó la pasta en reposo durante 24h y se realizó las mediciones igual que las descritas para la determinación del Índice de Plasticidad.

#### 2.3.3.2. Cálculos

El resultado se reportó en el área obtenida a través de la medición de cada pastilla y el tiempo en que se obtuvo los cuales fueron fijados en intervalos de 40 minutos. El tiempo

total de permanencia de la acción plastificante de un aditivo fue aquel en el que se alcanzó igual área que la obtenida en la pasta sin aditivo.

### **2.3.4. Determinación de la consistencia normal y tiempo de fraguado.**

#### **Ensayo de la Aguja de Vicat**

Este ensayo se realizó en la Facultad de Construcciones perteneciente a la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, a una temperatura de  $22 \pm 2^\circ\text{C}$ .

La Norma NC 524: 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.

Se utilizó la dosis con mejores resultados en cuanto a plasticidad obtenida 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 en una dosis del 3% posee como característica ser un retardador o acelerador de fraguado. Se cometieron tres réplicas por cada serie.

#### **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 ( $10 \pm 1$  mm) por debajo del nivel original de la superficie en 30s. 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.

#### **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.

#### **Equipos y utensilios**

1. Amasadora.
2. Aparato de Vicat (Figura 2.5 c)
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.



*Paleta (a)*



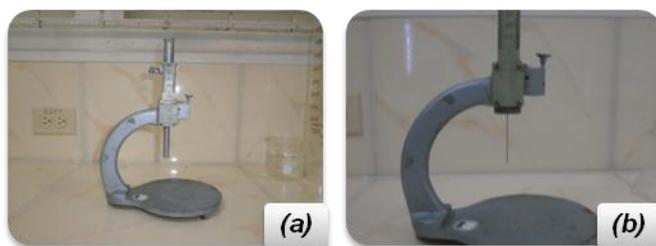
*Recipiente (b)*



*Aparato Vicat (c)*

**Figura 2.5** “Equipos y utensilios empleados en el ensayo Aguja de Vicat”

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 (NC524, 2007).



**Figura 2.6** “Equipo Vicat, para la determinación: a) consistencia normal con aguja de 50 mm, b) tiempos de fraguado con aguja de 1 mm”

**Tabla 2.8** “Dosificación de materiales para ensayo de Agujas de Vicat, determinación de tiempos de fraguado”

<b>Mezcla</b>	<b>% Aditivo</b>	<b>Cantidad Aditivo (g)</b>	<b>Cemento (g)</b>	<b>Agua* (g)</b>	<b>Réplicas</b>
<b>Patrón</b>	Sin aditivo	0	650	160	3
<b>Mezcla 1</b>	CBQ-VTC (3%)	19.5	650	128	3

\* Cantidad de agua determinada por el ensayo de consistencia normal

#### **2.3.4.1. Procedimiento**

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

1. Se añadió el agua destilada para la mezcla en el recipiente.
2. Se añadió 650 g del cemento al agua y permitiendo que absorba agua durante 30 s.
3. Luego, se encendió la amasadora y se mezcló a velocidad lenta por 30 s.
4. Se detuvo la amasadora por 15 s, y durante este tiempo fue raspado el recipiente con la espátula de goma hacia abajo, de modo que cualquier cantidad de pasta que quedase en las paredes se pueda incorporar a la mezcla.
5. Se mezcló de nuevo a velocidad rápida por 1 min. La duración de los distintos períodos de amasado, se cumplió con una precisión de  $\pm 1$  s.
6. Inmediatamente luego de la finalización del mezclado, se moldeó el espécimen haciendo una bola con los guantes, pasándola seis veces de una mano a otra, manteniendo las manos apartadas 150 mm aproximadamente.
7. Después se sostuvo la bola, descansando en la palma de la mano y se introdujo dentro del extremo mayor del anillo troncocónico y se llenó con la pasta hasta que sobresalió en el otro extremo y fue removido el exceso en el extremo mayor por un solo movimiento de

la palma de la mano.

8. Se colocó el molde troncocónico con su extremo mayor en una placa y se cortó el exceso de pasta en la parte superior del extremo menor con una espátula metálica.

9. Inmediatamente después del moldeado, se sumergió el espécimen de prueba junto con la placa en un recipiente con agua destilada por 30 minutos.

10. Para determinar el tiempo de fraguado inicial, después de transcurrir los 30 minutos se monta el espécimen en el aparato Vicat y se deja caer la aguja de 10 mm por 30 segundos y se registra la lectura de penetración, luego se retira el espécimen y se sumerge nuevamente en agua destilada, se limpia la aguja, y se toman lecturas sucesivas a intervalos de 15 minutos hasta que una penetración de 25 mm o menor sea obtenida.

11. Para determinar el tiempo de fraguado final, se continuaron las penetraciones hasta que se observó que la aguja no hiciera marca visible en la pasta endurecida.

### **2.3.4.2. Cálculos**

Se determinó por interpolación el tiempo requerido para una penetración correspondiente a 25 mm, el cual se reportó como tiempo fraguado inicial y como tiempo de fraguado final se tomó la última lectura cuando la pasta no fue visiblemente penetrada.

### **2.3.5. 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 un ensayo con el Cono de Marsh. Este se efectuó en la Facultad de Construcciones perteneciente a la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, a una temperatura de  $22 \pm 2^\circ\text{C}$ .

La calibración del Cono de Marsh se llevó a cabo con agua, (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. 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 medios de medición**

1. Amasadora para mezclar la pasta: cumple con los requisitos exigidos en la norma NC 524: 2007 (Figura 2.7 a)
2. Embudo cónico con boquilla de descarga de acero inoxidable en su extremo inferior y diámetro de salida de 11 mm (Figura 2.7 b)
3. Beaker graduado con capacidad de 1000 ml
4. Base metálica y soporte para apoyo del embudo
5. Cronómetro
6. Espátula

**Tabla 2.9** “Dosificación de materiales para ensayo de Cono de Marsh”

<b>Mezcla</b>	<b>% Aditivo</b>	<b>Cemento (g)</b>	<b>Agua (g)</b>	<b>Cantidad Aditivo (g)</b>	<b>Réplicas</b>
<b>Patrón</b>	Sin aditivo	1450	580	0	6
<b>Mezcla 1</b>	CBQ-VTC (3%)	1450	541.981	43.5	6

#### **2.3.5.1. Procedimiento**

Se realizó según la norma NC 461-2006:

Se humedeció la superficie interior del embudo llenándolo con agua y un minuto antes de introducir la lechada de inyección, se drenó el agua, contenida en el embudo, en el interior de la probeta de 1000 ml colocada bajo el cono. Luego se limpió el interior de la probeta, colocándola nuevamente bajo el embudo.

La salida de la boquilla fue cerrada con el dedo, y se llenó el embudo con la mezcla utilizada en la lechada de cemento Portland. Se arrancó el cronómetro y liberó simultáneamente la salida de la boquilla quitando el dedo y llenando simultáneamente la probeta de 1000 ml, colocada bajo el embudo. Se detuvo el cronómetro a la primera interrupción del flujo continuo de la pasta cuando al observar el interior del embudo fue visible la luz a través de la boquilla y fue registrado el tiempo.



**Figura 2.7** “Procedimiento del Ensayo Embudo de Marsh: a) mezclado de la pasta, b) llenado del embudo y c) mezcla fluyendo a través del orificio del embudo”

#### **2.4. Conclusiones parciales del capítulo**

1. Las dosis evaluadas del bio-producto CBQ-VTC en pastas de cemento manifiestan una influencia significativa en cuanto a las propiedades reológicas.
2. Se demostró que el bio-producto CBQ-VTC tiene mejor por ciento de reducción de agua que el MEF-32 y mantiene la plasticidad por grandes periodos de tiempo.
3. La dosis evaluada registra buenos resultados en cuanto a la fluidez, al compararla con la pasta sin aditivo.
4. Los tiempos de fraguado para la pasta con CBQ-VTC fueron menores que para la muestra patrón sin aditivar.

### CAPÍTULO III. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL BIO-PRODUCTO CBQ-VTC EN PASTAS DE CEMENTO PORTLAND ORDINARIO.

En el presente 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. Para ello se emplearon los programas Excel y Statgraphics Centurión, representando los resultados estadísticos tanto gráfica como analíticamente, dichos programas permitieron determinar si el bio-producto CBQ-VTC tiene efecto significativo sobre las propiedades reológicas (índice de plasticidad, porcentaje de reducción de agua, pérdida de plasticidad en el tiempo, consistencia normal, tiempos de fraguado y fluidez) en las pastas de cemento.

#### 3.1. Análisis del índice de plasticidad de las pastas de cemento con diferentes dosis, ensayo del Minicono

En la Figura 3.1, se observan las áreas correspondientes a las pastillas obtenidas para el bio-producto CBQ-VTC en diferentes dosis (1% hasta 5%) y la pastilla patrón sin aditivo a través del ensayo del Minicono, se muestra que todas las áreas de las pastillas con aditivo resultan ser mayores que la pastilla patrón sin aditivo..

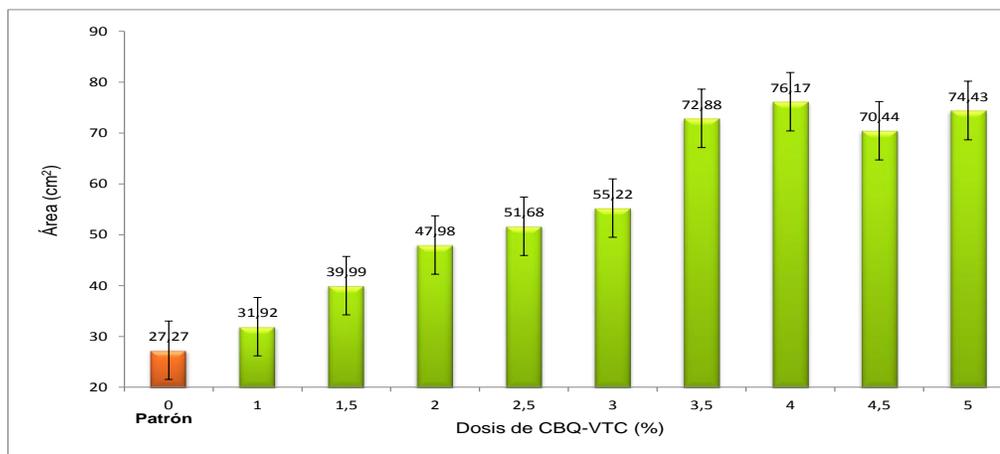
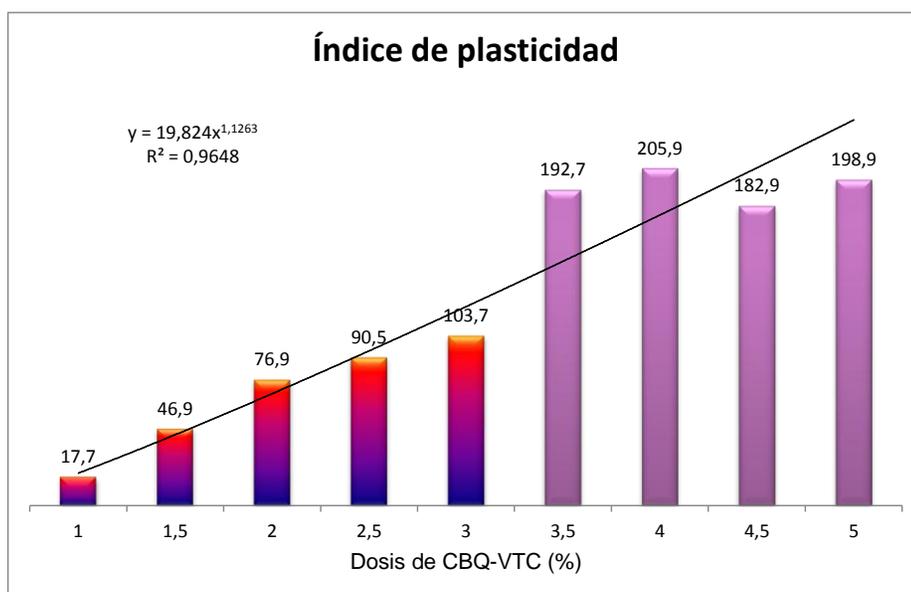


Figura 3.1 Efecto de las dosis del bio-producto CBQ-VTC (por ciento en peso de cemento)

Con los datos anteriores se determinó el índice de plasticidad (IP%) de las pastas, en la Figura 3.2, se observan los resultados donde se aprecia una tendencia similar a los obtenidos en el gráfico de áreas de las pastillas, lo cual corrobora que el IP es directamente proporcional al área de la pastilla aditivada. Como resultado de este estudio se determinó que las dosis utilizadas tienen una influencia estadísticamente significativa sobre el I.P % con un 95.0 % de nivel de confianza, puesto que los valores-P son menores que 0.05 (ver Anexo I).



**Figura 3.2** “Índice de plasticidad alcanzado en el ensayo del minicono”

El CBQ-VTC en dosis de 1% hasta 5% responde a un comportamiento potencial (figura 3.2) La línea de tendencia de potencia demuestra el aumento creciente del índice de plasticidad, y se observa que el valor R cuadrado es 0,9648, que es un ajuste casi perfecto de la línea respecto a los datos, en el gráfico se muestra como las dosis desde 1 al 3% se comporta de forma creciente y lineal, no siendo así al añadir las dosis del bioproducto CBQ-VTC mayores del 3% a las pastas de cemento, mostrando un aumento muy considerable en cuanto al esparcimiento de la pastilla, pero su comportamiento, es no lineal, además se apreciaron efectos cualitativos tales como: variaciones de la consistencia de la pasta durante el amasado, cambios de la textura superficial (cambio de color, menos lisa),

agrietamientos "retracción plástica" en la superficie de pasta solidificada, y se pudo diferenciar cualitativamente el comportamiento del fraguado en cada caso.

Los resultados indican, que la dosis óptima de trabajo es el 3%, dado por su IP, textura de la pastilla y comportamiento de fraguado para realizar los demás estudios de reología.

#### 3.2. Determinación del porcentaje de reducción de agua. Ensayo Minicono

En la figura 3.3 se muestra la determinación del porcentaje de reducción de agua al emplear la dosis del 3% del CBQ-VTC, en la misma se observó como al disminuir la relación agua/cemento disminuye el área de esparcimiento de la pastilla con una dosis del 3% y una relación a/c de 0.34, logrando igual área que la pastilla sin aditivar.

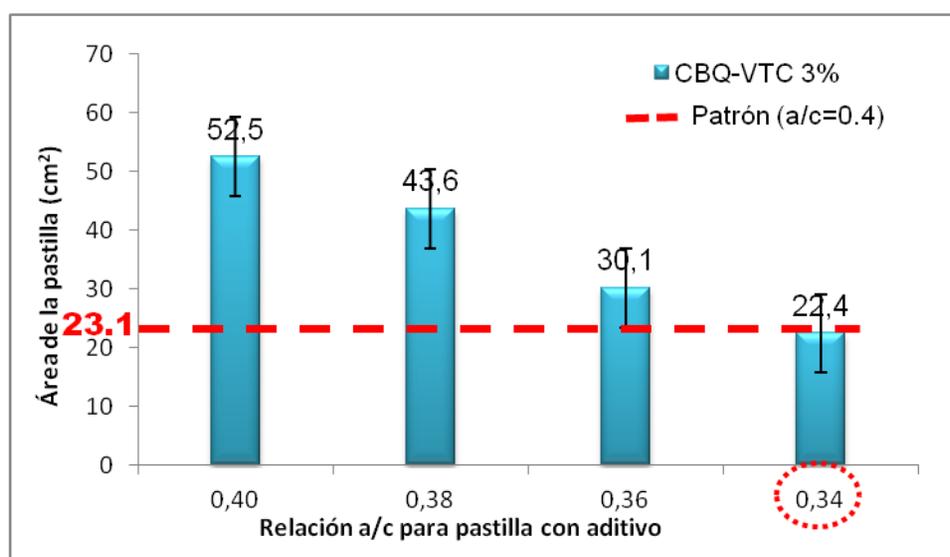
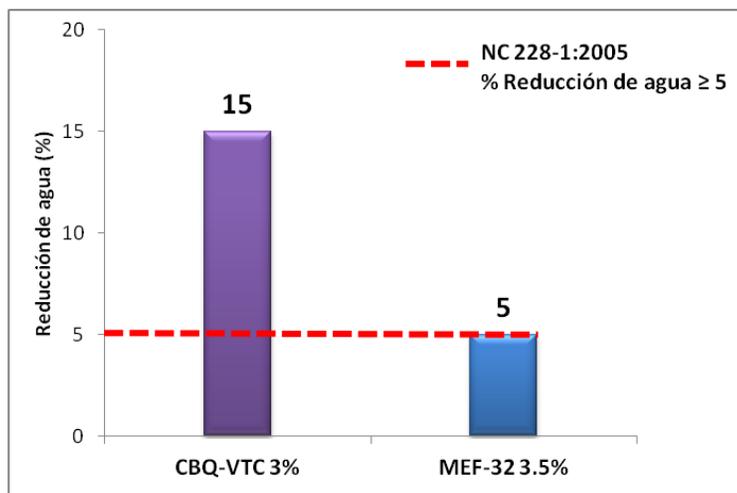


Figura 3.3 "Determinación del porcentaje de reducción de agua del CBQ-VTC"

En la figura 3.4 se muestra que el bio-producto MEF-32 con una dosis de 3.5% logra una reducción de agua del 5% con respecto al patrón, según la autora (Espinosa López, 2015). Superado por el aditivo CBQ-VTC que en dosis del 3% logra disminuir el contenido de agua al 15%, con respecto al patrón por lo que se ratifica el comportamiento del CBQ-VTC como plastificante, cumpliendo con los requisitos de la NC 228-1: 2005.



**Figura 3.4** “Porcentaje de reducción de agua del CBQ-VTC y MEF-32”

### **3.3. Determinación de la pérdida de plasticidad en el tiempo. Ensayo Minicono**

En la figura 3.5, se muestra el gráfico correspondiente a la determinación de pérdida de plasticidad en el tiempo para el aditivo CBQ-VTC al 3%. En el resultado se reporta el área de la pastilla obtenida en cada medición y el tiempo en que se obtuvo. Es significativo señalar que en la realización de este ensayo, se tomó como criterio para realizar las mediciones 40 minutos, debido a que en ensayos preliminares intervalos de tiempo menores no fueron satisfactorios. El tiempo total de permanencia de la acción plastificante del aditivo fue de 160 minutos, ya que fue en este periodo que se alcanza igual área que la obtenida en la pasta sin aditivo.

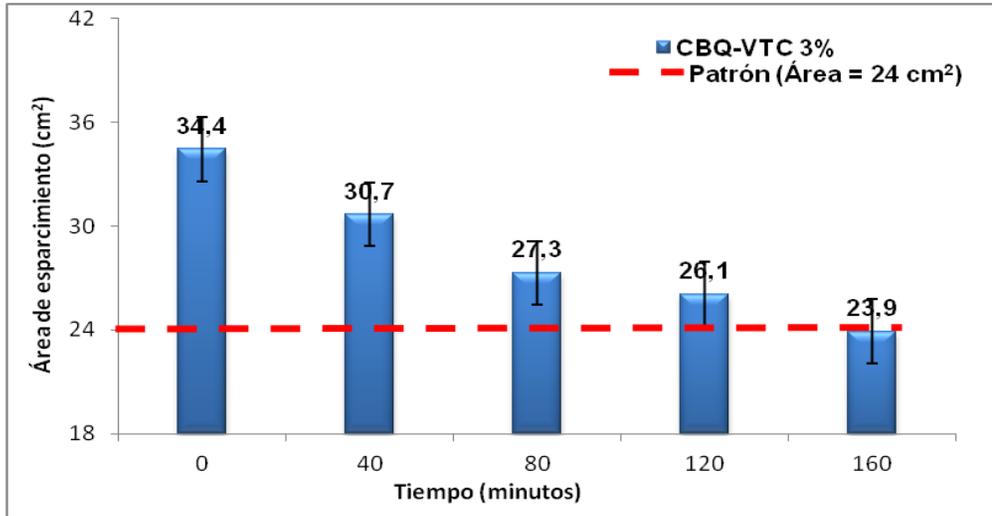


Figura 3.5 “Pérdida de plasticidad en el tiempo del CBQ-VTC al 3%”

### 3.4. Análisis de la fluidez. Ensayo del Cono de Marsh

Como revela el gráfico 3.6 la fluidez de la pasta de cemento, medida en segundos entre el bio-producto CBQ-VTC en una dosis del 3% y la pasta sin aditivo es completamente diferente, el patrón supera en tiempo el doble al registrado por el CBQ-VTC, lo que demuestra una fluidez con el bio-producto, corroborando su comportamiento aditivo viscoso.

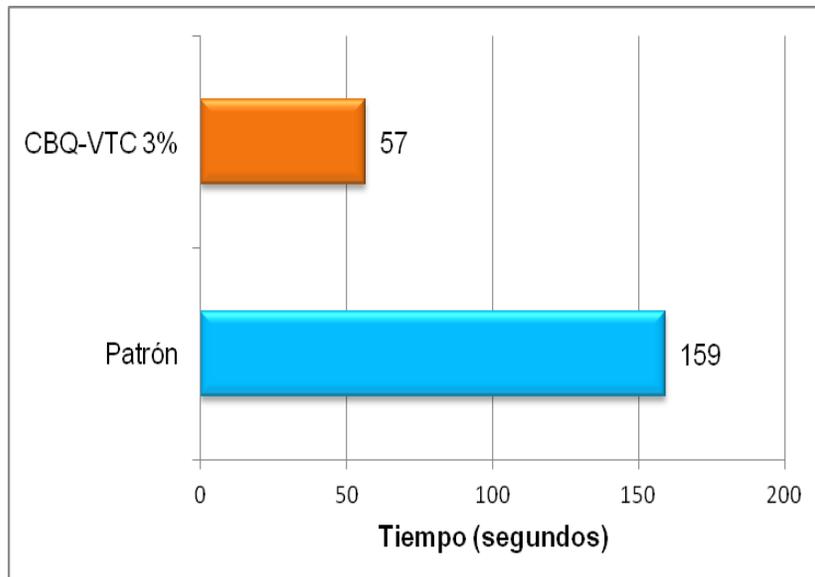


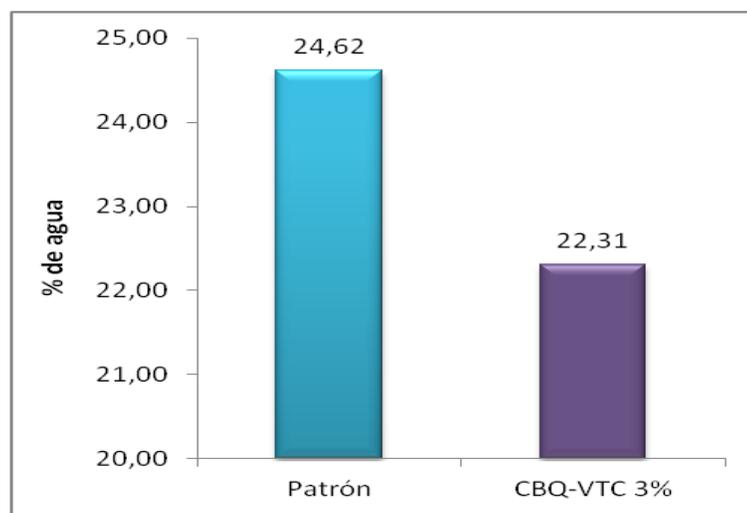
Figura 3.6 “Fluidez alcanzada empleando el 3% de CBQ-VTC”

**3.5. Análisis de la consistencia normal en pastas de cemento con diferentes dosis. Ensayo aguja de Vicat**

La cantidad de aditivo y agua de amasado necesaria para conseguir una pasta de consistencia normal, así como en el tiempo de fraguado, principio y final, se determinó por la influencia de los siguientes aspectos:

- a) Las características del cemento; fundamentalmente su composición y el tamaño de las partículas (finura de molido).
- b) La pureza del agua.
- c) La temperatura.
- d) El procedimiento utilizado para realizar el amasado y el tiempo de amasado, con objeto de conseguir un conjunto homogéneo.

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. Con respecto a la muestra patrón la dosis utilizada con el bio-producto CBQ-VTC, refleja un efecto reductor de agua. Para la dosis de 3% reduce con respecto a la muestra patrón un 9% de agua obteniéndose la consistencia óptima para determinar los tiempos de fraguado. (Figura 3.7)



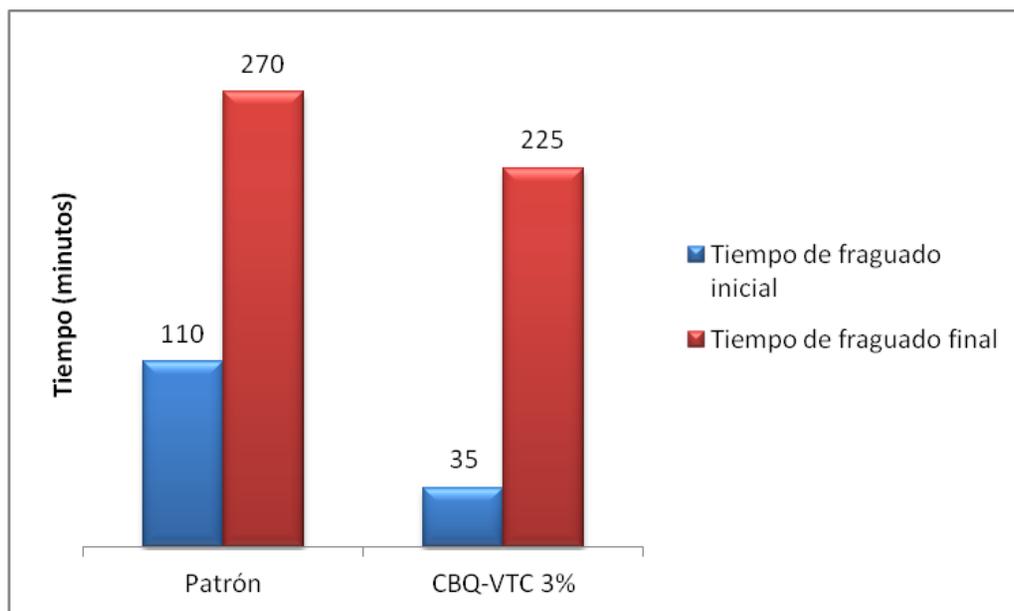
**Figura 3.7** “Porcentaje de agua necesaria para Consistencia normal”

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

Se comprobó, desde un punto de vista experimental, que cuando se mezcló el 3% del CBQ-VTC con el cemento y una cantidad apropiada de agua, se obtuvo una consistencia definida (consistencia normal), con esta mezcla se obtiene una masa plástica que conserva su plasticidad durante un tiempo determinado; a continuación se produce un aumento brusco de su viscosidad, a la vez que se incrementa la temperatura de la pasta, que se pone de manifiesto por la resistencia que la masa ejerce a la penetración de una aguja trayendo consigo el principio del fraguado a los 35 minutos.

A partir de este momento la masa fue adquiriendo mayor rigidez y su resistencia a la penetración fue aumentando, hasta que seso su deformabilidad y se transformó en un bloque rígido al producirse el final del fraguado a los 225 minutos.

De manera general se puede observar a través del gráfico 3.8 que en cuanto a tiempo de fraguado inicial y final, la dosis de 3% de CBQ-VTC alcanza valores menores respecto al patrón, comportándose el bio-producto como un ligero acelerador de fraguado inicial y final.



**Figura 3.8** “Resultados de tiempos de fraguado inicial y final mediante Aguja de Vicat”

**3.7. Conclusiones parciales del capítulo**

1. Se comprobó que la dosis del 3 % del bioproducto CBQ-VTC al ser añadida en la pasta de cemento influye en su plasticidad y esta manifiesta una tendencia lineal.
2. A partir de los resultados de los ensayos físicos y reológicos en pastas se pudo seleccionar una dosis adecuada del bioproducto CBQ-VTC con efecto plastificante y un ligero acelerador del fraguado.
5. Los ensayos del Minicono, Perdida de la plasticidad en el tiempo, % de reducción de agua, Aguja de Vicat y Cono de Marsh resultaron adecuados para evaluar las propiedades reológicas del bioproducto CBQ-VTC en pastas de cemento P-35.

### **CONCLUSIONES GENERALES**

1. El empleo de aditivos biológicos en la industria de la construcción cubana se presenta como una alternativa necesaria ya que ofrece grandes ventajas sobre los aditivos comerciales al ser más fáciles de producir y menos agresivos para el medio ambiente.
2. Se comprobó que el aditivo CBQ-VTC aumenta la plasticidad de pastas de cemento en dependencia de la dosis utilizada, con una tendencia lineal en las dosis de 1 a 3% con respecto a la muestra patrón.
3. A partir de los resultados de los ensayos reológicos al bio-producto CBQ-VTC en dosis del 3%, manifiesta una influencia significativa en la plasticidad, consistencia, tiempos de fraguado y en la fluidez en pastas de cemento P-35.
4. Mediante los resultados que se obtienen en la investigación, del bio-producto CBQ-VTC presentan un efecto evidente sobre las propiedades reológicas de las pastas de cemento, que unido a su acción directa en los procesos constructivos, podría convertirse en un incentivo para iniciar su utilización de forma moderada en la construcción.

### **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda 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 Viscoklick para una mejor caracterización del mismo.
2. Para futuros trabajos es necesario 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.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (ASTM), T. A. S. F. T. M. 2001. ASTM C494/C494M-08. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete<sup>1</sup>. United States: ASTM.
- ABREU RODRÍGUEZ, M. 2011. *Análisis del Micro-ben como aditivo plastificante para los Hormigones Autocompactables*. Universidad central "Marta Abreu" de Las Villas.
- 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-494 1992a. ASTM C494/C494M-08a. Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto.
- ASTM-C-494 1992b. 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. Composición mineral del cemento Pórtland. *Fases del CPO*. Santa Clara: Formato Electrónico.
- BETANCOURT RODRÍGUEZ, S. 2009b. Fraguado y endurecimiento del cemento Pórtland. *Fraguado CPO*.
- BLAß, E. 1972. "Grundlagen der Einphasen- und Mehrphasenströmungen. Von H. Brauer. Aus der Reihe „Grundlagen der Chemischen Technik, Verfahrenstechnik der chemischen und verwandten Industrien,“ □ herausgeg. von H. Mohler, O. Fuchs, H. Kraussold u. K. Dialer, Verlag Sauerländer, Aarau. Frankfurt/M. 1971. 1. Aufl., 955 S., 520 Abb., DM 98, –". *Chemie Ingenieur Technik*44(8): 598-598.
- 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].

## ***Referencias bibliográficas***

---

- COGUANOR 2013. NTG 41003 h10 Método de ensayo. Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico usando la aguja de Vicat. . *Guatemala, Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía.*
- COLLEPARDI, M. Chemical admixtures today. Proceedings of Second International Symposium on Concrete Technology for Sustainable February-Development with EmpHasis on Infrastructure, 2005. 527-541.
- CONSTANTINO, E. 2010. Materiales de construcción. *Procesos de construcción.*
- COUSSOT, P. 1994. "Steady, Laminar, Flow of Concentrated Mud Suspensions In Open Channel". *Journal of Hydraulic Research*, 32(3): 535-559.
- DRANSFIELD, J. 2013. Admixture Sheet ATS-1. *Normal plasticising/Water reducing*
- E-701, A. C. 2013. Chemical Admixtures for Concrete. A. E. B. E4-12. *In: FARMINGTON HILLS, U., AMERICAN CONCRETE INSTITUTE® (ed.).*
- EHE 2008. EHE – 08. Instrucción de Hormigón Estructural Universidad de Castilla- La Mancha: Instituto Español de Normalización.
- EN 2008. BS EN 934. Admixtures for concrete, mortar and grout.
- ESPINOSA LÓPEZ, I. 2015. *Evaluación del comportamiento reológico y de la cinética de hidratación de las pastas de cemento con mezclas de aditivos MEF 32 y SX-32.* UCLV.
- FRANCISCO 2013. LECCION 7. Hidratación del cemento Portland. 6-15.
- FUENTES AGUILAR, R. 2008. Reología de suspensiones sólido-líquido (barros) algunos aspectos teóricos y experimentales antiguos y recientes.
- 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.
- GÓMEZ, M., DAMARIS. 2010. *Uso de plastificantes a partir de microorganismos eficientes en hormigones.* Universidad central "Marta Abreu" de Las Villas.
- 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.
- 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. 28<sup>th</sup> Conference On Our World In Concrete & Structures, **2003** Singapore.
- JONKERS, H. 2007. Self Healing Concrete: A Biological Approach. *In: VAN DER ZWAAG, S. (ed.) Self Healing Materials.* Springer Netherlands.

- KRUYT, N. P. A. W. J. T. V. 1992. "Experimental and theoretical study of rapid flows of cohesionless granular materials down inclined chutes.". *Powder Technology*, 73(2): 109-115.
- MACHADO TORRES, M. 2015. *Comportamiento del bio-producto CBQ-VTC como aditivo plastificante en pastas*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- 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.
- MEBROUKI, A., ET AL. 2010. "Aplicación del diseño estadístico de mezclas para la formulación de pasta autocompactante"
- MINETTIS, H. 2008. "Guía Práctica: Hormigón Elaborado. Diseñar y obtener hormigones durables.". Retrieved 9 de Abril, 2015, from. [www.cementosminetti.com.ar](http://www.cementosminetti.com.ar).
- MORA LÓPEZ, A. E. 2012. *Evaluación del "IHplus" como bioplasticante 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 Burean of Standards (NC).
- NC461 2006. NC 461: 2006 Determination of grout flow test in cement Portland appyling marsh cone. Ciudad de La Habana. Cuba: Cuban National Burean 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.
- QUINTANA, V. 2014. Breve reseña - Los aditivos químicos y su impacto en el medio ambiente.

## ***Referencias bibliográficas***

---

- 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.
- ROUSSEL, N. 2006. "Correlation between Yield Stress and Slump: Comparison between Numerical Simulations and Concrete Rheometers Results". *Materials and Structures*, 39(4): 501-509.
- ROUSSEL, N., STEFANI, C. & LEROY, R. 2005. From mini-cone test to Abrams cone test: measurement of cement-based materials yield stress using slump tests. *Cement and Concrete Research* 35 817– 822.
- SANTIAGO, P., ESTELA & VIDAL, C., MANUEL DEKAR. 2011. *"Diferentes tipos de aditivos para el concreto"*. UNIVERSIDAD VERACRUZANA: FACULTAD DE INGENIERÍA.
- STRAßE, A. F. 2008. Wirkung von Fließmitteln in zementgebundenen Baustoffen.
- 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.
- VIKAN, H., ET AL. 2007. "Correlating cement characteristics with rheology of paste.". *Cement and Concrete Research*, 37(11): 1502-1511.
- 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. Resultados del análisis estadístico del índice de plasticidad mediante el Statgraphics**

% CBQ-VTC	Índice de plasticidad			Índice de plasticidad promedio
1	26.83	7.70	18.50	17.7
1.5	49.64	41.91	49.27	46.9
2	84.68	60.79	85.37	76.9
2.5	95.16	73.93	102.39	90.5
3	110.90	84.47	115.60	103.7
3.5	214.60	175.72	187.65	192.7
4	205.23	220.94	191.42	205.9
4.5	168.40	174.99	205.23	182.9
5	209.90	184.64	202.13	198.9

**ANOVA Simple - Índice de plasticidad por % de aditivo**

Variable dependiente: Índice de plasticidad

Factor: % de aditivo

Número de observaciones: 57

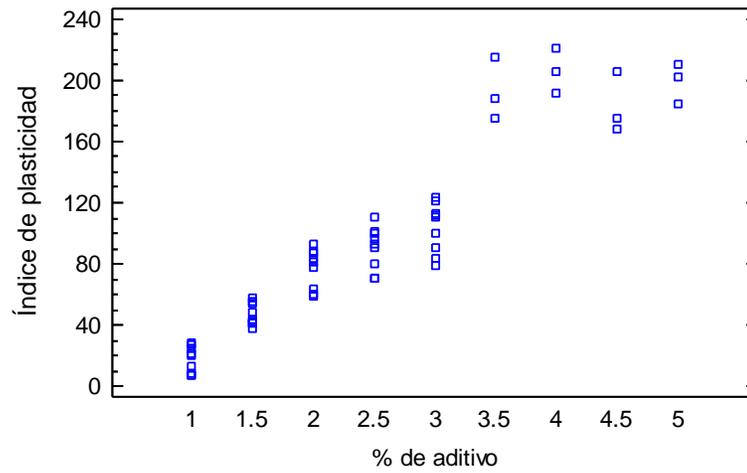
Número de niveles: 9

**Tabla ANOVA para Índice de plasticidad por % de aditivo**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	199365.	8	24920.6	143.96	0.0000
Intra grupos	8309.28	48	173.11		
Total (Corr.)	207674.	56			

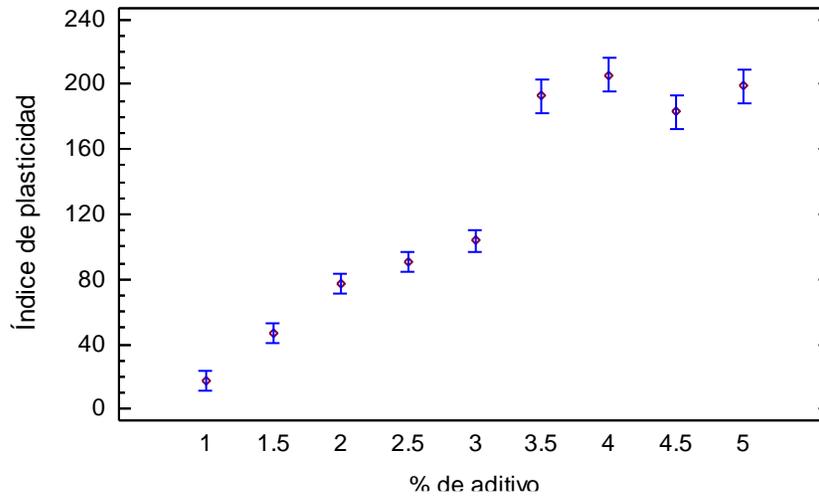
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Dispersión por Código de Nivel



Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Índice de plasticidad entre un nivel de % de aditivo y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Medias y 95.0% de Fisher LSD



**Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de plasticidad por % de aditivo**

Método: 95.0 porcentaje LSD

% de aditivo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	9	17.6789	X
1.5	9	46.9378	X
2	9	76.9489	X
2.5	9	90.4922	X
3	9	103.658	X
4.5	3	182.873	X
3.5	3	192.657	XX
5	3	198.89	XX
4	3	205.863	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 1.5	*	-29.2589	12.4706
1 - 2	*	-59.27	12.4706
1 - 2.5	*	-72.8133	12.4706
1 - 3	*	-85.9789	12.4706
1 - 3.5	*	-174.978	17.6361
1 - 4	*	-188.184	17.6361
1 - 4.5	*	-165.194	17.6361
1 - 5	*	-181.211	17.6361
1.5 - 2	*	-30.0111	12.4706
1.5 - 2.5	*	-43.5544	12.4706
1.5 - 3	*	-56.72	12.4706
1.5 - 3.5	*	-145.719	17.6361
1.5 - 4	*	-158.926	17.6361
1.5 - 4.5	*	-135.936	17.6361
1.5 - 5	*	-151.952	17.6361
2 - 2.5	*	-13.5433	12.4706

2 - 3	*	-26.7089	12.4706
2 - 3.5	*	-115.708	17.6361
2 - 4	*	-128.914	17.6361
2 - 4.5	*	-105.924	17.6361
2 - 5	*	-121.941	17.6361
2.5 - 3	*	-13.1656	12.4706
2.5 - 3.5	*	-102.164	17.6361
2.5 - 4	*	-115.371	17.6361
2.5 - 4.5	*	-92.3811	17.6361
2.5 - 5	*	-108.398	17.6361
3 - 3.5	*	-88.9989	17.6361
3 - 4	*	-102.206	17.6361
3 - 4.5	*	-79.2156	17.6361
3 - 5	*	-95.2322	17.6361
3.5 - 4		-13.2067	21.5998
3.5 - 4.5		9.78333	21.5998
3.5 - 5		-6.23333	21.5998
4 - 4.5	*	22.99	21.5998
4 - 5		6.97333	21.5998
4.5 - 5		-16.0167	21.5998

\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 31 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 7 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

**Anexo II: Resultados obtenidos en el ensayo Aguja de Vicat**

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

<b>Consistencia normal sin aditivos (Mezcla patrón)</b>				
<b>Tanteo</b>	<b>Cemento (g)</b>	<b>Agua (g)</b>	<b>Agua (%)</b>	<b>Consistencia lograda (mm)</b>
<b>1</b>	650	160	24.62	10.00
<b>2</b>	650	160	24.62	10.00
<b>Consistencia normal con aditivo CBQ-VTC al 3%</b>				
<b>Tanteo</b>	<b>Cemento (g)</b>	<b>Agua (g)</b>	<b>Agua (%)</b>	<b>Consistencia lograda (mm)</b>
<b>1</b>	650	145	22.31	11.00
<b>2</b>	650	145	22.31	10.00

**Tabla 2:** “Registro de pares de lectura tiempo-penetración para patrón”

<b>Lectura No.</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Penetración (mm)</b>			<b>Penetración Promedio (mm)</b>
		<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	
<b>1</b>	30	30	33	32	32
<b>2</b>	45	30	33	31	31
<b>3</b>	60	30	32	31	31
<b>4</b>	75	29	28	29	29
<b>5</b>	90	29	28	27	28
<b>6</b>	105	28	26	26	27
<b>7</b>	120	12	14	16	14
<b>8</b>	135	10	12	13	12
<b>9</b>	150	9	8	10	9

Lectura No.	Tiempo (min)	Penetración (mm)			Penetración Promedio (mm)
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
10	165	5	5	6	5
11	180	5	5	4	5
12	195	3	3	3	3
13	210	2	2	3	2
14	225	1	2	2	2
15	240	1	1	1	1
16	255	0	1	1	1
17	270		0	0	0

**Tabla 3:** “Registro de pares de lectura tiempo-penetración para pasta con CBQ-VTC al 3%”

Lectura No.	Tiempo (min)	Penetración (mm)			Penetración promedio
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
1	30	31	30	30	30
2	45	11	5	8	8
3	60	6	5	5	5
4	75	6	4	5	5
5	90	5	4	4	4
6	105	5	4	4	4
7	120	4	4	4	4
8	135	3	4	3	3
9	150	2	3	2	2
10	165	2	2	2	2
11	180	1	2	1	1
12	195	1	1	1	1
13	210	1	1	1	1
14	225	0	0	0	0

**Anexo III: Resultados obtenidos en el ensayo Cono de Marsh**

	Tiempo (s)	Tiempo promedio (s)
<b>Patrón Agua = 580 ml</b>	163	159
	162	
	152	
<b>CBQ-VTC 3% = 43.5 g Agua = 541.98 ml</b>	49	57
	61	
	61	

**ANOVA Simple - Tiempo por Mezcla**

Variable dependiente: Tiempo ((segundos))

Factor: Mezcla

Número de observaciones: 6

Número de niveles: 2

**Tabla ANOVA para Tiempo por Mezcla**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	15606.0	1	15606.0	367.20	0.0000
Intra grupos	170.0	4	42.5		
Total (Corr.)	15776.0	5			

Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Tiempo entre un nivel de Mezcla y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.