



**Facultad de Construcciones.  
Departamento de Ingeniería Civil.**

## **Trabajo de Diploma**

**Título: Evaluación de combinaciones de aditivos  
(MEF + SP) para la fabricación de hormigones de  
consistencia plástica en la ECOT “Cayo Santa  
María” de Villa Clara.**

**Autor: Yoandrys Brooks Brossard**

**Tutores: Ing. María Betania Díaz García**

**Dr. Ing. Yosvany Díaz Cárdenas**

Santa Clara 2014

“Año 56 de la Revolución”

# *Pensamiento*

*Si supiéramos los que estamos haciendo, entonces  
no se llamaría investigación, ¿Verdad?*

*Albert Einstein.*

# *Dedicatoria*

*A mi hermana por ser mi luz todos estos años.*

*A mi madre, principal responsable de que hoy  
esté cumpliendo mi sueño, que más que mío, es  
suyo también.*

# *Agradecimientos*

*Primeramente ante todo le doy todos mis agradecimientos a nuestro señor por no abandonar nunca ni en los más difíciles.*

*A mis padres y hermanos por brindar todo su apoyo y ternura incondicional para que esto fuera posible.*

*A mi esposa por su incondicional apoyo y amor.*

*A mi tío Juan Antonio Brossard por acompañarme a lo largo de la carrera.*

*A mis tutores Dr. Ing. Yosvany Díaz Cárdenas e Ing. María Betania por apoyarme para lograr mi sueño.*

*A Artiles y Julio por su apoyo en los laboratorios de la ECOT.*

*A mis compañeros de aula y de facultad con los que conviví durante estos bellos 6 años.*

*A Omar y Velázquez por guiarme en todo mi camino como ingeniero y a todas las personas que de una forma u otra me ayudaron*

*Muchas Gracias*

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación consiste en evaluar el efecto que causan las combinaciones del bioproducto MEF-32 (del Instituto del Finlay) con un aditivo comercial como el Dynamon SX-32, en las propiedades físicas mecánicas del hormigón en estado fresco y endurecido, para evaluar el uso de aditivos nacionales. Se realizó un estudio de los antecedentes del tema. Primeramente se fabricaron 7 muestras, 2 patrones y 5 combinaciones de aditivos, el patrón ME-1 con el MEF y la ME-2 con el SX-32. Se realizaron los ensayos de asentamiento en el Cono de Abrams, resistencia a compresión y adsorción por capilaridad, para poder determinar en cuales porcentos del MEF-32 y SX-32 logra alcanzar el hormigón sus mejores propiedades físicas mecánicas. Los mejores resultados de los ensayos realizados se obtuvieron de la muestra patrón ME-2, logrando alcanzar valores de un hormigón de alta calidad. Los mejores resultados de los ensayos a las combinaciones empleadas se alcanzaron en las proporciones de aditivos MEF (3%) y SX-32 (0.6%), cumpliendo con las especificaciones del CITED, pero estando por debajo de los valores de la muestra ME-2. Con los resultados obtenidos de la muestra ME-7 se decidió hacer una prueba industrial en un muro estructural de los bungalows del Proyecto de Laguna del Este 2 de Cayo Santa María, observándose buenos resultados, como la mejora de la textura del hormigón, la fluidez de la mezcla entre las armaduras de aceros, gran retenedor de agua y evita la segregación, manteniendo su consistencia en el tiempo sin necesidad de añadirle agua.

## ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the effect of causing byproduct combinations MEF-32 (Finlay Institute) with a commercial additive as Dynamon SX-32, the mechanical physical properties of concrete in fresh and hardened, to evaluate the use of national additives. A study of the background of the topic was made. First 7 samples, 2 patterns, and 5 combinations of additives, the ME-1 pattern with MEF and ME-2 with the SX-32 is manufactured. Assays settlement in the Abrams cone, compressive strength and capillary adsorption, were performed to determine which percentages of MEF-32 and SX-32 achieves the best mechanical concrete physical properties. The best results of the tests performed were obtained from the standard sample ME-2, managing to reach values of a high quality concrete. The best results of the tests used combinations were achieved in the proportions of additives MEF (3%) and SX-32 (0.6%), meeting the specifications CITED but still below the values of the sample ME- two. With the results of the ME-7 sample was decided to make an industrial test a structural wall of the bungalows Project Laguna del Este 2 of Cayo Santa María, showing good results, such as improving the texture of the concrete, fluidity the mix between armor steels, great water retainer and prevents segregation, maintaining consistency in time without adding water.

## ÍNDICE

<i>Pensamiento</i> .....	ii
<i>Dedicatoria</i> .....	iii
<i>Agradecimientos</i> .....	iv
RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	vi
INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo I. Estado del arte de los bioplastificantes en la construcción de hormigones. ....	6
1.1 Reseña histórica. ....	6
1.2 Aditivo. Definición.....	7
1.2.1 Clasificación de los aditivos.....	7
1.2.2. Disposiciones de la Norma Cubana.....	10
1.3 Aditivo bioplastificante. Definición. ....	13
1.3.1 Reseña histórica de la tecnología de Microorganismos Eficientes (ME). .	13
1.3.2 Actualidad de la tecnología de Microorganismos Eficientes (ME). ....	14
1.3.3 Origen del aditivo biotecnológico, microorganismos eficientes en Cuba ..	15
1.3.4 Campo de aplicación de la tecnología ME en la construcción .....	15
1.4 Reología del hormigón .....	16
1.4.1 Definición.....	16
1.4.2 Diferentes modelos reológicos aplicables al estudio de los morteros y hormigones.....	17
1.4.2.1 Modelo de Bingham .....	17

1.5 Reología de los morteros y hormigones hidráulicos en sus estados frescos.	18
1.5.1 Reología en hormigón .....	18
1.5.2 Laborabilidad del hormigón fresco.....	19
1.5.3 Características a tener en cuenta en la reología del hormigón fresco ..	19
1.5.3.1 La laborabilidad.....	19
1.5.3.2 Consistencia del hormigón fresco. ....	20
1.5.3.3 Fraguado del hormigón fresco. ....	20
1.5.3.4 Temperatura del hormigón fresco. ....	21
1.5.4 Factores que modifican el comportamiento reológico de los hormigones frescos.....	22
1.6 Situación actual de los aditivos utilizados en el Cayo Santa María, Villa Clara, Cuba. ....	24
Conclusiones parciales del capítulo. ....	26
Capítulo 2- Materiales y métodos empleados para evaluar la influencia de las combinaciones del bioproductos (MEF) y el Superplastificante Dynamon SX-32.	28
2.1 Introducción.....	28
2.2. Materiales y métodos. ....	28
2.2.1. Materias primas utilizadas en la elaboración de las mezclas. ....	28
2.2.2. Caracterización de las materias primas utilizadas. ....	28
2.2.2.4. Bioproducto MEF .....	33
2.2.2.5. Características técnicas del Dynamon SX 32 (MAPEI).....	34
2.3. Descripción del programa experimental.....	35
2.3.1 Primera etapa del trabajo experimental.....	35
2.3.2 Preparación de las mezclas.....	37



3.3.1	Resultados de los Ensayos físico mecánicos realizados .....	61
3.4.	Conclusiones parciales .....	63
	Conclusiones generales .....	65
	Recomendaciones .....	65
	Bibliografía .....	66

## INTRODUCCIÓN

Con el creciente desarrollo tecnológico y los cambios climáticos la preocupación por los efectos que producen estos en los hormigones y nuestras vidas diarias es cada vez mayor, por esta causa es de vital importancia la obtención de una mezcla de hormigón que cumpla con las exigencia a la que está sometido hoy en día, debido a esto cada vez se hace más imprescindible el uso de los aditivos químicos del cemento en la industria de la construcciones, en el mundo actual a nivel internacional existen países que buscan nuevas alternativa para el desarrollo de la rama de la construcción, algunos se han visto imposibilitado al acceso de las materias primas, de equipos o industrias para la elaboración de los diferentes materiales y otros buscan en el mercado productos que les permita obtener una producción de calidad donde no se afecten las propiedades ni la disponibilidad que los hormigones requieren para ser utilizados en diferentes tipos de edificaciones y que a la ves propicie un ahorro económico considerable.

En el mercado mundial podemos encontrar productos como los aditivos, incluso de última generación, capaces de brindarle a las mezclas de hormigón propiedades de gran importancia, pero los precios son prácticamente inalcanzable para países de bajo recursos, países del primer mundo tienen monopolizado el mercado mundial de aditivos químicos del cemento con más del 90% por sus altos precios firmas como ZIKA (Suiza) CHYSO (Francia) SASF (Alemania) y MAPEI (Italia) son los principales fabricantes de tan valioso productos para el sector de la construcción en el mundo actual.

En la actualidad el Instituto Tecnológico “Carlos J. Finlay” está trabajando en conjunto con el Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM), y el Departamento de la Facultad de Construcciones de Ingeniería Civil en la Universidad Central de las Villas (UCLV). Para evaluar uno de sus productos él (MEF- Microorganismo Eficientes del Finlay) en la industria de la construcción. Donde se ha creado una línea de investigación, para evaluar la utilización de los EM en la fabricación de diferentes tipos de hormigones y

morteros, evaluando su capacidad de mejorar las propiedades de los hormigones en estado fresco y endurecido. Es de vital importancia la obtención de un aditivo de producción nacional como este que se encuentra en estudio por la fácil obtención de las materias primas para su composición, ayudando esto al ahorro considerable de divisas.

**Problema Científico:**

¿Cómo influye el uso las combinaciones de aditivos elaborados a partir del bioproducto MEF y un aditivo comercial en las propiedades reológicas de los hormigones fabricados en la planta, ECOT Cayo Santa María?

**Hipótesis:**

En la medida que se utilicen las combinaciones de aditivos elaborados a partir de la combinación de los bioproductos MEF y un aditivo comercial se podrá mejorar las propiedades reológicas de los hormigones fabricados en la planta, ECOT Cayo Santa María

**Objetivo General:**

Evaluar la influencia de las combinaciones de aditivos elaborados a partir, del bioproducto MEF-32 y un aditivo comercial como el Dynamon SX-32 sobre las propiedades reológicas y físico-mecánicas de los hormigones de consistencia plástica, utilizados en la ECOT Cayo Santa María.

**Objetivos Específicos:**

1. Examinar los antecedentes teóricos que fundamenta el estudio y empleo potencial de las combinaciones de aditivos en la producción de hormigones.
2. Evaluar los efectos de las combinaciones de aditivos (MEF-32+Dynamon SX-32) en las propiedades reológicas y físico – mecánicas de los hormigones de consistencia plástica producidos en la planta de la ECOT Cayo Santa María.
3. Evaluar la influencia de las combinaciones de aditivos (MEF-32+Dynamon SX-32) mediante un estudio de caso.

**Tareas Científicas:**

1. Estudiar los antecedentes bibliográficos publicados sobre aditivos para el cemento, reología y comportamiento en hormigones con aditivos plastificantes y la influencia de los mismos en sus propiedades físico-mecánicas.
2. Caracterización de los materiales a utilizar en la elaboración de las mezclas y descripción de los ensayos realizados.
3. Evaluar la influencia de diferentes de combinaciones de aditivos (MEF-32+Dynamon SX-32) en las propiedades reológicas de los hormigones de consistencia plástica.
4. Evaluar el comportamiento de las combinaciones de aditivos (MEF-32+Dynamon SX-32) en la reducción del contenido de agua de amasado en mezclas sin afectar la fluidez y colocación.
5. Comparar los resultados del comportamiento reológico de los hormigones en estado fresco teniendo en cuenta los aditivos utilizados MEF-32 y Dynamon SX-32.
6. Realizar ensayos para evaluar propiedades físico-mecánicas de las mezclas de hormigones.

**Novedad Científica:**

Se demuestra que el uso de las combinaciones de aditivos MEF 32 y Dynamon SX 32, proporciona una influencia positiva en las mezclas de hormigón, al mejorar la viscosidad del hormigón, lo que facilita un mejor flujo del hormigón a través de las armaduras, lo que permite obtener mezclas con excelente calidad y coherencia.

**Aporte Práctico:**

1. Se fundamenta desde el punto vista práctico el empleo del aditivo MEF 32 combinado con un aditivo comercial Dynamon SX 32 en la disminución de los costos de aditivos comerciales utilizados en hormigones, partiendo de la utilización y empleo del aditivo orgánico de producción nacional.

2. Se potencia el uso del aditivo MEF 32 combinado con un aditivo comercial Dynamon SX 32 para corregir el comportamiento físico-mecánico y reológico en hormigones, mediante su comparación con los aditivos comerciales.

**Aporte Metodológico:**

Se presenta un procedimiento que permite la utilización del aditivo MEF 32 combinado con un aditivo comercial Dynamon SX 32, lo cual constituye una valiosa información para la fabricación de hormigones de consistencia plástica.

**Estructura de los Capítulos:**

Capítulo I. Estado del arte de los bioplastificantes en la construcción de hormigones.

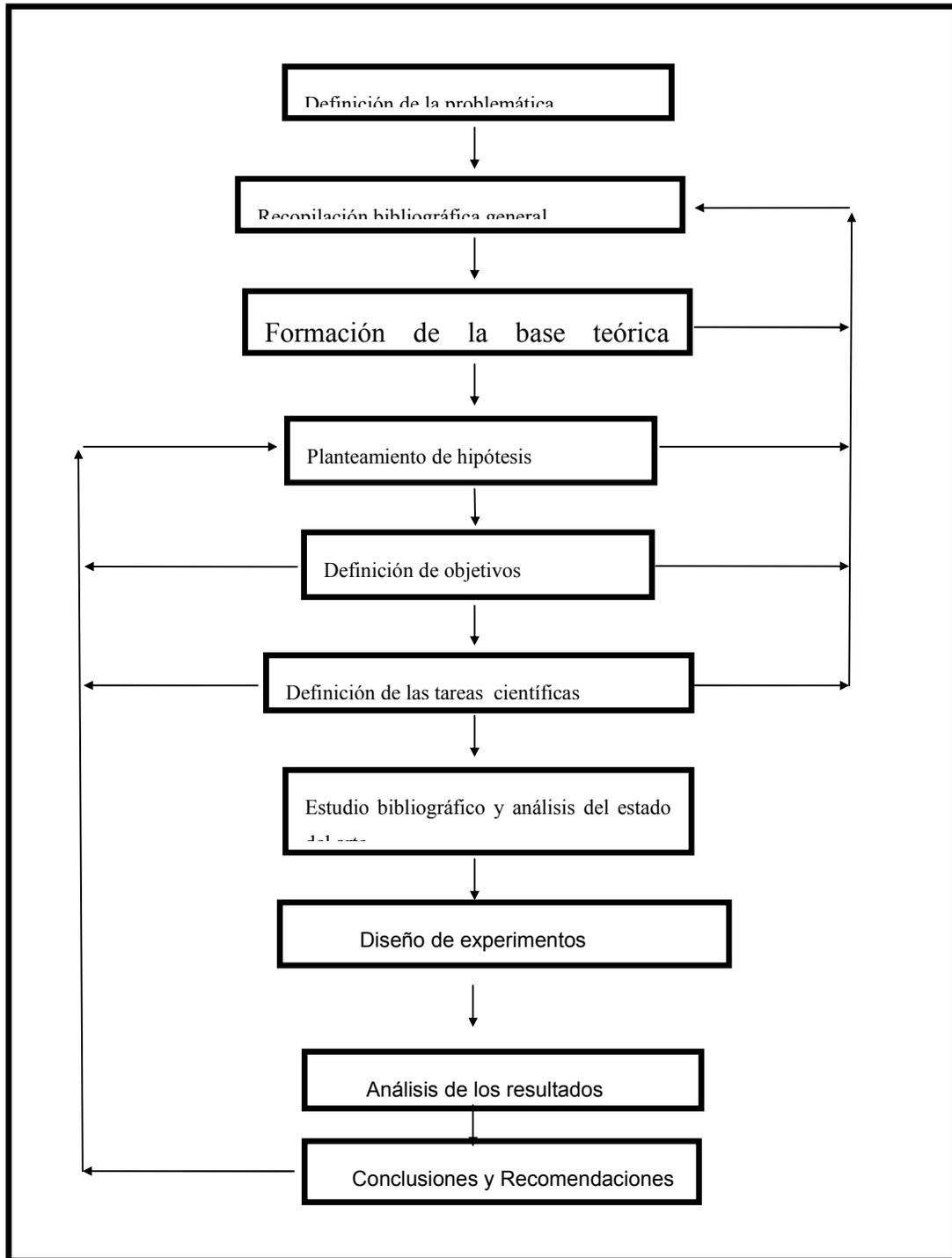
- Se realizará un estudio teórico sobre los conceptos básicos, los antecedentes de mezclas de hormigones con bioplastificantes y la experiencia de la misma.

Capítulo II. Materiales y experimentos que se realizaron en el diseño de mezclas de hormigón con bioproductos.

- Se realizará una descripción de los materiales a utilizar y se exponen los métodos y procedimientos que se emplean en la elaboración de hormigones con el bioplastificante de producción nacional MEF 32.

Capítulo III. Análisis y resultados de los experimentos realizados en la investigación.

- Se presentarán los resultados de la investigación para realizar el análisis de los mismos y su interpretación.

**Metodología de la Investigación:**

## **Capítulo I. Estado del arte de los bioplastificantes en la construcción de hormigones.**

### **1.1 Reseña histórica.**

Los antecedentes más remotos de los aditivos químicos se encuentran en los concretos romanos, a los cuales se incorporaba sangre y clara de huevo. La fabricación del cemento portland alrededor de 1850 y el desarrollo del concreto armado, llevó a regular el fraguado con el cloruro de calcio, patentado en 1885. Al inicio del siglo se efectuaron sin éxito comercial estudios sobre diferentes aditivos. En el siglo pasado, tiempo después que Joseph Aspdin patentó en Inglaterra el 21 de octubre de 1824, un producto que llamó «Cemento Portland». La primera adición de cloruro de calcio como aditivo a los hormigones fue registrada en 1873, obteniéndose su patente en 1885. Al mismo tiempo que los aceleradores, los primeros aditivos utilizados fueron hidrófugos. Igualmente, a principios de siglo se ensayó la incorporación de silicato de sodio y de diversos jabones para mejorar la impermeabilidad. En ese entonces, se comenzaron a añadir polvos finos para colorear el hormigón. La acción retardadora del azúcar también había sido ya observada. (Civile, 2008)

El primer antecedente de los aditivos químicos modernos se encuentran en el empleo ocasional del sulfonato naftaleno formaldehído, que en 1930 fue utilizado para actuar como dispersante en hormigones, con adiciones de negro de humo, destinados a carriles de pavimentos que por su coloración pudieran llamar la atención de los conductores de vehículos. (Civile, 2008, Margolles, 2010)

La introducción de los aditivos químicos en el mercado de la construcción, se efectúa desde la década de los cincuenta de manera lenta pero progresiva. La actividad de los aditivos fue presentada inicialmente como algo misterioso y los productores aparecían como modernos alquimistas. Los vendedores no conocían el material de base del producto que ofrecían. Sin embargo los procesos eran simples, utilizando subproductos de la industria petrolera o subproductos

industriales, como los lignosulfonatos brutos sin mayor eliminación de azúcares, provenientes de la fabricación del papel por vía química. (Margolles, 2010)

En la década de los 60 se inició el uso masivo de los aditivos plastificantes, debido a su capacidad para reducir el agua de amasado y por lo tanto para obtener hormigones más resistentes, económicos y durables.

En Europa los primeros conjuntos de normas datan de 1958 en España y 1963 en Inglaterra. En 1962, ASTM extendió la normativa de clasificación a otros tipos de aditivos.

## **1.2 Aditivo. Definición**

Según la (NC228-1, 2005). Aditivos para hormigones, morteros y pastas, Parte 1: Aditivos para hormigón-Requisitos. Los aditivos se definen como sustancias químicas que añadidas al hormigón, mortero o pasta, antes o durante el amasado, en una proporción menor del 5% del peso del cemento, modificar las propiedades del hormigón en estado fresco y/o endurecido para el mejor comportamiento en las condiciones particulares de servicio.

Estos aditivos presentan un componente activo que puede ser una sustancia de naturaleza orgánica o inorgánica, que provoca por acción física y/o físico – química modificaciones de las propiedades de las mezclas. Los efectos secundarios que pueda provocar su uso deben ser indicados por el fabricante (Margolles, 2010).

### **1.2.1 Clasificación de los aditivos**

Es común que, en lugar de usar un cemento especial para atender un caso particular, a este se le pueden cambiar algunas propiedades agregándole un elemento llamado aditivo. Un aditivo es un material diferente a los normales en la composición del concreto, es decir es un material que se agrega inmediatamente antes , después o durante la realización de la mezcla con el propósito de mejorar

las propiedades del concreto, tales como resistencia, manejabilidad, fraguado, durabilidad.

En la actualidad, muchos de estos productos existen en el mercado, y los hay en estado líquido y sólido, en polvo y pasta. Aunque sus efectos están descritos por los fabricantes, cada uno de ellos deberá verificarse cuidadosamente antes de usarse el producto, pues sus cualidades están aún por definirse.

**Según la Norma Norteamericana (ASTM C 494-92, 1992) Standard Specification for Chemicals Admixtures for Concrete** los aditivos se clasifican en.

- Tipo A: Plastificantes (reductores del agua de amasado).
- Tipo B: Retardadores del fraguado.
- Tipo C: Aceleradores del fraguado.
- Tipo D: Plastificantes – Retardadores del fraguado.
- Tipo E: Plastificantes – Aceleradores del fraguado.
- Tipo F: Súper plastificantes (reductores del agua de amasado de alto rango).
- Tipo G: Súper plastificantes – Retardadores del fraguado.

La Norma de la Comunidad Europea EN 934(23) divide los aditivos químicos para el hormigón en:

- Aditivo plastificante (reductor del agua de amasado).
- Aditivo súper plastificante (reductor del agua de amasado de alto rango).
- Aditivo retenedor de agua.
- Aditivo incorporador (oclusor) de aire.
- Aditivo acelerador del fraguado.
- Aditivo acelerador del endurecimiento.
- Aditivo retardador del fraguado.
- Aditivo resistente al agua (cohesionante).
- Aditivo multifuncional.

Los aditivos más comunes empleados en la actualidad pueden clasificarse de la siguiente manera:

**Inclusores de aire:** Es un tipo de aditivo que al agregarse a la mezcla de concreto, produce un incremento en su contenido de aire provocando, por una parte, el aumento en la trabajabilidad y en la resistencia al congelamiento y, por otra, la reducción en el sangrado y en la segregación.

**Fluidizantes:** Estos aditivos producen un aumento en la fluidez de la mezcla, o bien, permiten reducir el agua requerida para obtener una mezcla de consistencia determinada, lo que resulta en un aumento de la trabajabilidad, mientras se mantiene el mismo revenimiento. Además, pueden provocar aumentos en la resistencia tanto al congelamiento como a los sulfatos y mejoran la adherencia.

**Retardantes del fraguado:** Son aditivos que retardan el tiempo de fraguado inicial en las mezclas y, por lo tanto, afectan su resistencia a edades tempranas. Estos pueden disminuir la resistencia inicial. Se recomienda para climas cálidos, grandes volúmenes o tiempos largos de transportación.

**Acelerantes de la resistencia:** Estos producen, como su nombre lo indica, un adelanto en el tiempo de fraguado inicial mediante la aceleración de la resistencia a edades tempranas. Se recomienda su uso en bajas temperaturas para adelantar descimbrados. Además, pueden disminuir la resistencia final.

**Estabilizadores de volumen:** Producen una expansión controlada que compensa la contracción de la mezcla durante el fraguado y después la de este. Se recomienda su empleo en bases de apoyo de maquinaria, rellenos y resanes.

**Endurecedores:** Son aditivos que aumentan la resistencia al desgaste originado por efectos de impacto y vibraciones. Reducen la formación de polvo.

### **1.2.2. Disposiciones de la Norma Cubana**

En la (NC228-1, 2005). Aditivos para hormigones, morteros y pastas, Parte 1: Aditivos para hormigón-Requisitos. Se exponen los requisitos que deben cumplir los aditivos que serán incorporados a hormigones o morteros. También en esta norma se exponen otros requisitos para el caso particular de los Plastificantes/Reductores de agua. A continuación se exponen las disposiciones de esta norma en cuanto a su uso.

Un aditivo sólo podrá ser utilizado en la producción de hormigón si cumple con los requerimientos de la (NC228-1, 2005) y si se conocen previamente sus efectos sobre el mismo, tal como está indicado en el Apartado 6.1.5 de dicha norma.

La cantidad total de aditivos químicos, en caso de ser utilizados, no excederá la dosis máxima recomendada por el fabricante del aditivo, ni tampoco la cantidad de 50 g de aditivo (tal y como se suministra) por kg de cemento, a menos que se conozca la influencia que una mayor dosificación pueda tener sobre la durabilidad y el desempeño del hormigón.

El uso de aditivos en cantidades inferiores a los 2g/kg de cemento, se permite sólo si los mismos se dispersan en parte del agua de amasado del hormigón.

Si la cantidad total de aditivo líquido excede los 3 L/m<sup>3</sup> de hormigón, su contenido de agua deberá ser tenido en cuenta cuando se calcula la relación agua/cemento del hormigón.

Cuando se utilicen varios aditivos, deberá comprobarse su compatibilidad en los ensayos iniciales. Los hormigones con consistencia fluida o muy fluida deberán ser elaborados con aditivos reductores de agua de alto rango (superplastificante)

En la tabla 1 se muestran los beneficios y efectos obtenidos por el uso de los diferentes aditivos en el hormigón.

**Tabla 1.1. Beneficios y efectos obtenidos por el uso de los diferentes aditivos en el hormigón.**

Aditivo	Acción principal	Beneficio principal	Posible efecto colateral
<p>Reductores de agua</p> <p>Retardantes</p>	<p>Absorbimiento en la superficie de cemento y la dispersión de los gránulos de cemento</p> <p>Retardo en la hidratación inicial del cemento</p>	<p>Reducción de la Proporción A / C y aumento de la laborabilidad</p> <p>Conservación de la laborabilidad en clima cálido</p>	<p>Pérdida de laborabilidad</p> <p>Reducción de la resistencia mecánica inicial</p>
<p>Acelerantes</p>	<p>Aceleración en la hidratación inicial del cemento.</p>	<p>Reducción del tiempo de fraguado del concreto</p>	<p>Aumento de la pérdida de laborabilidad y reducción de la resistencia mecánica final</p>
<p>Anti -heladas</p>	<p>Reducir el punto de congelación del agua de la mezcla</p>	<p>Colocación del concreto en climas muy fríos, incluso por debajo de 0 grados</p>	<p>Corrosión del acero y reducción de la resistencia mecánica final</p>

		centígrados	
Aireantes	Formación de micro burbujas de aire	Aumento de resistencia a la acción hielo deshielo	Reducción de la resistencia mecánica
Inhibidores de la reacción álcali agregado	Reducción de la reacción álcali agregado	Se pueden utilizar agregados reactivos	
Inhibidores de corrosión	Prevenir la corrosión de la armadura de acero	Protección del acero de la armadura	Muy costoso y aún en estudio
Auxiliar de bombeo	Mejoramiento de la Plasticidad	Bombeo del Hormigón	Alta relación costo/ producción.
Hidrorepelente	Acción hidrofobizante	Reduce la transmisión de la humedad por acción capilar.	Reducción de la resistencia mecánica
Colorante	Pigmentación de la matriz cementica	Modifica el color normal del Mortero.	Pérdida de la brillantez del color con el tiempo

### **1.3 Aditivo bioplastificante. Definición.**

Los aditivos bioplastificantes para el hormigón son productos biológicos conocidos como microorganismos efectivos (ME), incluyen en su composición: bacterias de ácido láctico, melazas, suero de leche o leche, desperdicios de cereales como arroz, trigo, también ramas, raíces, hojas caídas de las plantas, este producto tiene como función al igual que todos los aditivos plastificantes reducir el agua en la mezcla y mejorar las características y propiedades de las pastas, morteros y hormigones ya sea en su estado fresco o endurecido.

Microorganismos Eficaces (ME) es una mezcla de grupos de organismos que tienen una acción revitalizante en seres humanos, animales, y el ambiente natural (Higa, 1995) y también ha sido descrito como una multi- cultura de coexistencia anaeróbica y microorganismos beneficiosos aeróbicos (Trading, 2002). Las especies principales involucradas en EM incluyen:

- Bacterias de ácido láctico - *Lactobacillus plantarum*, *L. casei*, *Streptococcus lactis*
- Bacteria fotosintéticas – *Rhodopseudomonas palustris*, *Rhodobacter spaeroides*
- Levaduras - *Saccharomyces cerevisiae*, *Cándida utilis*
- Hongos Fermentados - *Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis* (Diver, 2001)

#### **1.3.1 Reseña histórica de la tecnología de Microorganismos Eficaces (ME).**

En 1982, Teruo Higa, profesor de Agricultura en la Universidad de Ryukus en Okinawa, Japón, presenta al mundo un progreso en el campo de microbiología. Después de más de 20 años de investigar microorganismos beneficiosos para el uso en agricultura, Dr. Higa descubre un grupo específico de microorganismos beneficiosos con antioxidantes fuertes y propiedades anti- putrefactivas. En otras palabras, microorganismos con una habilidad asombrosa de restituir y mantener.

Nombra este grupo como ME, una abreviatura para microorganismos eficaces.(Ramachandran, 2001, Yatim, 2002) (Hussain T, 2000)

El proceso de expansión de la tecnología ME empieza en 1989 con el comienzo de la 1st conferencia internacional Kyusei de cultivo de naturaleza en Tailandia, donde obtiene validez científica. (Hussain T, 2000)

### **1.3.2 Actualidad de la tecnología de Microorganismos Eficientes (ME).**

Los microorganismos eficientes son una de las tecnologías microbianas más populares que están usando mundialmente y sus productos han sido puestos en venta desde 1983 en Japón. Las aplicaciones de ME son utilizados en los cultivos, ganados, la limpieza a fondo ambiental (canales navegables contaminados, lagos y lagunas), e industrias de salud.(Micro-organisms.co.uk)

Los ME son producidos en más de 40 países en todos los continentes. La tecnología es por lo tanto, segura, eficaz y con respecto al medio ambiente amigable, y es asequible para los agricultores en países tanto desarrollados como en vías del desarrollo. Sobre esta base, la tecnología es usada o investigada en países extendidos desde Austria a Zimbabue

En diversos países se ha estudiado la aplicación de ME en mezclas de hormigón. Los resultados obtenidos revelan que son capaces de cambiar algunas propiedades del mismo. A continuación se muestran algunos de estos resultados: (Yatim, 2002)

- Aumentan la resistencia a compresión después de 3 y 7 días, en comparación con los hormigones ordinarios.
- Reduce el efecto de carbonatación en el hormigón y forma un ambiente neutro dentro del hormigón.
- Mejoran la resistencia de morteros de cemento, resultando que con una concentración determinada de microorganismos anaerobios se podría aumentar la resistencia a compresión.
- Contribuyen al aumento de la tensión superficial

Los ME utilizados como bioplastificante en la construcción son inicialmente producidos en Japón por el profesor Higa, eventualmente Cuba realiza un estudio en este tema para producir en un futuro este tipo de aditivos plastificantes para mejorar las propiedades de los hormigones frescos y endurecidos.

### **1.3.3 Origen del aditivo biotecnológico, microorganismos eficientes en Cuba**

Desde que MAOCO (Movimiento de Agricultura Orgánica Costarricense), introdujo el EM en Cuba se ha estado estudiando con fines de lograr un producto lo más eficiente posible que logre mejores resultados. Uno de los centros que se ha dedicado a su estudio e implementación en el país, es la Estación Experimental Indio Hatuey, en la provincia de Matanzas. Centro que ha elaborado diferentes productos basados en la tecnología EM, y actualmente cuentan con un producto registrado como IH-plus, utilizado para fines agrícolas. (Abreu, 2011)

Otro centro que estudia los ME, ha sido el Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM), en conjunto con el Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Construcciones en la Universidad Central de las Villas (UCLV). Donde se ha creado una línea de investigación, para evaluar la utilización de los EM en la fabricación de diferentes tipos de hormigones y morteros, evaluando su capacidad de mejorar las propiedades de los hormigones en estado frescos y endurecido. En la actualidad el Instituto Tecnológico “Carlos J. Finlay” está trabajando en conjunto con el (CIDEM) para evaluar uno de sus productos él (MEF) en la industria de construcción.

### **1.3.4 Campo de aplicación de la tecnología ME en la construcción**

En la búsqueda de soluciones al deterioro de las estructuras de hormigón en Japón (Higa, 1995) se lleva a cabo una investigación y se desarrolló un hormigón con microorganismos eficientes. Estos autores encontraron que la trabajabilidad del hormigón fresco se mejoró y la resistencia inicial se incrementó, entre otras propiedades que se mejoraron. Estos resultados condujeron al uso del producto

EM•1® en la industria de la construcción donde la durabilidad de las construcciones se incrementaron y los daños causados por adhesivos y solventes orgánicos se redujeron.

El uso de microorganismos en la industria de la construcción no solo incluye a los microorganismos eficientes (mezclas de microorganismos) sino también a especies seleccionadas por mejorar algunas de las propiedades del hormigón. Por ejemplo: remediación del hormigón con la adición de microorganismos (Ramachandran, 2001), uso de microorganismos para mejorar la resistencia de morteros (Ghosh P., 2009).

## **1.4 Reología del hormigón**

### **1.4.1 Definición**

El término reología significa "el estudio de la deformación y el flujo de la materia". Una definición más moderna expresa que la reología es la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir. (Wales and Sanger, 2001)

La reología se aplica al estudio del hormigón en estado fresco. El hormigón tiene dos fases. La primera es poco después de mezclado, donde se comporta como un fluido de fácil colocación en los moldes y la otra es cuando el material se endurece. Existe una relación fuerte entre las propiedades de ambas fases, ya que las dos tienen una influencia en la actuación global del hormigón como material. La reología del hormigón es la herramienta lógica para caracterizar y describir el flujo conducta de una mezcla, mientras esta se espesa y la pérdida de laborabilidad, estabilidad y compactibilidad, en pastas, morteros y hormigones. (Wallevik and Wallevik, 2011)

### **1.4.2 Diferentes modelos reológicos aplicables al estudio de los morteros y hormigones.**

Los fluidos, según su estructura, se pueden dividir en dos tipos: fluidos de estructura simple (fluidos Newtonianos) o fluidos con estructuras más complejas (fluidos no-Newtonianos). (Bermejo, 2009)

Los fluidos con estructura simple como es el caso del agua se pueden caracterizar según la ley de Newton. (Bermejo, 2009)

Los fluidos con estructuras más complejas como es el caso del hormigón presentan propiedades elásticas y viscosas. La mayoría de estos casos se pueden caracterizar según el modelo de Bingham. Este modelo es el más usado para la caracterización reológica de los morteros y hormigones. Básicamente el modelo está caracterizado por la tensión umbral y la viscosidad. La viscosidad está relacionada con la estabilidad y la resistencia a segregarse del hormigón. (Bermejo, 2009)

Los modelos reológicos son una relación matemática que nos permite caracterizar la naturaleza reológicas de un fluido, estudiando la deformación dada a una tasa de corte específica. (Bedoya, 2009)

Modelos reológicos:

1. Modelo Plástico de Bingham
2. Ley de Potencia
3. Modelo de Casson
4. Modelo de Herschel-Bulkley
5. Modelo de Robertson-Stiff

#### **1.4.2.1 Modelo de Bingham**

El comportamiento reológico de los hormigones puede ser considerado como no Newtoniano y puede ser modelado por la ecuación de Bingham.

EL modelo de Bingham describe el comportamiento de fluencia de los morteros y hormigones y de otros materiales como se representa en la siguiente ecuación, como una relación lineal entre el grado de cizallamiento  $\gamma$  y la tensión de corte  $\tau$ :

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (\text{ACI-116, 2000})$$

Siendo  $\eta$  = viscosidad plástica

$\tau_0$  = límite de fluencia

$\tau$  = tensión de flujo.

$\dot{\gamma}$  = velocidad de deformación transversal

## **1.5 Reología de los morteros y hormigones hidráulicos en sus estados frescos.**

### **1.5.1 Reología en hormigón**

Los hormigones son materiales compuestos por un líquido viscoso con partículas sólidas en suspensión que en escala macroscópica puede fluir como un líquido (Ferraris, 1999).

El período del hormigón fresco inicia desde que ocurre la mezcla de los materiales (áridos finos y gruesos, cemento, agua y aditivos) y se forma una masa que posibilita su fácil colocación, compactación, transporte. El tiempo de esta etapa depende de varios factores: cantidad y tipo de cemento, relación de agua/cemento (a/c), aditivos, condiciones ambientales.

Según (Koehler, 2008) las propiedades del hormigón fresco están relacionadas con las propiedades del hormigón endurecido. Una mala colocación trae consigo irregularidades en forma de panales, que reduce la fuerza compresiva e incrementa la permeabilidad, dejando el hormigón abierto al ataque químico.

El comportamiento reológico en el hormigón fresco puede ser determinado por los ensayos del cono de Abrams, según la (NC-ISO1920-2, 2010) "Propiedades del hormigón fresco-Parte 3: Determinación de la consistencia por el método de la tabla de fluidez". Ambos experimentos permiten observar y evaluar la manera en que fluye la mezcla en su primer tiempo, pues la reología está muy vinculada con la laborabilidad del hormigón.

### **1.5.2 Laborabilidad del hormigón fresco.**

Una propiedad indispensable de toda mezcla de hormigón en estado fresco es su laborabilidad (o docilidad), siendo esta la aptitud del material para dejarse fabricar, transportar, colocar y compactar.

La docilidad del hormigón depende de dos factores fundamentales (Betancourt, 2009)

- ❖ Las condiciones de fabricación y puesta en obra.
- ❖ Características de los elementos.

Las condiciones de fabricación y puesta en obra se refieren a los medios y condiciones con que se cuenta para el amasado, trasiego, colocación, y sobre todo, para la compactación del hormigón. (Diaz, 2012 )

Las características de los elementos incluyen la configuración y dimensiones de los moldes, así como la cuantía y distribución del acero de refuerzo, los elementos esbeltos y/o con intrincada morfología requieren de una mezcla con características diferentes a la que puede usarse para el hormigonado de un elemento poco esbelto, ancho y sin complejidad morfológica. (Diaz, 2012 )

### **1.5.3 Características a tener en cuenta en la reología del hormigón fresco**

#### **1.5.3.1 La laborabilidad.**

La laborabilidad es afectada por cada componente del hormigón y por las condiciones bajo cuál está hecho. Entre los factores que influyen en las propiedades del mismo se encuentran: la cantidad de cemento; la calidad, forma, angulosidad y textura de la superficie de agregados finos y gruesos; la proporción de agregados; la cantidad de aire tomado; tipo y cantidad de puzolanas; tipos y cantidades de mezclas químicas; la temperatura del hormigón; el tiempo de mezcla y método; y el tiempo desde que el agua y el cemento hacen contacto. Estos factores interactúan con el propósito de cambiar la proporción de un componente para producir una característica específica que requiere que los otros factores sean ajustados para mantener la laborabilidad. (Scanlon, (1994)) (Bartos, (1993b), Bartos, (1992), Bartos, (1993a), Neville, (1987), Mindess, (1981).)

### **1.5.3.2 Consistencia del hormigón fresco.**

La consistencia es la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse y consiguientemente, ocupar todos los huecos del molde o encofrado. Influyen en ella distintos factores, entre ellos se encuentran (Morán, 1987)

- a) Contenido de agua.
- b) Contenido de finos.
- c) Tamaño máximo del árido grueso.
- d) Forma de las partículas de los áridos.
- e) Granulometría de los áridos.
- f) Proporciones de la mezcla.
- g) Presencia de aditivos.

La consistencia se fija antes de la puesta en obra del hormigón, analizando cual es la más idónea para la colocación según las características de los elementos y los medios de compactación disponibles.

Se trata de un parámetro fundamental en el hormigón fresco que permite evaluar indirectamente su docilidad, siendo bastante confiable para el control de la cantidad de agua de amasado. (Juez, 1997)

Su medición se realiza a través del Cono de Abrams según la (NC-ISO1920-2, 2010) “Hormigón fresco. Medición del asentamiento por cono”.

### **1.5.3.3 Fraguado del hormigón fresco.**

La pasta del hormigón se forma mezclando cemento artificial y agua debiendo embeber totalmente a los áridos. La principal cualidad de esta pasta es que fragua y endurece progresivamente, tanto al aire como bajo el agua. (Juez, 1997)

El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. 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 provocan el endurecimiento de la masa y un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas. (F., 2002)

Un procedimiento práctico es el establecido por la (NC-168, 2002 )” el cual divide al fraguado en tiempo de fraguado inicial y final a través la resistencia a la penetración del mortero, medida con un grupo de agujas de sección circular conocida (Betancourt, 2009)

Tiempo de fraguado inicial (TFI): Tiempo transcurrido desde el contacto inicial del cemento y el agua de la mezcla, hasta que la resistencia a la penetración del mortero alcance un valor de resistencia de 3,5 MPa., medido en horas y minutos.

Tiempo de fraguado final (TFF): Tiempo transcurrido desde el contacto inicial del cemento y el agua de la mezcla, hasta que la resistencia a la penetración del mortero alcance un valor de resistencia de 27,6 MPa, medido en horas y minutos.

#### **1.5.3.4 Temperatura del hormigón fresco.**

La temperatura de la mezcla de hormigón depende de muchos factores, unos condicionados por las características autógenas de la mezcla (cantidad y tipo de cemento), otros vinculados a las condiciones ambientales (temperatura de los materiales componentes, temperatura ambiente, etc.) y tipo de elemento (forma y dimensiones).

Las elevadas temperaturas que se generan en los hormigones en el período de fraguado traen consigo influencias negativas traducidas en rápidas evaporaciones del agua, pérdida de asentamiento, disminución de los tiempos de fraguado y aparición de fisuras prematuras.

Según la (NC120, 2007)”, es recomendable que la temperatura del cemento en el momento de su utilización no sobrepase los 50°C. La temperatura fresca de hormigón, determinada según los requerimientos de la (NC354, 2004 ). Determinación de la temperatura”, no debe superar los 35°C.

Hay un número de opciones para controlar la temperatura del hormigón armado, que incluye el ajuste de la temperatura de los materiales constituyentes y/o el enfriamiento de la mezcla. ([www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-rquitectura/](http://www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-rquitectura/))

La siguiente fórmula vincula el aporte de cada uno de los componentes:

$$T = 0.1 T_c + 0.6T_a + 0.3T_w$$

Dónde:

T- Temperatura del hormigón

T<sub>c</sub>-Temperatura del cemento

T<sub>a</sub> -Temperatura del árido

T<sub>w</sub>- Temperatura del agua.

Se le infiere mayor aporte a los áridos porque constituyen del 75 al 80 % del volumen del hormigón, desafortunadamente la temperatura de estos es difícil de controlar, algunas de las recomendaciones son:([www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-rquitectura/](http://www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-rquitectura/))

- Almacenaje en locales techados.
- Conservándolos húmedos con rociadores.
- El almacenamiento en depósitos pintados de blanco.
- Cuando se requiera el enfriamiento del hormigón pueden emplearse varias vías. Una manera muy efectiva es el uso de agua fría o incluso hielo finamente molido como parte del agua de amasado.([www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-rquitectura/](http://www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-rquitectura/))

#### **1.5.4 Factores que modifican el comportamiento reológico de los hormigones frescos.**

Los estudios reológicos han contribuido al mayor conocimiento de las propiedades en estado fresco de los materiales a base de cemento portland. Aunque la pasta es esencialmente agua y partículas de cemento, su comportamiento es bastante diferente a una suspensión de sólidos inertes; existen fuerzas de atracción entre

las partículas que dan lugar a la formación de flósculos, poco tiempo después del contacto con el agua se producen rápidas reacciones que dan lugar a la disolución de iones y luego comienzan a formarse productos hidratados sobre las superficies de las partículas. Estas membranas que se forman en torno a los flósculos se rompen durante el mezclado lo que justifica que el esfuerzo necesario para mover el sistema vaya cambiando en función de la velocidad de deformación (Beaupré, 1998)

Este fenómeno depende fuertemente de la energía de mezclado en especial en las pastas de cemento. En el hormigón la presencia de los agregados favorece el mecanismo de rotura de los flósculos disminuyendo el efecto del método de mezclado. Se ha indicado que ésta es una de las principales dificultades para comparar la respuesta reológica entre pastas y hormigones (Ferraris, 2003)

La mayoría de los cambios que se producen en la composición del hormigón afectan su respuesta reológica (Beaupré, 1998). En general no es posible analizar por separado muchos de los factores ya que existen interacciones entre ellos. El contenido de agua afecta en forma notoria la viscosidad plástica y la resistencia al flujo, a mayor contenido de agua ambos parámetros se reducen en forma significativa. La mayoría de los aditivos modifican los parámetros reológicos. Los reductores de agua, en especial los superfluidificantes, reducen ligeramente la viscosidad plástica pero disminuyen considerablemente la resistencia al flujo, este comportamiento se puede justificar en base a la dispersión de los flósculos y el aprovechamiento del agua atrapada entre los mismos. Los efectos son más notorios en mezclas con bajas relaciones agua /cemento. El aire incorporado reduce ambos parámetros, en general a medida que aumenta el contenido de aire los efectos sobre la viscosidad son menores (Tec., 2001)

El tipo de cemento afecta la respuesta reológicas en función de los componentes que reaccionan a mayor velocidad; entre los de mayor incidencia aparecen el contenido de sulfatos y el de  $C_3A$ . También se ha comprobado un efecto importante de las adiciones minerales y de los aditivos químicos. No es muy sencillo acotar el efecto del tipo de agregado, ya que cuando éste se modifica

también cambian parámetros como el contenido de agua o el volumen de pasta; sin embargo se ha encontrado que agregados con formas redondeadas reducen significativamente la viscosidad plástica y, en parte, la tensión umbral. (Zerbino, (2006). )

Para el mismo conjunto de materiales componentes existen otros factores que modifican la respuesta reológica, entre ellos se destacan el paso del tiempo y los cambios de temperatura. El fenómeno de pérdida de asentamiento en el tiempo es ampliamente conocido. En términos reológicos lo que ocurre es que se modifican la tensión umbral ( $\tau_0$ ) y la viscosidad plástica ( $\mu$ ); se ha notado que los cambios son más notorios en la primera(Zerbino, (2006). )

### **1.6 Situación actual de los aditivos utilizados en el Cayo Santa María, Villa Clara, Cuba.**

En la ECOT Cayo Santa María se han empleado en los últimos 12 años aditivos de diferente composición y suministradores, que en general han permitido desarrollar un hormigón de aceptable calidad, limitado por la variabilidad en la calidad y orígenes de los áridos empleados y así como las características del aditivo en uso. Los productos más empleados de la MAPEI el N-200 el N-100 RC, por su 20% de reducción de agua se clasifican como superplastificante.

Mapefluid N- 100 RC: Permite producir un hormigón con elevada fluidez y un tiempo laborable de la mezcla superior a las dos horas. Sus desventajas están en que los hormigones son más sensibles a segregarse y la terminación de los elementos se ve afectada por la abundante presencia de burbujas de aire.

Mapefluid N-200: Es un superplastificante, su uso está limitado a los prefabricados, permite le desencofre de los elementos antes de las 12h, se logra un hormigón con buena belleza estética. Su limitante de no presentar retardo está dada porque solo se dispone de 45 minutos a una hora para su colocación y exige una buena coordinación para su pronto vertido, esta desventaja es en realidad lo

que garantiza que el pronto despegue y el aumento de la productividad en los prefabricados.

La serie de los Dynamon son productos que ofrecen similares prestaciones que el N-100 Y N-200 aunque existe una mejoría en la calidad del acabado en los elementos. Al Dynamón SX-32 producto destinado a la prefabricación posea ahora un ligero retardo para facilitar un vertimiento más cómodo pero ahora los elementos necesitan más de 24 horas para su despegue creando atrasos en le ciclo de fundición.

Los policarboxilatos suministrados por la Sahe- Ruredil, son productos que garantizan un hormigón con una alta belleza estética, con menos segregación y baja sensibilidad a las deficiencias en finos de los áridos. Se emplean en un menor dosis por lo que influyen en la reducción del costo del hormigón al compararlo con los productos MAPEI. Su desventaja está en el 15% de reducción de agua lo cual incrementa la relación agua cemento.

**Tabla 1.2. Relación de aditivos para hormigones utilizados en la ECOT Cayo Santa Maria.**

<u>Aditivo</u>	Tipo	Origen	Uso	Dosis Usada	Reducción de agua
Mapefluid N-100 Rc	Superfluidificante efecto retardante	Naftaleno-sulfonados	Hormigón	1.2%	20%
Mapefluid N-200	Superfluidificante sin efecto retardante	Naftaleno-sulfonados	Prefabricado	0.8%	20%
Mapetard LV	Fluidificante ultrarretardante	Naftaleno-sulfonados	Morteros	1- 4 %	10%

Mapefluid N-10	Fluidificante para redosificar	Naftaleno-sulfonados	Retemperin g	0.3- 0.5 %	10%
Mapeplast	Incorporador de aire	Naftaleno-sulfonados	Rellenos fluidos	1.7 % (0.5Kg)	-
SAHE-B2R9	Fluidificante con efecto retardante	Policarboxilatos	Hormigón	0.7	15%
SAHE A2R9	Fluidificante sin efecto retardante	Policarboxilatos	Prefabricado	0.95%	15%
Dynamón SRA-20	Superfluidificante efecto retardante	Policarboxilatos	Hormigón	0.95%	20%

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

1. En la actualidad, en Cuba, el uso de aditivos para hormigones presenta como principal problemática los elevados costos de los mismos, por lo que se hace necesario buscar alternativas que sean más sostenibles desde el punto de vista económico.
2. Las soluciones potenciales para mejorar el perfil económico y ambiental en la industria de los aditivos, deben estar encaminada a lograr mejoras, a partir del uso de tecnologías sostenibles como son los EM, potenciando el uso de materias primas de origen nacional.
3. El uso de aditivos de origen biológico, puede representar una alternativa viable, para alcanzar una mejora en la producción de hormigón, en las condiciones cubanas. Estos no exigen para su implementación, grandes cambios tecnológicos, lo cual no implicaría aumentos significativos en los costos de producción.

4. Las propiedades de los morteros y hormigones frescos son mejoradas por el uso de aditivos químicos y orgánicos permitiendo trabajabilidad y cohesividad en la mezcla, logrando un fácil manejo y colocación.
5. El uso de los microorganismos eficientes como aditivo puede ser una alternativa para los países de bajos recursos debido a su sencilla elaboración y fácil obtención de las materias primas.

### **Capítulo 2- Materiales y métodos empleados para evaluar la influencia de las combinaciones del bioproductos (MEF) y el Superplastificante Dynamon SX-32.**

#### **2.1 Introducción**

En este capítulo se realiza una descripción y evaluación detallada de los materiales y métodos experimentales empleados en el estudio de la influencia de la combinación del plastificante MEF producido en el Instituto Finlay y el superplastificante dynamon SX-32 en las propiedades reológicas y mecánicas de hormigones producidos a escala de laboratorio e industrial.

La investigación se realizó en la Empresa Constructora para el Turismo (ECOT) en Cayo Santa María, en el año 2014, de conjunto con el Centro de Investigación y Desarrollo de Estructura y Materiales (CIDEN), de la Universidad de las Villas.

#### **2.2. Materiales y métodos.**

##### **2.2.1. Materias primas utilizadas en la elaboración de las mezclas.**

En esta investigación se emplearon cinco materias primas principales, el cemento; Portland 350, proveniente de la fábrica “Carlos Marx” en Cienfuegos el mismo fue caracterizado atendiendo a sus propiedades y composición química. El bioproducto fue adquirido en el instituto tecnológico “Carlos J. Finlay” en la provincia de La Habana el cual fue caracterizado desde el punto de vista microbiológico y químico. El superplastificante Dynamon SX-32 procedente de la firma Italiana (MAPEI), mientras que los áridos finos y gruesos proceden de la cantera Mariano Pérez “El Purio”, ubicada en la provincia Villa Clara.

##### **2.2.2. Caracterización de las materias primas utilizadas.**

##### **Cemento de la fábrica Karl Marx**

## CAPITULO II

El cemento utilizado en la fabricación de las mezclas de hormigón fue Portland 350, de la fábrica de cemento Karl Marx, provincia de Cienfuegos. Este cemento Portland posee las siguientes propiedades:

**Tabla 2.1. Propiedades del cemento.**

Cemento P-350 (Cienfuegos)			
Ensayo	Resultado	Especificación	Incertidumbre
Tiempo de fraguado inicial (min)	145*	>45	-
Tiempo de fraguado final (min)	4,2*	<10	-
Consistencia Normal (%)	24	-	-
Finura de Molido (%)	7,5*	<10	-
P.U. Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	-
P.E. Real del cemento (g/cm <sup>3</sup> )	3,09	-	±0.01
Resistencia Comp. 7 días (MPa)	30,9*	>25,0	±0.86
Resistencia Flexo-Tracc. 7 días (MPa)	5,4*	>4,0	±0.39
Resistencia Comp. 28 días (MPa)	39,8*	>35,0	±1,6
Resistencia Flexo-Tracc. 28 días (MPa)	6,7*	>6,0	±0.78

(\* ) Conforme (\*\* ) No Conforme

**Tabla 2.2. Composición Química del cemento P-350.**

Óxido	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO
(%)	62,64	21,20	5,79	2,70	0,00	0,61	1,22

**Tabla 2.3. Principales fases del cemento P-350.**

Fases	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> FA	CaO <sub>lib</sub>
%	41,52	29,46	10,78	8,22	1,50

**Áridos Finos.**

En los morteros se utilizó arena sílice normalizada.

En el caso de los hormigones fabricados en la ECOT Cayo Santa María, se empleó áridos finos de la cantera Mariano Pérez “El Purio”, ubicada en la provincia Villa Clara.

**Tabla 2.4. Características físicos-mecánicas de los áridos finos. (“El Purio”)**

Arena “El Purio”			
Ensayo		Especificación	Incertidumbre
Material más fino que T-200(%)	2,5*	<3 Para hormigones bajo abrasión	±0.16
		<5 Para los demás hormigones	
Partículas de arcilla (%)	0,5*	<1	±0.17
Impurezas orgánicas(Placa N <sup>0</sup> )	1*	Hasta placa N <sup>0</sup> 3	-

## CAPITULO II

P.E Corriente (g/cm <sup>3</sup> )	2,58*	>2,5	±0.019
P.E Saturado (g/cm <sup>3</sup> )	2,64*	-	±0.018
P.E Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,71*	-	±0.018
Absorción (%)	2,4*	<3	±0.017
Masa volumétrica suelta(kg/m <sup>3</sup> )	1480	-	-
Masa volumétrica compactada (kg/m <sup>3</sup> )	1591	-	-
% de vació (%)	-	-	-
Módulo de finura	-	-	-

**Tabla 2.5 Características granulométricas de los áridos finos. (“El Purio”)**

Análisis Granulométrico (Incertidumbre ±1,5)								
Tamices(mm)	9,52	4,76	2,38	1,19	0,59	0,297	0,149	0,074
% Pasado	100*	98*	73*	46*	25*	12*	2*	-
Especificación	100	90	70	45	25	10	2	-
		100	100	80	60	30	10	-

(\*) Conforme    (\*\*) No Conforme

### **Áridos Gruesos.**

El árido grueso es una gravilla que procede de la trituración de rocas calizas de la Cantera “Mariano Pérez Balí” situada en el municipio Encrucijada, Provincia Villa Clara. Correspondiente a una piedra fracción (10-5mm), con tamaño máximo de 9,72 mm, su litología es de las calizas puras organógenas, duras, compactas, blancas a crema, masivas o levemente brechosas.

**Tabla 2.6. Características físicos-mecánicas de los áridos gruesos (gravilla). (“El Purio”)**

Gravilla "El Purio"			
Ensayo	Resultado	Especificación	Incertidumbre
Material más fino que T-200(%)	0,77*	<1	±0.16
Terrones de arcilla (%)	0,1*	<0,25	±0.16
Partículas planas y alargadas (%)	7,4*	<10	±1,29
P.E Corriente (g/cm3)	2,56*	>2,5	±0.0099
P.E Saturado (g/cm3)	2,64*	-	±0.0074
P.E Aparente (g/cm3)	2,71*	-	±0.0073
Absorción (%)	2,4*	<3	±0.17
Masa volumétrica suelta(kg/m3)	1401	-	±0.057
Masa volumétrica compactada (kg/m3)	1476	-	±0.055
% de vacio (%)	-	-	-
Modulo de finura	-	-	-
Índice Triturabilidad (%)	-	-	-
Abrasion Los Angeles (%)	-	-	-

**Tabla 2.7. Características granulométricas de los áridos gruesos. (“El Purio”)**

Análisis Granulométrico (Incertidumbre ±1,58)				
Tamices (mm)	25,4	19,1	9,52	4,76
% Pasado	100*	95*	20*	1*
Especificación	100	90	20	0
		100	55	10

(\*) Conforme    (\*\*) No Conforme

#### 2.2.2.4. Bioproducto MEF

Los bioproductos MEF (Microorganismos Eficientes del Finlay) fueron logrados por fermentación microbiana en el Instituto Finlay, La Habana, Cuba. Para ello, se parte de materias primas nacionales que son subproductos de las industrias azucarera y láctea, así como de un producto obtenido por fermentación microbiana en estado sólido (madre sólida) en La Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey de Matanzas.

Entre sus características generales se encuentran: líquido de color pardo y olor agrídulce con presencia de células microbianas, donde predominan bacterias fototróficas, ácido láctico y levaduras. Debe almacenarse a la oscuridad, en un lugar seco y a temperatura ambiente (Ver Tabla 2.8)

**Tabla 2.8. Datos técnicos del MEF 32**

<b>Datos de Identificación del Producto</b>	
<b>Consistencia</b>	Líquido
<b>Color</b>	Carmelita ámbar
<b>Densidad picnométrica (g/cm<sup>3</sup>) según NC 271-2: 2003</b>	1.02
<b>pH según NC 271-4: 2003</b>	3.39
<b>% Sólidos totales (S.T) según NC 271-1: 2003</b>	2.15
<b>Conservación</b>	12 meses en envases bien cerrados.  Guardar a temperatura ambiente

**2.2.2.5. Características técnicas del Dynamon SX 32 (MAPEI)**

Es una solución acuosa al 22,1% de polímeros acrílicos, exenta de formaldehído, capaz de dispersar eficazmente los granos del cemento (Tabla 2.10) con componentes secundarios que mejoran notablemente la cohesión y la facilidad de bombeo del hormigón.

**Dynamon SX 32 (MAPEI)**

Dynamon SX 32 es un aditivo líquido superplastificante para hormigones de alta calidad, a base de polímeros acrílicos no sulfonados, completamente exento de formaldehído (MAPEI, 2010).

**Tabla 2.9. Datos técnicos del Dynamon SX 32.**

<b>Datos técnicos(valores característicos)</b>	
Consistencia:	líquido
Color:	ámbar
Densidad según la ISO 758 (g/cm <sup>3</sup> ):	1,08 ± 0,02 a +20°C
Residuo seco según EN 480-8 (%):	22,1 ± 1,1
Acción principal:	aumento y conservación de la trabajabilidad y/o reducción de agua
Clasificación según EN 934-2:	reductor de agua de alta eficacia / superfluidificante, prospecto 11.1,11.2
Cloruros solubles en agua según EN 480-10 (%):	< 0,1 (ausentes según EN 934-2)
Contenido de álcali (Na <sub>2</sub> O) equivalente según EN 480-12 (%):	< 3,5

## CAPITULO II

pH según la ISO 4316: Conservación:	6,5 ± 112 meses en los envases originales no abiertos, proteger del hielo
--	--

**Requerimientos de empleo del aditivo:** El Dynamon SX 32 debe añadirse después de componentes de la mezcla (cemento, áridos, añadidos minerales o filler y, al menos, el 80% del agua de la mezcla), o bien disolverse previamente en el agua total de amasado.

### **2.3. Descripción del programa experimental.**

#### **2.3.1 Primera etapa del trabajo experimental.**

En esta primera parte, el trabajo experimental se desarrolló a escala de laboratorio, empleando especímenes elaborados en forma de probetas. El objetivo fundamental de esta primera parte del trabajo consistió en evaluar la influencia de las combinaciones de aditivos, conformados por el producto MEF-32 y un plastificante comercial como el SX 32, en las propiedades reológicas del hormigón. (Ver tabla 2.9).

**Tabla .2.9. Combinaciones de viscosificante MEF 32 con Dynamon SX 32**

Muestra	Volumen MEF	Vol. Dynamón SX-32	Cantidad de probetas				
			Resist. Comp.			Absorción a los 28 días	Total de probetas
			7 días	28 días	90 días		
ME-1	66.9 L (18%)	-	3	3	3	2	11
ME-2	-	3.50 L (0.95%)	3	3	3	2	11
ME-3	1.77 L (1%)	1.75 L (0.95%)	3	3	3	2	11

## CAPITULO II

ME-4	1.31 L (0.35%)	3.50 L (0.95%)	3	3	3	2	11
ME-5	7.47 L (2%)	2.50 L (0.67%)	3	3	3	2	11
ME-6	11.20 L (3%)	1.20 L (0.3%)	3	3	3	2	11
ME-7	11.20 L (3%)	2.24 L (0.6%)	3	3	3	2	11

Los hormigones se fabricaron utilizando la dosificación entregada por el CITED para hormigones de 30 MPa (ver tabla 2.10) utilizando diferentes concentraciones de combinaciones de aditivos plastificantes y se compararon con un hormigón patrón obtenido con los áridos naturales de la cantera Mariano Pérez. Las mezclas de hormigón fueron elaboradas bajo el principio: mantener una consistencia constante de  $20 \pm 2$  cm medido en el cono de Abrams. Para todas las muestras la dosificación fue la misma (ver tabla 2.10), cambiando en los % de combinaciones de aditivo usada para cada mezcla.

**Tabla 2.10. Dosificación para 1 m<sup>3</sup> de Hormigón**

<b>Muestra</b>	<b>Volumen MEF</b>	<b>Vol. Dynamón SX-32</b>	<b>Árido Grueso</b>	<b>Árido fino</b>	<b>Cemento</b>	<b>Agua</b>
ME-1	66.9 L (18%)		908 Kg	894 Kg	405 Kg	198.45 L
ME-2	-	3.50 L (0.95%)	908 Kg	894 Kg	405 Kg	162 L
ME-3	1.77 L (1%)	1.75 L (0.95%)	908 Kg	894 Kg	405 Kg	186.3 L
ME-4	1.31 L (0.35%)	3.50 L (0.95%)	908 Kg	894 Kg	405 Kg	162 L

## CAPITULO II

ME-5	7.47 L (2%)	2.50 L (0.67%)	908 Kg	894 Kg	405 Kg	182.5 L
ME-6	11.20 L (3%)	1.20 L (0.3%)	908 Kg	894 Kg	405 Kg	178.2 L
ME-7	11.20 L (3%)	2.24 L (0.6%)	908 Kg	894 Kg	405 Kg	174.15 L

Los áridos se caracterizaron mediante ensayos de laboratorio teniendo en cuenta las normativas vigentes en Cuba (NC-178, 2002, NC-181, 2002, NC-251, 2005). Se utilizó un cemento P-35 y aditivos patrones como son SX-32 y MEF 32 para mantener una consistencia adecuada en las mezclas. Las muestras fueron elaboradas y ensayadas en el Laboratorio de la ECOT, Cayo Santa María.

### **2.3.2 Preparación de las mezclas.**

La fabricación de todos los especímenes se ha realizado en el laboratorio de la Planta de Hormigón de la ECOT Cayo Santa María. Para la fabricación de probetas se utilizó una mezcladora estacionaria (Ver figura 2.1). En todas las mezclas se ha utilizado el mismo orden de amasado. Primero se realizó lo que comúnmente le llaman la cebada esto consiste en elaborar una mezcla de arena con el cemento dentro de la mezcladora para la corrección de la mezcla o evitar pérdidas, después se introducen en la mezcladora los áridos gruesos y seguidamente se añade el cemento realizando un primer ciclo de mezclado de una mezcla seca. Una vez realizada esta mezcla de áridos gruesos con el cemento, se realiza un segundo ciclo, se introduce el árido fino y se añade el agua gradualmente, luego se adiciona el bioproducto MEF y después el SX-32, en el menor tiempo posible, desde la puesta en marcha de la mezcladora. En cada momento se comprueba que la temperatura de la mezcla no sobrepase los 35°C usando un termómetro.



**Fig.2.1- Hormigonera basculante de tambor**

Después de elaborada la mezcla se realiza la prueba de asentamiento mediante el cono de Abrams (NC-ISO1920-2, 2010) donde se verifica el asentamiento fijado **20 ± 2 cm**. Si cumple este requisito, se verifica que el hormigón fabricado está en condiciones adecuadas y clasifica como un hormigón de consistencia plástica.

La medida de la consistencia se obtiene mediante la diferencia del asiento del hormigón que había en el molde con respecto a la altura de este, se mide en centímetros. En función de este descenso, se puede definir la consistencia del hormigón de plástica, fluida o seca.

### **2.4 Ensayos físico mecánicos realizados.**

La calidad de las probetas de hormigón producidas, se verificó usando los procedimientos que establecen los ensayos de las normas (NC-ISO1920-3, 2010). Los ensayos que incluye este procedimiento son los siguientes:

1. Ensayo del Asentamiento Cono de Abrams (lograr un **asentamiento constante 20 ± 2 cm** a partir de la variación del % de aditivo para tratar de mantener una relación agua/cemento constante de 0.45.
2. Resistencia a compresión, Edad 7, 28 y 90 días total ensayos:

3. Absorción por capilaridad de probetas cilíndricas de 100 x 200 mm Edad 28 días.

### **2.4.1 Descripción de Ensayos físico mecánicos realizados.**

#### **2.4.1.1 Asentamiento Cono de Abrams**

El ensayo se efectuó basado en la norma (NC-ISO1920-2, 2010.), con el objetivo de lograr los asentamientos que se utilizan en los hormigones de consistencia plástica (asentamiento  **$20 \pm 2$  cm**) utilizados para la fabricación de los muros de los Bugalow de los hoteles del Cayo Santa Maria.

La prueba del cono de Abrams se realizó a cada mezcla preparada con los distintos % de aditivos, MEF-32, SX 32 y la combinación de ambos persiguiendo a su vez la evaluación de las combinaciones (MEF+SP) en las propiedades del hormigón.

Para los ensayos de consistencia, se procedió a tomar la primera muestra de hormigón de patrón sin adicción de aditivos

Para el método de la medición del asentamiento (slump) o escurrimiento que sufre una masa de hormigón se conforma previamente con un molde de forma tronco-cónica, denominado cono de Abrams. Para la realización de este ensayo se utilizo un molde de hojalata en forma de cono truncado y sin fondo, cuyas dimensiones son: 20 cm. de diámetro en su base mayor, 30 cm. de altura y 10 cm. de diámetro en su base menor. (Ver Fig. 2.2)

Se coloco apoyando su base mayor sobre una superficie lisa y no absorbente, llenándose el mismo en tres capas de volúmenes aproximadamente iguales, que se compactaron mediante una varilla (16 mm. de diámetro y 60 cm de longitud). La compactación se realizo repartiendo uniformemente 25 golpes de varilla en cada una de las tres capas (Ver Fig. 2.2).



**Fig-2.2. Asentamiento en el Cono de Abrams**

Luego de terminado el proceso de llenado se enraso la superficie usando la misma varilla de compactación y se eliminó todo el material alrededor del cono.

Seguidamente se levantó el molde verticalmente y con mucho cuidado, se colocó al lado de la masa de hormigón que fue desmoldada. Se mide la altura que sufre la masa de hormigón y se toma su asentamiento.

La prueba del cono de Abrams se realizó a cada mezcla preparada con los distintos % de aditivos, el MEF y el SX 32 persiguiendo a su vez la evaluación de este Bioproducto en la reología del hormigón de consistencia plástica.

Este ensayo abordo los siguientes resultados:

**Tabla 2.11 Asentamiento por el Cono de Abrams**

<b>Muestra</b>	<b>Volumen MEF</b>	<b>Vol. Dynamón SX-32</b>	<b>R w/c</b>	<b>Asent.</b>
ME-1	66.9 L (18%)	-	0.49	20
ME-2	-	3.50 L (0.95%)	0.40	21
ME-3	1.77 L (1%)	1.75 L (0.95%)	0.46	18

ME-4	1.31 L (0.35%)	3.50 L (0.95%)	0.40	21
ME-5	7.47 L (2%)	2.50 L (0.67%)	0.45	20
ME-6	11.20 L (3%)	1.20 L (0.3%)	0.44	19.5
ME-7	11.20 L (3%)	2.24 L (0.6%)	0.43	20.5

**2.4.1.2 Preparación de las probetas, llenado, compactación y conservación**

Se ha tomado como referencia la norma (NC-ISO1920-3, 2010).

Los moldes que se utilizaron para la fabricación de las muestras en la fase experimental fueron moldes metálicos con una forma cilíndrica de (10x20 cm) para realizar todos los ensayos físico-mecánicos al hormigón endurecido. Una vez armados los moldes se le unta en toda su superficie interna un aceite o grasa desencofrante para la protección de los moldes y de las probetas a la hora del desencofre.

Una vez amasado, debemos introducir el hormigón en los moldes para su conservación en la piscina de curado. El proceso de colocación consiste en la introducción de la mezcla en los moldes en 2 capas cada una de deberá ser compactada con 25 golpes con la misma barra que se ha utilizado anteriormente para la medida de la consistencia. Además se debe golpear los moldes por su parte exterior con una maceta de goma con el objetivo de expulsar el aire ocluido en el hormigón. Posteriormente se enrasa perfectamente cada uno de los moldes para que la cara superior sea lo más lisa posible.



**Fig.2.3. (a) Preparación (b) Llenado (c) Compactación**

### **2.4.1.3 Conservación, desmolde y transporte de las probetas**

Las probetas se conservan durante aproximadamente un día en los moldes de forma que la temperatura esté comprendida entre 16°C y 27°C. Transcurridas 24 horas se extraen de los moldes las probetas y se marcan de forma que no se alteren las superficies que han de estar en contacto con los platos de la prensa de ensayo. Posteriormente las probetas se transportan a la piscina de curado, donde se almacenan hasta la realización de los ensayos.



**Fig.2.4.(a) Desmolde.**



**(b) Conservación**

## CAPITULO II

### **2.4.1.4 Determinación la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas(NC-724, 2009 ) .**

Este ensayo se realizó en el laboratorio de la Planta de Hormigón de la ECOT Cayo Santa María. Las probetas que se seleccionaron para este ensayo cumplen con todos los requisitos para esta prueba según (NC-724, 2009). Se sacaron fuera del tanque de curado y se esperó 30 min. hasta que escurriera el agua superficial cumpliendo siempre el tiempo máximo que debe permanecer la probeta antes de someterla a la prueba compresión que debe ser menor de 3 horas (NC-724, 2009 ). Se utilizarán 3 probetas de cada una de las series que son 7 para un total de 21 especímenes para cada edad de rotura (7 y 28 días). La máquina que se utilizó es de última generación lográndose gran precisión en los resultados de los ensayos.



**Fig.2.5 Ensayo de resistencia a compresión (Prensa)**

Este ensayo abordo los siguientes resultados realizados a los 7 y 28 días mostrados en la tabla 2.12.

**Tabla 2.12. Resultados de resistencia a compresión**

Muestra	Volumen MEF	Vol. Dynamón SX-32	Resist. Comp. Media (Mpa)	
			7 dias	28 dias
ME-1	66.9 L (18%)	-	<b>23.2</b>	<b>23.2</b>
ME-2	-	3.50 L (0.95%)	<b>37.7</b>	<b>37.7</b>
ME-3	1.77 L (1%)	1.75 L (0.95%)	<b>29.5</b>	<b>29.5</b>
ME-4	1.31 L (0.35%)	3.50 L (0.95%)	<b>29.0</b>	<b>29.0</b>
ME-5	7.47 L (2%)	2.50 L (0.67%)	<b>31.8</b>	<b>31.8</b>
ME-6	11.20 L (3%)	1.20 L (0.3%)	<b>26.1</b>	<b>26.1</b>
ME-7	11.20 L (3%)	2.24 L (0.6%)	<b>30.7</b>	<b>30.7</b>

**2.4.1.5 Absorción por capilaridad(NC-345, 2011).**

Para realizar el ensayo de absorción se le dio un tiempo de conservación de 27 días en la piscina de curado, luego se tomaron dos muestras de cada mezclas y se cortaron con una máquina de corte de hormigón a 25 mm posteriormente se colocaron en la estufa a una temperatura de 60 grados centígrados por un tiempo de 48 horas aproximadamente, una vez la muestra llevada a peso constante se toman sus dimensiones y se cubren su laterales con una cubierta de parafina y se toma su peso. Después de colocar el impermeabilizante se obtuvieron los

## CAPITULO II

primeros datos de succión con una frecuencia de 5, 10, 15 y 30 minutos, luego se continuo midiendo cada 1, 2, 3, 4, 6 horas respectivamente y finalmente se obtuvieron mediciones a los 1, 3, 5 y 7 días contados a partir del inicio del ensayo o su contacto con el agua. Los resultados del ensayo se muestran en (Ver tabla 2.13).

**Tabla 2.13 Porosidad del hormigón**

<b>Muestras</b>	<b>Porosidad</b>	<b>Densidad</b>
ME-1	13.12 %	2072 K\m <sup>3</sup>
ME-2	7.65 %	2261 K\m <sup>3</sup>
ME-3	14.67 %	2098 K\m <sup>3</sup>
ME-4	13.68 %	2175 K\m <sup>3</sup>
ME-5	13.99 %	2111 K\m <sup>3</sup>
ME-6	15.75 %	2075 K\m <sup>3</sup>
ME-7	11.47 %	2084 K\m <sup>3</sup>



**Fig.2.6 (a) Secado en estufa**

**(b) Toma de dimensiones**

**(c) Pesaje de especímenes**

**1.5 Segunda etapa del trabajo experimental.**

Esta segunda etapa del trabajo experimental se implementó utilizando los mejores resultados obtenidos en las muestras ensayadas en el laboratorio, específicamente, los resultados obtenidos con la mezcla ME-7, lo que permitió validar los resultados obtenidos para una escala de producción industrial.

**Tabla 2.14. Combinaciones de viscosificante MEF 32 con Dynamon SX 32 (prueba industrial)**

Muestra	Volumen MEF	Vol. Dynamón SX-32	Cantidad de probetas			
			Resist. Comp.			Total de probetas
			7 días	28 días	90 días	
ME- Hormigón Normal	-	3.50 L (0.95%)	3	3	3	9
ME-7 ( prueba industrial)	11.20 L (3%)	2.24 L (0.6%)	3	3	3	9

La prueba industrial se realizó en el proyecto de Laguna del Este 2 del Cayo Santa María (ver figura 3.5), para realizar la prueba se necesitó elaborar 7 m<sup>3</sup> cúbicos de hormigón elaborada con la mejor dosificación obtenida de los ensayos de laboratorio (Ver tabla 2.14).La prueba se realizó en un muro estructural de fachada en el Bw 20 nivel 02, al hormigón elaborado para la prueba industrial se le realizaron los ensayos de asentamiento en el Cono de Abrams y resistencia a compresión a (7- 28 y 90 días) respectivamente. (Ver tabla 2.15)



**Fig.2.7 Muro construido en el Bungalows #20 Hotel Laguna 2**

**Tabla 2.15. Consumo de materiales para la prueba industrial**

<b>Muestra</b>	<b>Volumen MEF</b>	<b>Vol. Dynamón SX-32</b>	<b>Árido fino</b>	<b>Árido grueso</b>	<b>Cemento</b>	<b>Agua</b>	<b>R w/c</b>
ME-7 P. INDUSTRIAL	78.4L (3%)	15.68 L (0.6%)	6258 Kg	6356 Kg	2835 Kg	1219.05 L	0.43
Hormigón BW normal	-	24.5L (0.95%)	6258 Kg	6356 Kg	2835 Kg	1190.7 L	0.42

**2.5 Ensayos físico mecánicos realizados.**

La calidad de las probetas de hormigón producidas, se verificó usando los procedimientos que establecen los ensayos de las normas cubanas.

**2.5.1 Asentamiento por el Cono de Abrams (prueba industrial).**

La tabla 5 muestra los resultados de asentamiento por el Cono de Abrams para las mezclas realizadas en la prueba industrial, las cuales muestran un comportamiento favorable al mantener un asentamiento superior a los 20 cm lográndose disminuir significativamente el consumo aditivo Dynamon SX 32 manteniendo una relación a/c = 0,43.

**Tabla 17. Asentamiento por el Cono de Abrams (prueba industrial)**

<b>Muestra</b>	<b>Volumen MEF</b>	<b>Vol. Dynamón SX-32</b>	<b>R w/c</b>	<b>Asent</b>
ME-7 P. INDUSTR	11.20 L (3%)	2.24 L (0.6%)	0.43	23

IAL				
Hormigón BW normal	-	3.50 L (0.95%)	0.42	20

**2.5.1.1 Ensayo de Resistencia a compresión (prueba industrial).**

Como se observa en la tabla 6 lo resultados de resistencia a la compresión de las prueba industrial con las combinaciones de viscosificante MEF 32 combinado con el aditivo Dynamon SX 32 superan los valor establecido en el diseño de mezcla de CITED de 30 MPa siendo ligeramente superior a las mezclas utilizadas para la fabricación de los muros de los bungalows (ver tabla 2.17)

**Tabla 2.18.Resultados de resistencia a compresión (prueba industrial)**

Muestras	Volumen MEF	Vol. Dynamón SX-32	Resist. Comp. Media (MPa)	
			7 dias	28 dias
ME-7 P. INDUSTRIAL	11.20 L (3%)	2.24 L (0.6%)	<b>27.3</b>	<b>27.3</b>
Hormigones BW normal	-	3.50 L (0.95%)	<b>30.8</b>	<b>30.8</b>

## **2.6 Conclusiones parciales**

1. Al medir la plasticidad del hormigón fabricado aplicando las combinaciones del MEF32 y SX - 32, arrojaron buenos resultados.
2. Las combinaciones (MEF+SX-32) manifiestan una influencia significativa en la plasticidad y fluidez de los hormigones ensayados.
3. En el cono de Abrams se establece valores de  $20\pm 2\text{cm}$  y en el ensayo realizado cumple con dicho valor.

### **Capítulo III: Análisis del resultados de los ensayos obtenidos.**

#### **3.1 Introducción**

En el presente capítulo se realiza un análisis a partir del resultado de los ensayos realizado en todo el proceso experimental, para poder determinar la influencia de las combinaciones del bioproducto (MEF-32) y un superplastificante comercial como es el Dynamon SX-32, para determinar las mejores proporciones alcanzadas en las distintas mezclas y sus propiedades físico-mecánicas en su estado fresco y endurecido.

#### **3.2 Análisis de los resultados**

En este epígrafe se expone el análisis de resultados obtenidos de la evaluación de los parámetros físico – mecánicos de las muestras. Los resultados del diseño de experimento a nivel macro se procesaron estadísticamente de la siguiente manera:

Una vez que cada serie fue trabajada según lo ensayos referidos en capítulo anterior, se calculó la media de cada una de ellas, la desviación estándar, el coeficiente de variación, entre otros estadígrafos. Luego se realizó el análisis de tendencia (Gráficos de Tendencia) para cada una de las variables de respuesta (para los valores medios de cada uno de los resultados) y sus combinaciones. Por último, teniendo en cuenta los resultados a los cuales responden los gráficos de tendencia, se realizó el análisis de comparación entre las muestras con vistas a evaluar la significación de los resultados. (Ver Anexo)

##### **3.2.1. Asentamiento de las mezclas de hormigón empleando el Cono de Abrams.**

Este método del cono de Abrams se empleó para la medición del asentamiento del hormigón en estado fresco. Se emplearon cinco combinaciones del bioproducto (MEF-32) y el superplastificante comercial Dynamon SX-32 para la construcción de los especímenes, partiendo de las muestras patrones. .

La tabla 3.1, muestra los resultados de asentamiento por el Cono de Abrams para todas las mezclas realizadas, las cuales muestran un comportamiento favorable al

### CAPITULO III

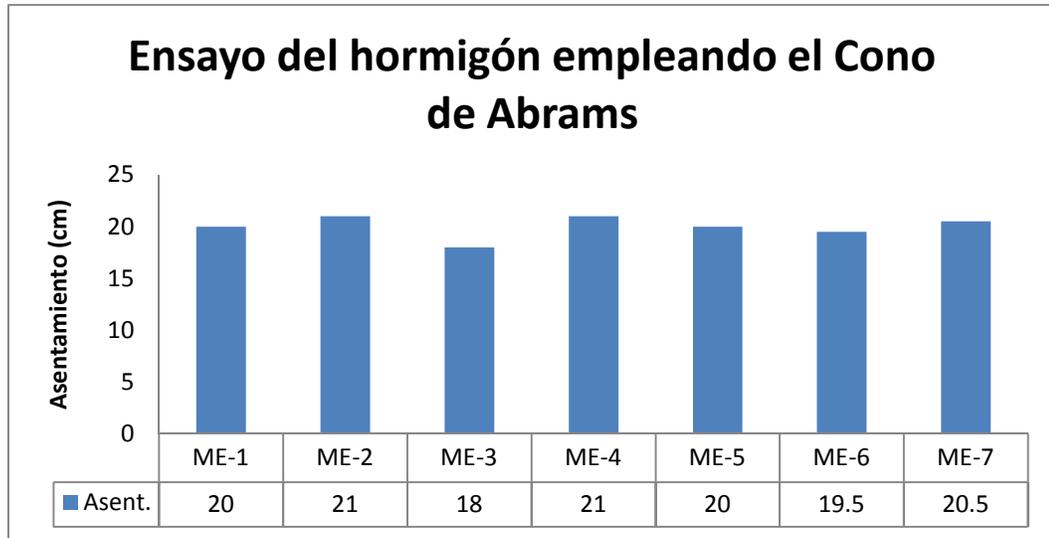
---

mantener un asentamiento constante de  **$20 \pm 2$  cm**, aunque si tenemos en cuenta el consumo de aditivo comercial se puede afirmar que las mejores mezclas son las ME-5, ME-6 y ME-7 lográndose disminuir significativamente el consumo de aditivo comercial Dynamon SX 32, manteniendo una relación a/c inferior a 0,45.

**Tabla 3.1. Asentamiento en el Cono de Abrams.**

Muestra	Volumen MEF	Vol. Dynamón SX-32	R w/c	Asent.
ME-1	66.9 L (18%)	-	0.49	20
ME-2	-	3.50 L (0.95%)	0.40	21
ME-3	1.77 L (1%)	3.50 L (0.95%)	0.46	18
ME-4	1.31 L (0.35%)	3.50 L (0.95%)	0.40	21
ME-5	7.47 L (2%)	2.50 L (0.67%)	0.45	20
ME-6	11.20 L (3%)	1.20 L (0.3%)	0.44	19.5
ME-7	11.20 L (3%)	2.24 L (0.6%)	0.43	20.5

Como se pudo comprobar en la figura 3.1 el asentamiento de todas las muestras elaboradas con las combinaciones MEF – 32 y SX – 32, se encuentra en un rango similar al hormigón fresco producido con el aditivo SX – 32 , lo que permite considerar que las combinaciones Bioproducto MEF – 32 con aditivo SX - 32 tiene una acción plastificante de buena actividad.



**Fig.3.1: Asentamiento por el cono de Abrams.**

Otra observación a tener en cuenta es de tipo organoléptica pues se ve un cambio notable en la plasticidad de la pasta, no observándose fenómenos como la exudación y la segregación manteniendo una buena consistencia en el tiempo (Ver fig. 3.2).



**Fig. 3.2. Hormigón de buena consistencia**

**3.2.2. Ensayos de resistencia a compresión realizados.**

Primero que todo debe recordarse que el hormigón, como otros materiales pétreos, se caracteriza por una elevada resistencia a la compresión y una relativamente baja resistencia a la tracción. Este hecho, bien conocido por los profesionales y técnicos de la construcción, hace que dicho material se aproveche más en su trabajo a compresión. A continuación se exponen los resultados obtenidos en el ensayo a los 7, y 28 días.

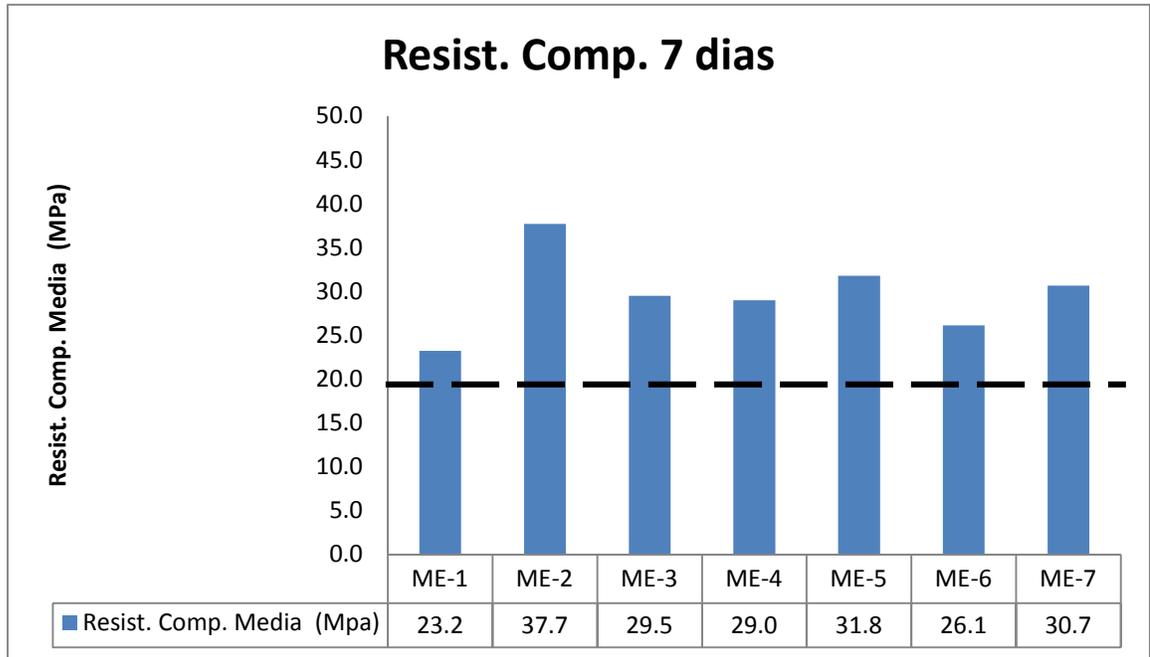
**Tabla 3.2. Resultados de resistencia a compresión**

Muestra	Volumen MEF	Vol. Dynamón SX-32	Resist. Comp. Media (Mpa)	
			7 días	28 días
ME-1	66.9 L (18%)	-	<b>23.2</b>	<b>31.3</b>
ME-2	-	3.50 L (0.95%)	<b>37.7</b>	<b>47.9</b>
ME-3	1.77 L (1%)	1.75 L (0.95%)	<b>29.5</b>	<b>36.8</b>
ME-4	1.31 L (0.35%)	3.50 L (0.95%)	<b>29.0</b>	<b>35.1</b>
ME-5	7.47 L (2%)	2.50 L (0.67%)	<b>31.8</b>	<b>37.8</b>
ME-6	11.20 L (3%)	1.20 L (0.3%)	<b>26.1</b>	<b>32.8</b>
ME-7	11.20 L (3%)	2.24 L (0.6%)	<b>30.7</b>	<b>36.5</b>

**Resultados a los 7 días**

Realizando un análisis de los resultados obtenidos respecto a la resistencia a compresión a los 7 días de la probetas ensayadas, podemos decir que todas las muestras cumplen con los parámetros establecidos, estando dentro de los rangos exigidos que debe ser superior a 20 Mpa, aunque hay que señalar que la muestra

M-1 producida solamente con el aditivo MEF-32 presenta los valores más bajos de resistencia.



**Fig. 3.3. Resultados de Resistencia a Compresión a los 7 días.**

Por lo tanto y teniendo en cuenta el análisis estadístico realizado (ver anexo I), donde el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 7 variables con un nivel del 95.0% de confianza (ver Figura 3.4), aunque si aplicamos el procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras (prueba de Múltiples Rangos), se observa que entre las medias de los pares de muestras ME-3 – ME-4, ME-4 – ME-7 y ME-5 – ME-7 las diferencias no son significativas (ver anexo I)

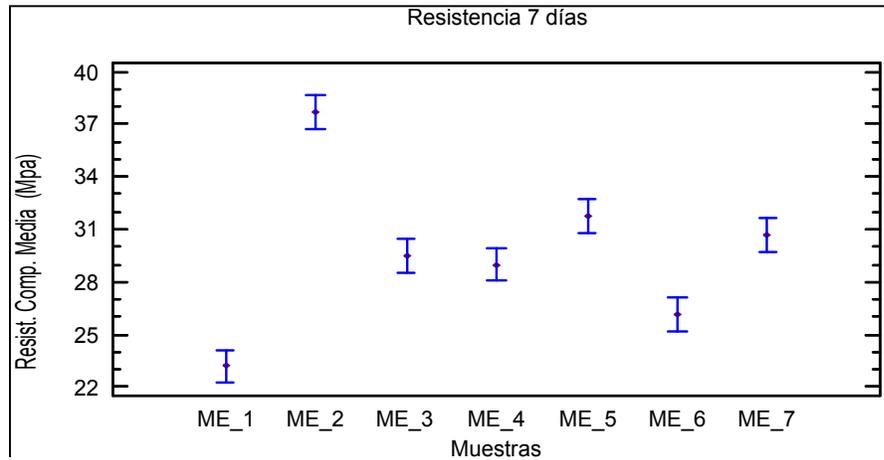
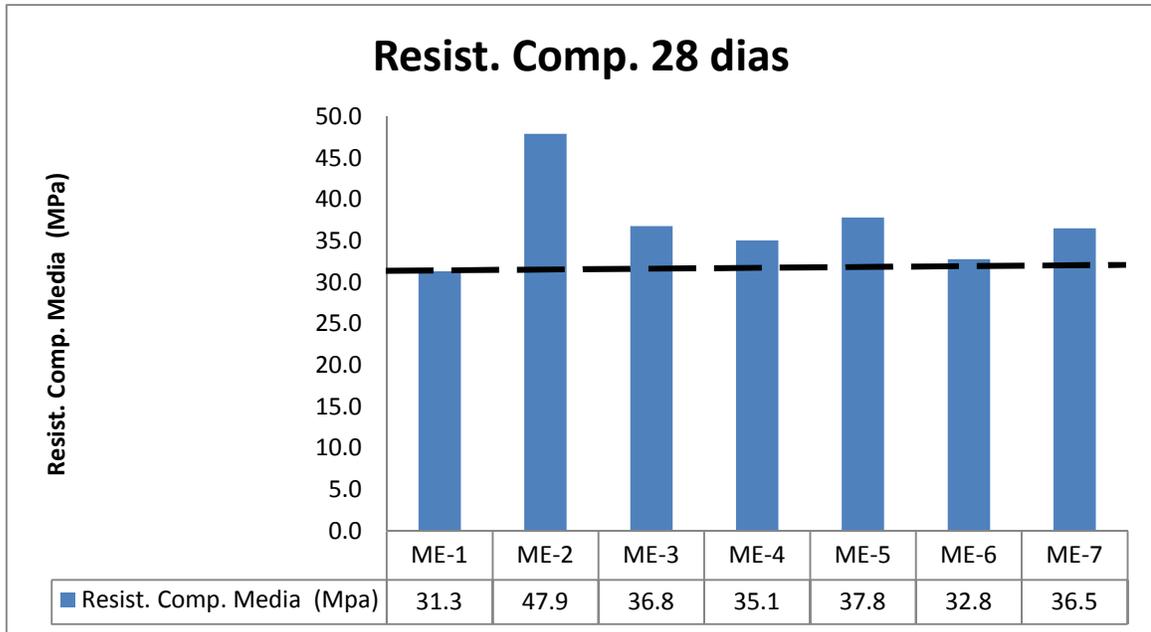


Fig. 3.4. Comparación entre las medias de los resultados de Resistencia a los 7 días.

### Resultados a los 28 días

La figura 3.5 muestra los resultados obtenidos con relación a la resistencia a compresión a los 28 días, podemos decir que todas las muestras cumplen con los parámetros establecidos, estando dentro de los rangos exigidos que debe ser superior a 30 MPa, aunque es de señalar que la muestra ME-1 (18% de MEF-32) presenta los valores más bajos de resistencia con 31,3 MPa.



**Fig. 3.5. Resultados de Resistencia a Compresión a los 28 días.**

Tal y como se observa en la figura 3.6 al realizar análisis estadístico (ver anexo II), donde el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 7 muestras con un nivel del 95.0% de confianza (ver Figura 3.6), aunque si aplicamos el procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras (prueba de Múltiples Rangos), se observa que entre los pares de muestras ME-3 – ME-7, ME-3 – ME-7 y ME-5 – ME-7 las diferencias no son significativas (ver anexo II).

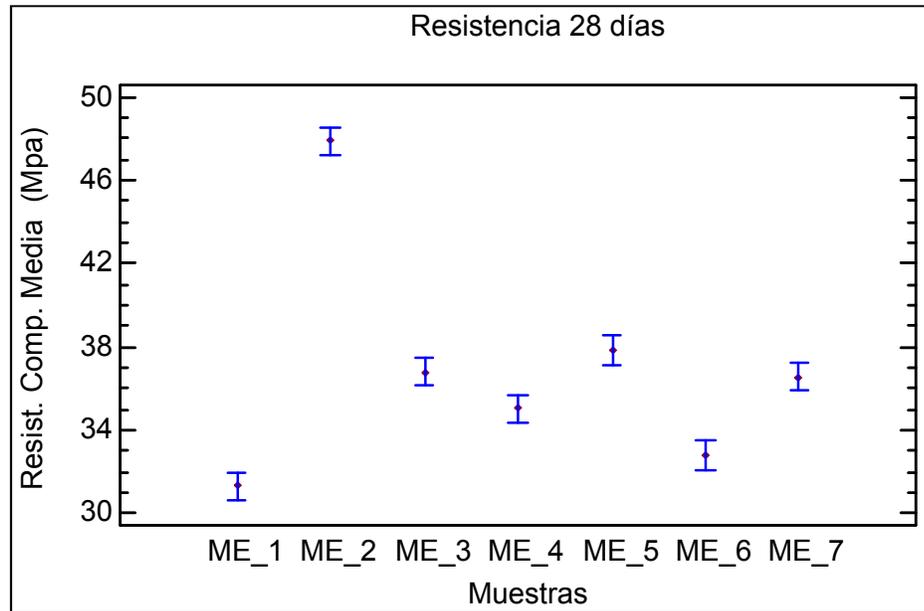
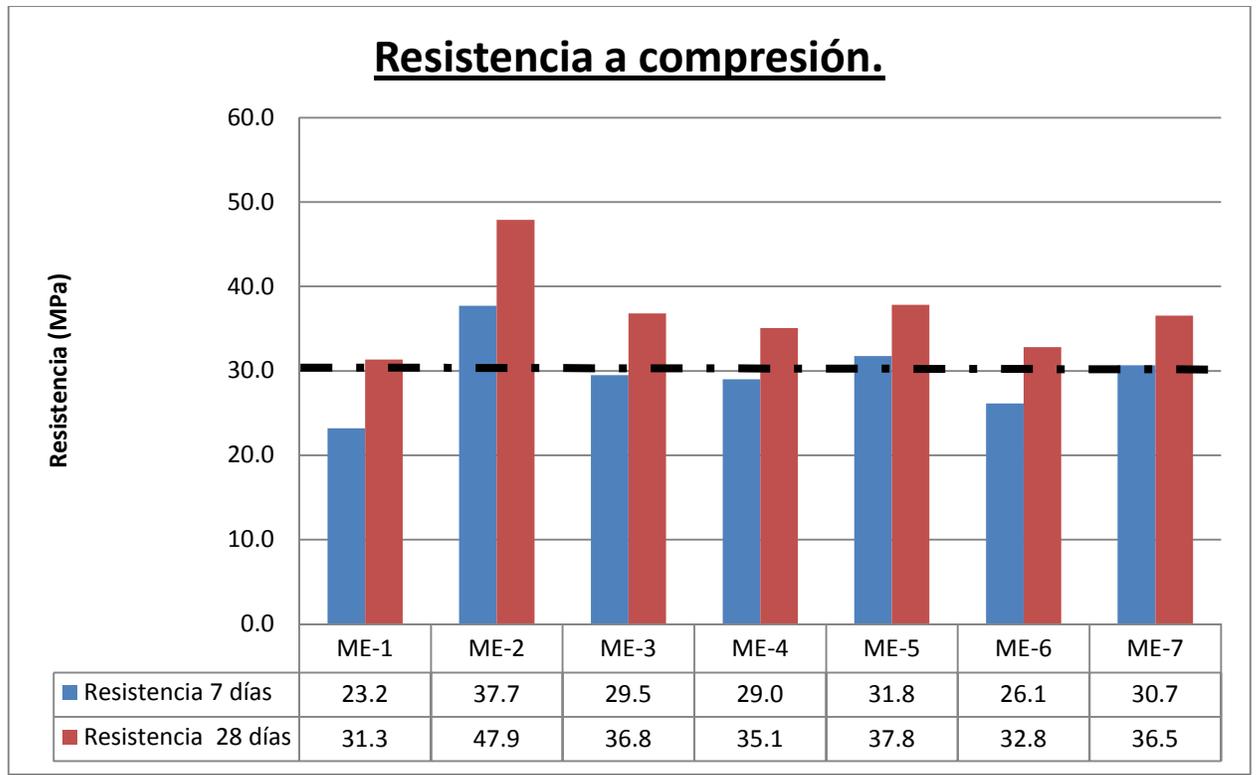


Fig. 3.6. Comparación entre las medias de los resultados de Resistencia a los 28 días.

### 3.2.1.1 Resumen de resultados de los ensayos de resistencia a compresión realizados.

De acuerdo a la figura 3.7 podemos observar que para todas las combinaciones de viscosificante MEF 32 combinado con el superplastificante Dynamon SX 32 superan los valores establecido en el diseño de mezcla de CITED de 30 MPa siendo la mezcla más adecuada la ME-7, la cual coincide con la que posee mayor asentamiento y una menor relación  $a/c=0,43$



**Fig.3.7. Resultados del ensayo de Resistencia a compresión.**

Como se distingue en la figura 3.7 y en la tabla 3.2 la mezcla ME-5 y ME-7 logran una resistencia a compresión del hormigón con una baja diferencia con respecto a las mezclas patrones ME-1 y ME-2.

### **3.2.3. Resultados de la absorción por capilaridad**

La permeabilidad al agua del hormigón es una propiedad muy importante, pero en algunos casos es decisiva. Por ejemplo, en recipientes, obras hidrotécnicas, cubiertas, etc. No obstante, siempre debe velarse esta propiedad, pues ella influye en la capacidad de transporte de agentes a través del hormigón, lo cual tiene especial significado en la durabilidad.

Del análisis de la absorción a los 28 días se puede percibir que las muestras ME-2 y ME-7 presentan mejor índice de porosidad.

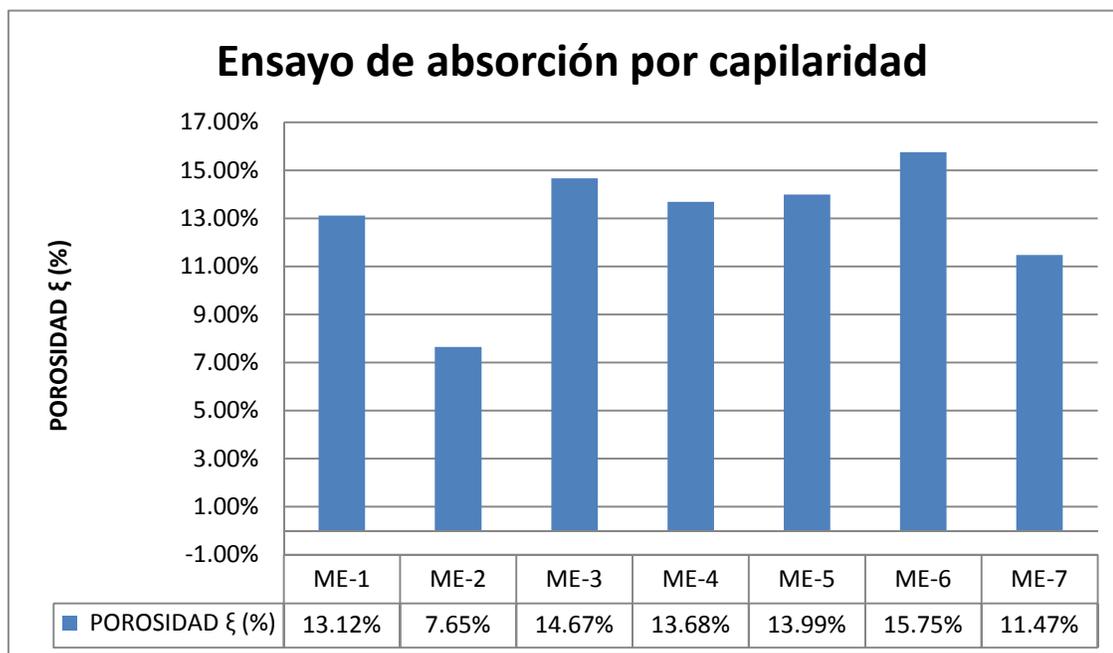


Fig.3.7. Resultados del ensayo de absorción por capilaridad.

Tabla 3.3. Resultados de porosidad y densidad

Muestra	Volumen MEF	Vol. Dynamón SX-32	Porosidad $\xi$ (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
ME-1	66.9 L (18%)	-	13.12%	2072
ME-2	-	3.50 L (0.95%)	7.65%	2261
ME-3	1.77 L (1%)	1.75 L (0.95%)	14.67%	2098
ME-4	1.31 L (0.35%)	3.50 L (0.95%)	13.68%	2175
ME-5	7.47 L (2%)	2.50 L (0.67%)	13.99%	2111
ME-6	11.20 L (3%)	1.20 L (0.3%)	15.75%	2075
ME-7	11.20 L (3%)	2.24 L (0.6%)	11.47%	2084

Tal y como se muestra en la figura 3.8 y la tabla 3.3, la muestra ME-2 (patrón con SX-32) y La ME-7 (combinación del SX-32 con el MEF-32) mostraron un comportamiento favorable en ambos ensayos, lo cual indica según Manual de la red DURAR que estamos en presencia de un hormigón de buena calidad, excepto las demás muestras, donde su desempeño es más deficiente clasificando como un hormigón de moderada calidad

### 3.3. Análisis de los resultados de la prueba industrial.

Este estudio presenta un escalado del proceso. El mismo permitió evaluar bajo condiciones de escalado industrial, la influencia de las combinaciones del bioproducto (MEF-32) y un superplastificante comercial como es el Dynamon SX-32 sobre las propiedades físico – mecánicas de hormigones utilizados para la construcción de los muros de los bungalows del Cayo Santa Maria.

El trabajo experimental se implementó utilizando los mejores resultados obtenidos en las muestras ensayadas en el laboratorio (ver tabla 3.4), específicamente, la mezcla ME-7 en la cual se obtuvieron los mejores valores de resistencia a compresión, menor relación agua cemento y los valores más adecuados con respecto al consumo de a aditivo comercial. Lo que permitió validar los resultados obtenidos para una escala de producción industrial.

**Tabla .3.4. Combinaciones de viscosificante MEF 32 con Dynamon SX 32 (prueba industrial)**

Muestra	Volumen MEF	Vol. Dynamón SX-32	Cantidad de probetas			
			Resist. Comp.			Total de probetas
			7 días	28 días	90 días	
ME- Hormigón Normal	-	3.50 L (0.95%)	3	3	3	9
ME-7 ( prueba industrial)	11.20 L (3%)	2.24 L (0.6%)	3	3	3	9

**3.3.1 Resultados de los Ensayos físico mecánicos realizados.****Asentamiento por el Cono de Abrams (prueba industrial).**

La tabla 5 muestra los resultados de asentamiento por el Cono de Abrams para las mezclas realizadas en la prueba industrial, las cuales muestran un comportamiento favorable al mantener un asentamiento superior a los 20 cm lográndose disminuir significativamente el consumo aditivo Dynamon SX 32 manteniendo una relación a/c = 0,43.

**Tabla.3. 5. Asentamiento por el Cono de Abrams (prueba industrial)**

<b>Muestra</b>	<b>Volumen MEF</b>	<b>Vol. Dynamón SX-32</b>	<b>R w/c</b>	<b>Asent.</b>
ME-7 P. INDUSTRIAL	11.20 L (3%)	2.24 L (0.6%)	0.43	23
Hormigón BW normal	-	3.50 L (0.95%)	0.42	20



**Fig.3.8. Observaciones de los cambios en las reología del hormigón**

Otras observaciones vistas en la puesta en obra del hormigón (ver figura3.8), son del tipo organoléptica al observarse cambios notables en la plasticidad de la pasta, como son:

- Se modifica la **viscosidad** del hormigón.
- Mejora el **flujo** de la mezcla a través de las armaduras de acero
- Excelente **retención de agua** y **coherencia** de la mezcla.
- No se observa **exudación ni segregación**.
- Se mantiene **consistencia en el tiempo** sin necesidad de añadir agua

**Ensayo de Resistencia a compresión (prueba industrial).**

Como se observa en la tabla 3.6 los resultados de resistencia a la compresión de las prueba industrial con las combinaciones de viscosificante MEF 32

combinado con el aditivo Dynamon SX 32 superan los valor establecido en el diseño de mezcla de CITED de 30 MPa siendo ligeramente superior a las mezclas utilizadas para la fabricación de los muros de los bungalows.

**Tabla3. 6. Resultados de resistencia a compresión (prueba industrial)**

Muestras	Resistencia 7 días				Resistencia 28 días			
	Rb1	Rb2	Rb3	Rbm	Rb1	Rb2	Rb3	Rbm
ME-7 P. INDUSTRIAL	28	27.4	26.5	<b>27.3</b>	39.1	38.6	38.1	<b>38.6</b>
Hormigón BW normal	30.1	30.7	31.7	<b>30.8</b>	38.2	37.4	37.2	<b>37.6</b>

### **3.4. Conclusiones parciales**

1. Los ensayos realizados en los hormigones frescos y endurecidos empleando las combinaciones del viscosificante MEF 32 con el aditivo superplastificante Dynamon SX 32 logra su mejores resultados en los diferentes ensayos físico-mecánicos para dosis del 3% de MEF 32 y 0,6% del SX 32 con respecto al peso del cemento.
2. La calidad de las muestras de hormigón fresco y endurecido demostraron que cumplen con los parámetros de diseño de mezcla para hormigones establecidos por CITED elementos que hablan favorablemente del uso del viscosificante MEF 32 con el aditivo superplastificante Dynamon SX 32 en la fabricación de hormigones para las obras de la ECOT en Cayo Santa María.
3. Los valores de la resistencia mecánica del hormigón endurecido empleando la combinación del viscosificante MEF 32 con el aditivo superplastificante

Dynamon SX 32 mostro los mejores resultados en la prueba industrial comparación con los hormigones tradicionales utilizados en la fabricación de los muros de los bungalows.

4. Los valores obtenidos de absorción por capilaridad en las muestras ME-7 mostraron un comportamiento favorable, lo cual indica que estamos en presencia de un hormigón de buena calidad, excepto las demás muestras, donde su desempeño es más deficiente clasificando como un hormigón de moderada calidad.

### **Conclusiones generales**

1. Teniendo en cuenta el efecto de la combinación del viscosificante MEF 32 con el aditivo superplastificante Dynamon SX 32 se confirma buen comportamiento por lo que atendiendo a su costo y disponibilidad a escala nacional podría las empresas constructoras utilizarlo de forma moderada como un aditivo a escala nacional.
2. Los ensayos realizados en los hormigones frescos y endurecidos empleando las combinaciones del viscosificante MEF 32 con el aditivo superplastificante Dynamon SX 32 logra su mejores resultados en los diferentes ensayos físico-mecánicos para dosis del 3% de MEF 32 y 0,6% del SX 32 con respecto al peso del cemento.
3. Los valores obtenidos de absorción por capilaridad en las muestras ME-7 mostraron un comportamiento favorable, lo cual indica que estamos en presencia de un hormigón de buena calidad, excepto las demás muestras, donde su desempeño es más deficiente clasificando como un hormigón de moderada calidad.

### **Recomendaciones**

1. Realizar nuevamente el ensayo de adsorción por capilaridad debido a la variabilidad de los resultados.
2. Elaborar un bioproducto más concentrado y evaluar su influencia en las propiedades físicas mecánicas del hormigón en estado fresco y endurecido.

**Bibliografía**

- 3 ABREU, M. 2011. *Análisis del Micro-ben como aditivo plastificante* Trabajo de Diploma, Universidad central "Marta Abreu" de las Villas.
- 4 ACI-116 2000. Cement and Concrete Terminology. ACI Manual of Concrete Practice 2000, Part 1.
- 5 ASTM C 494-92 1992. ASTM C494-92. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete
- 6 BARTOS, P. (1993a). Workability of special concrete mixes. *Materials and Structures* 26(155), 50.
- 7 BARTOS, P. (1992). Fresh concrete properties and tests. *Elsevier Science & Publication, Amsterdam, New York*.
- 8 BARTOS, P. (1993b). "Special concretes: Workability and mixing.". *Proc. Intl RILEM Workshop.TA416R5P, No. 24, E&FN Spon, London*.
- 9 BEAUPRÉ, D. Y. M. 1998. "Rheology of Fresh Concrete: Principles, Measurement, and Applications". in *Materials Science of Concrete V, Ed. J. Skalny and S. Mindess, American Ceramic Society, USA*, pp 149-190.
- 10 BEDOYA, C. 2009. *Estudio comparativo de modelos reológicos para lodos de perforación* Universidad Nacional de Colombia.
- 11 BERMEJO. 2009. *Dosificación, propiedades y durabilidad en hormigón autocompactante para edificación*
- 12 BETANCOURT, S. 2009. *Materiales y productos de la construcción. Departamento de Ingeniería Civil. UCLV*.
- 13 CIVILE, O. P. E. C. D. I. Year. Aditivos del concreto. In: Conferencia inicial del Seminario "Aditivos y Adiciones en el Concreto", 2008. Asocem e Indecopi.
- 14 DIAZ, M. 2012 *Evaluación de la fisuración de hormigones en zonas marinas, producto de cambios autógenos de volumen, específicamente debidos a la retracción por secado*. UCLV.

- 15 DIVER, S. 2001. Nature Farming and Effective Microorganisms. *Rhizosphere II: Publications, Resource Lists and Web Links from Steve Diver*.
- 16 F., S. 2002. Estudio de materiales: IV.-Conglomerantes Hidráulicos. *Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento*, p. 6-14.
- 17 FERRARIS 1999. Estudio de la sensibilidad e influencia de la composición en las propiedades reológicas y mecánicas de los hormigones autocompactables.
- 18 FERRARIS, A. M. 2003. "Relating fresh concrete viscosity measurements from different rheometers", . *Jour. of Research of the National Institute of Standards and Technology* 229, Vol. 108, N° 3., pp. 229-234.
- 19 GHOSH P., M. B., B.D. CHATTOPADHYAY, S. MANDAL. 2009. Microbial activity on the microstructure of bacteria modified mortar. *Cement and Concrete Composites*, 31, 93-98.
- 20 HIGA, T. 1995. 'What is EM Technology'.
- 21 HUSSAIN T, A. A., TAHIR J 2000. Technology of beneficial microorganisms (BM-Technology).
- 22 JUEZ, E. T. 1997. *Colegio Oficial de Arquitectos de Aragón. Hormigón Armado*, p. 41- 49.
- 23 KOEHLER, C. F. F. Y. E. 2008. Las propiedades del hormigón fresco
- 24 MARGOLLES, D. G. 2010. *Uso de plastificantes a partir de microorganismos eficientes en hormigones*. Universidad central "Marta Abreu" de las Villas.
- 25 MICRO-ORGANISMS.CO.UK, W. E. [Accessed].
- 26 MINDESS, A. Y. (1981). *Concrete*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- 27 MORÁN, J. Y. 1987. *Hormigón Armado* , *Barcelona, Editorial Gustavo Gili S.A.*, Tomo I p. 11-20.
- 28 NC120 2007. "Hormigón hidráulico. Especificaciones", .
- 29 NC228-1 2005. NC228-1Aditivos para hormigones, morteros y pastas, Parte 1: Aditivos para hormigón-Requisitos. . 1. Edición Junio 2005 ed.
- 30 NC354 2004 "Hormigón fresco.

- 31 NC-168 2002 Hormigón fresco. Determinación del tiempo de fraguado por resistencia a la penetración”.
- 32 NC-178 2002. Aridos - Analisis Granulometrico.
- 33 NC-181 2002. Aridos- Determinacion Del Peso Volumetrico
- 34 NC-251 2005. Aridos Para Hormigon Idrraulico - Requisitos.
- 35 NC-345 2011. Hormigón endurecido. Determinación de agua por capilaridad.
- 36 NC-724 2009. Determinación la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas.
- 37 NC-724 2009 Determinación la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas.
- 38 NC-ISO1920-2 2010. ENSALYOS AL HORMIGON –PARTE 2: PROPIEDADES DEL HORMIGON FRESCO.
- 39 NC-ISO1920-2 2010. ENSALYOS AL HORMIGON –PARTE 2: PROPIEDADES DEL HORMIGON FRESCO.
- 40 NC-ISO1920-3 2010. Ensayos al Hormigon - Parte 3: Elaboracion y curados de probetas para ensayos (ISO 1920-3:2004, IDT).
- 41 NEVILLE, A. M., AND BROOKS, J. J. (1987). Concrete technology. *Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex, UK, Wiley, New York.*
- 42 RAMACHANDRAN, S. K., RAMAKRISHNAN, V., BANG, S. S. 2001. Remediation of concrete using microorganisms. *American Concrete Institute Materials J*, 98, 3-9.
- 43 SCANLON, J. M. P. K., AND J. F. LAMOND, (1994). “Factors influencing concrete workability.” Significance of tests properties of concrete and concrete-making. *American Society for Testing and Materials, STP 169C, Philadelphia, PA.*
- 44 TEC., C. 2001. The BML Viscometer Operating Manual, Reykjavik, Iceland, . 123 p.
- 45 TRADING, E. 2002. *Effective Microorganisms (EM) from Sustainable Community Development* [Online]. [Accessed Effective Microorganisms @ emtrading.com, <http://www.emtrading.com.html>].

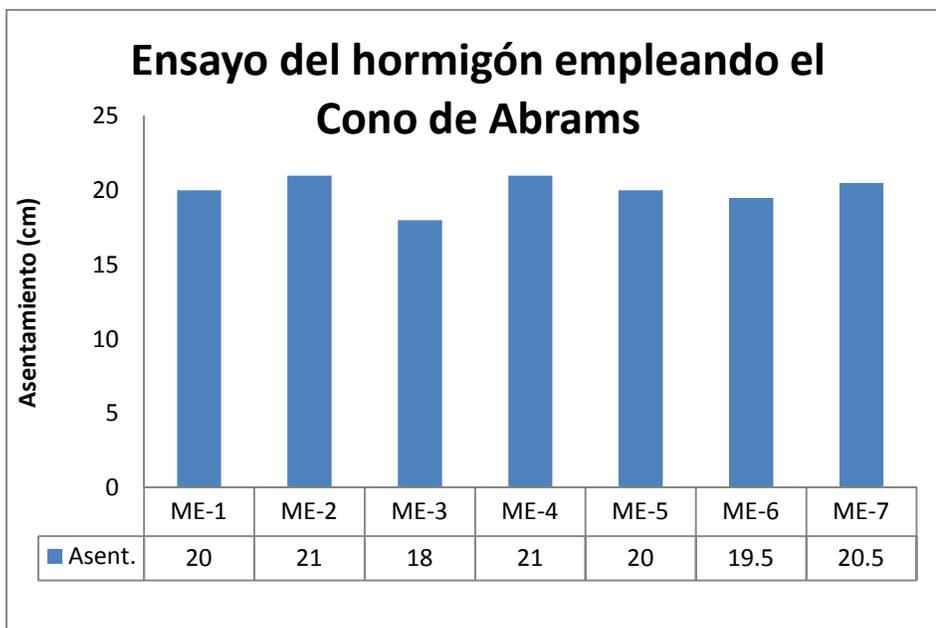
- 46 WALES, J. & SANGER, L. 2001. Reología. *Enciclopedia en línea*.
- 47 WALLEVIK, O. H. & WALLEVIK, J. E. 2011. Rheology as a tool in concrete science. *The use of rheographs and workability boxes. Cement and Concrete*
- 48 [WWW.ARQUITECTUBA.COM.AR/MONOGRAFIAS-DE-RQUITECTURA/](http://WWW.ARQUITECTUBA.COM.AR/MONOGRAFIAS-DE-RQUITECTURA/). *propiedades del hormigón endurecido* [Online]. [Accessed].
- 49 YATIM 2002. Characterization and effects of the effective micro-organics (em) and industrial waste (iw) material as partial mixture of concrete.
- 50 ZERBINO, R., BARRAGÁN, B. A., GARCÍA, T., & GETTU, R (2006). . Reología de hormigones autocompactables. . *Ciencia y Tecnología del Hormigón*, Ejemplar número 13. , pp.:51-64.

## ANEXOS

### Anexo 1: Asentamiento por el cono de Abrams.

#### Resultados del asentamiento

Muestra	Volumen MEF	Vol. Dynamón SX-32	R w/c	Asent.
ME-1	66.9 L (18%)	-	0.49	20
ME-2	-	3.50 L (0.95%)	0.4	21
ME-3	1.77 L (1%)	3.50 L (0.95%)	0.46	18
ME-4	1.31 L (0.35%)	3.50 L (0.95%)	0.4	21
ME-5	7.47 L (2%)	2.50 L (0.67%)	0.45	20
ME-6	11.20 L (3%)	1.20 L (0.3%)	0.44	19.5
ME-7	11.20 L (3%)	2.24 L (0.6%)	0.43	20.5



## ANEXOS

---

### ANEXO 2: Resumen Estadístico de ensayo de resistencia a compresión 7 días

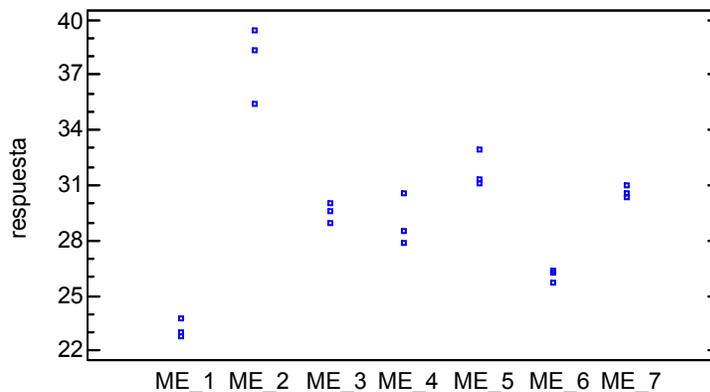
#### Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>
ME_1	3	23.2	0.52915	2.28082%	22.8	23.8	1.0	1.03086
ME_2	3	37.7	2.0664	5.48116%	35.4	39.4	4.0	-0.846026
ME_3	3	29.5	0.556776	1.88738%	28.9	30.0	1.1	-0.553065
ME_4	3	29.0	1.41774	4.88877%	27.9	30.6	2.7	0.982621
ME_5	3	31.7667	0.986577	3.1057%	31.1	32.9	1.8	1.16836
ME_6	3	26.1333	0.378594	1.4487%	25.7	26.4	0.7	-1.12932
ME_7	3	30.6667	0.305505	0.996212%	30.4	31.0	0.6	0.6613
Total	21	29.7095	4.41745	14.8688%	22.8	39.4	16.6	0.940833

	<i>Curtosis Estandarizada</i>
ME_1	
ME_2	
ME_3	
ME_4	
ME_5	
ME_6	
ME_7	
Total	0.282318

Esta tabla muestra varios estadísticos para cada una de las 7 columnas de datos. Para probar diferencias significativas entre las medias de las columnas, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Seleccione Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

Dispersión según Muestra



**Tabla ANOVA**

<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	374.118	6	62.353	54.02	0.0000
Intra grupos	16.16	14	1.15429		
Total (Corr.)	390.278	20			

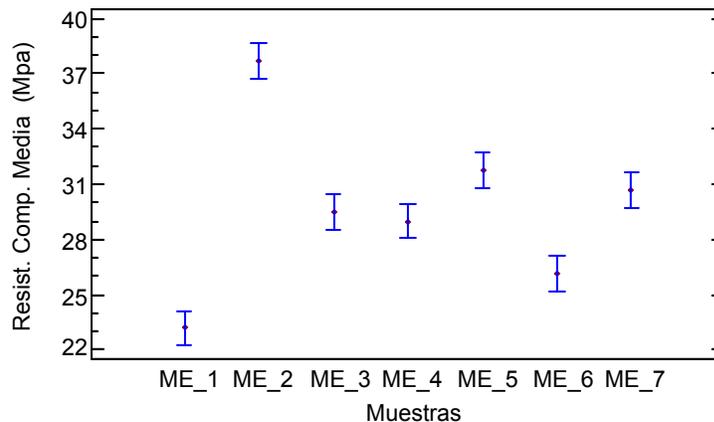
La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 54.0187, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 7 variables con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

**Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95.0%**

			<i>Error Est.</i>		
	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>(s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
ME_1	3	23.2	0.620292	22.2593	24.1407
ME_2	3	37.7	0.620292	36.7593	38.6407
ME_3	3	29.5	0.620292	28.5593	30.4407
ME_4	3	29.0	0.620292	28.0593	29.9407
ME_5	3	31.7667	0.620292	30.8259	32.7074
ME_6	3	26.1333	0.620292	25.1926	27.0741
ME_7	3	30.6667	0.620292	29.7259	31.6074
Total	21	29.7095			

Esta tabla muestra la media para cada columna de datos. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95.0% de las veces. Puede ver gráficamente los intervalos seleccionando Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas. En las Pruebas de Rangos Múltiples, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Resistencia 7 días



**Pruebas de Múltiple Rangos**

Método: 95.0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
ME_1	3	23.2	X
ME_6	3	26.1333	X
ME_4	3	29.0	X
ME_3	3	29.5	X
ME_7	3	30.6667	XX
ME_5	3	31.7667	X
ME_2	3	37.7	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
ME_1 - ME_2	*	-14.5	1.88146
ME_1 - ME_3	*	-6.3	1.88146
ME_1 - ME_4	*	-5.8	1.88146
ME_1 - ME_5	*	-8.56667	1.88146
ME_1 - ME_6	*	-2.93333	1.88146
ME_1 - ME_7	*	-7.46667	1.88146
ME_2 - ME_3	*	8.2	1.88146
ME_2 - ME_4	*	8.7	1.88146
ME_2 - ME_5	*	5.93333	1.88146

## ANEXOS

---

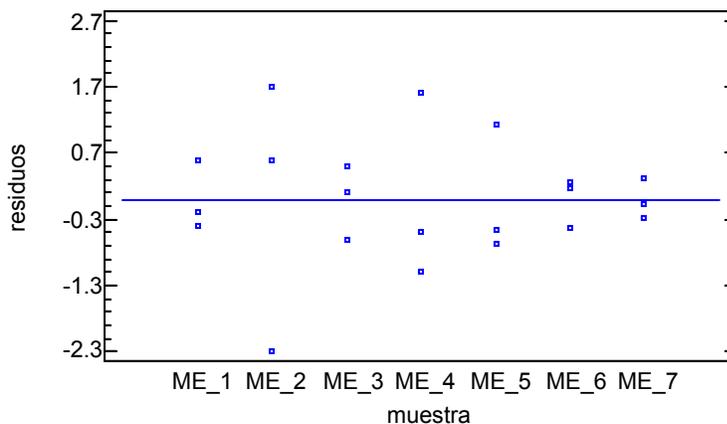
ME_2 - ME_6	*	11.5667	1.88146
ME_2 - ME_7	*	7.03333	1.88146
ME_3 - ME_4		0.5	1.88146
ME_3 - ME_5	*	-2.26667	1.88146
ME_3 - ME_6	*	3.36667	1.88146
ME_3 - ME_7		-1.16667	1.88146
ME_4 - ME_5	*	-2.76667	1.88146
ME_4 - ME_6	*	2.86667	1.88146
ME_4 - ME_7		-1.66667	1.88146
ME_5 - ME_6	*	5.63333	1.88146
ME_5 - ME_7		1.1	1.88146
ME_6 - ME_7	*	-4.53333	1.88146

\* 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 17 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 5 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. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

## ANEXOS

Gráfico de Residuos



### Anexo: 3 Resumen estadístico del ensayo de resistencia a compresión a los 28 días

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>
ME_1	3	31.3333	1.06927	3.41256%	30.4	32.5	2.1	0.6613
ME_2	3	47.9	1.38564	2.89278%	47.1	49.5	2.4	1.22474
ME_3	3	36.8	0.4	1.08696%	36.4	37.2	0.8	0.0
ME_4	3	35.0667	0.757188	2.15928%	34.2	35.6	1.4	-1.12932
ME_5	3	37.8333	0.404145	1.06823%	37.4	38.2	0.8	-0.510608
ME_6	3	32.8	0.264575	0.806631%	32.5	33.0	0.5	-1.03086
ME_7	3	36.5333	0.208167	0.569799%	36.3	36.7	0.4	-0.914531
Total	21	36.8952	5.13648	13.9218%	30.4	49.5	19.1	2.55164

	<i>Curtosis Estandarizada</i>
ME_1	
ME_2	
ME_3	
ME_4	
ME_5	
ME_6	

## ANEXOS

ME_7	
Total	1.35927

Esta tabla muestra varios estadísticos para cada una de las 7 columnas de datos. Para probar diferencias significativas entre las medias de las columnas, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Seleccione Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

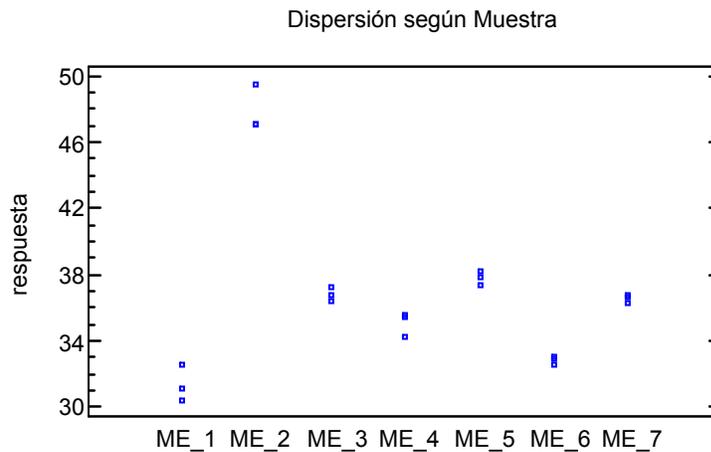


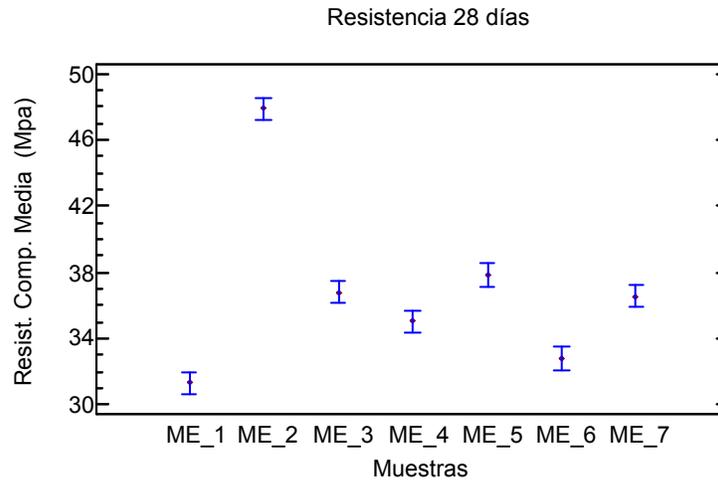
Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	519.523	6	86.5871	148.80	0.0000
Intra grupos	8.14667	14	0.581905		
Total (Corr.)	527.67	20			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 148.8, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 7 variables con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias

## ANEXOS

son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.



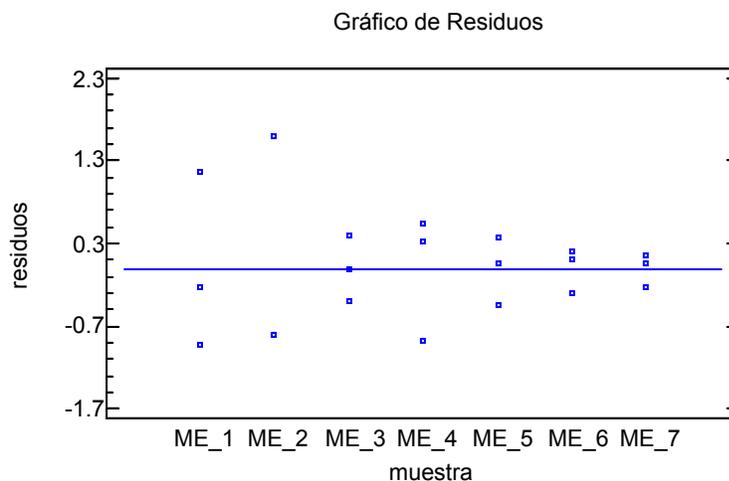
**Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95.0%**

			<i>Error Est.</i>		
	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>(s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
ME_1	3	31.3333	0.440418	30.6654	32.0013
ME_2	3	47.9	0.440418	47.2321	48.5679
ME_3	3	36.8	0.440418	36.1321	37.4679
ME_4	3	35.0667	0.440418	34.3987	35.7346
ME_5	3	37.8333	0.440418	37.1654	38.5013
ME_6	3	32.8	0.440418	32.1321	33.4679
ME_7	3	36.5333	0.440418	35.8654	37.2013
Total	21	36.8952			

Esta tabla muestra la media para cada columna de datos. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95.0% de las veces. Puede ver gráficamente los intervalos seleccionando Gráfico de Medias de la lista de

## ANEXOS

Opciones Gráficas. En las Pruebas de Rangos Múltiples, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.



### Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
ME_1	3	31.3333	X
ME_6	3	32.8	X
ME_4	3	35.0667	X
ME_7	3	36.5333	X
ME_3	3	36.8	X
ME_5	3	37.8333	X
ME_2	3	47.9	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
ME_1 - ME_2	*	-16.5667	1.33587
ME_1 - ME_3	*	-5.46667	1.33587
ME_1 - ME_4	*	-3.73333	1.33587
ME_1 - ME_5	*	-6.5	1.33587
ME_1 - ME_6	*	-1.46667	1.33587
ME_1 - ME_7	*	-5.2	1.33587
ME_2 - ME_3	*	11.1	1.33587

## ANEXOS

---

ME_2 - ME_4	*	12.8333	1.33587
ME_2 - ME_5	*	10.0667	1.33587
ME_2 - ME_6	*	15.1	1.33587
ME_2 - ME_7	*	11.3667	1.33587
ME_3 - ME_4	*	1.73333	1.33587
ME_3 - ME_5		-1.03333	1.33587
ME_3 - ME_6	*	4.0	1.33587
ME_3 - ME_7		0.266667	1.33587
ME_4 - ME_5	*	-2.76667	1.33587
ME_4 - ME_6	*	2.26667	1.33587
ME_4 - ME_7	*	-1.46667	1.33587
ME_5 - ME_6	*	5.03333	1.33587
ME_5 - ME_7		1.3	1.33587
ME_6 - ME_7	*	-3.73333	1.33587

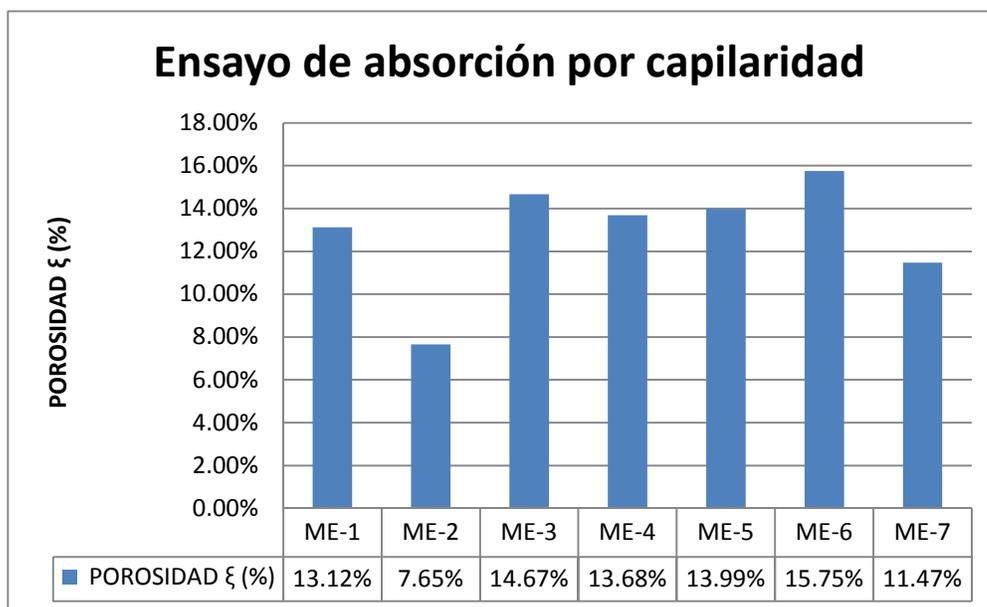
\* indica una diferencia significativa.

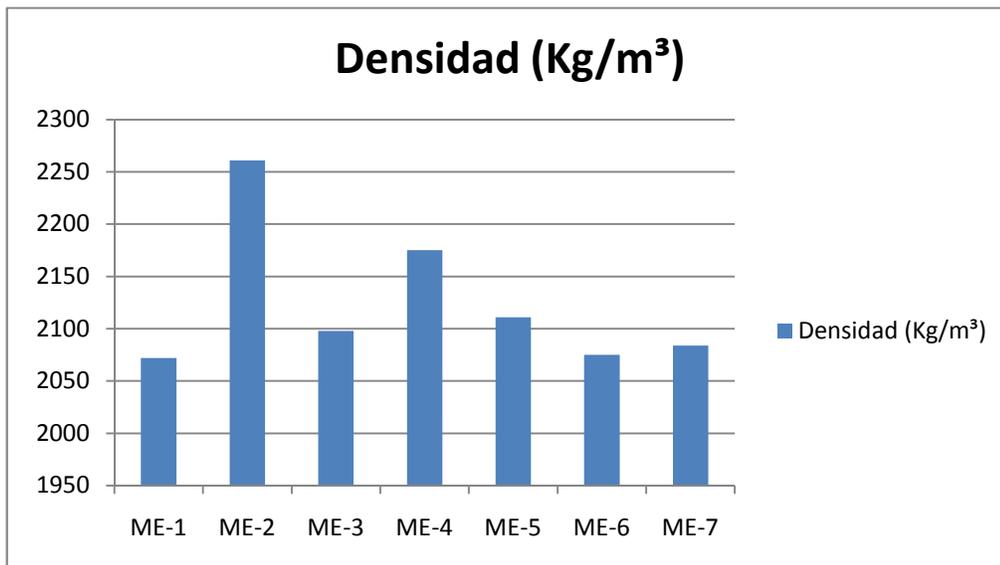
Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 18 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 5 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. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

## ANEXOS

### Anexo 4: Porosidad

Muestra	Volumen MEF	Vol. Dynamón SX-32	POROSIDAD $\xi$ (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
ME-1	66.9 L (18%)	-	13.12%	2072
ME-2	-	3.50 L (0.95%)	7.65%	2261
ME-3	1.77 L (1%)	1.75 L (0.95%)	14.67%	2098
ME-4	1.31 L (0.35%)	3.50 L (0.95%)	13.68%	2175
ME-5	7.47 L (2%)	2.50 L (0.67%)	13.99%	2111
ME-6	11.20 L (3%)	1.20 L (0.3%)	15.75%	2075
ME-7	11.20 L (3%)	2.24 L (0.6%)	11.47%	2084





**Anexo 5: Resumen Estadístico prueba industrial Resistencia a compresión 7 días**

**Resumen Estadístico**

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
ME_7 P_ INDUSTRIAL	3	27.3	0.754983	2.76551%	26.5	28.0	1.5
Hormigon BW normal	3	30.8333	0.80829	2.62148%	30.1	31.7	1.6
Total	6	29.0667	2.05783	7.07969%	26.5	31.7	5.2

	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
ME_7 P_ INDUSTRIAL	-0.41407	
Hormigon BW normal	0.510608	
Total	0.0333784	-1.00238

## ANEXOS

Esta tabla muestra varios estadísticos para cada una de las 2 columnas de datos. Para probar diferencias significativas entre las medias de las columnas, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Seleccione Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

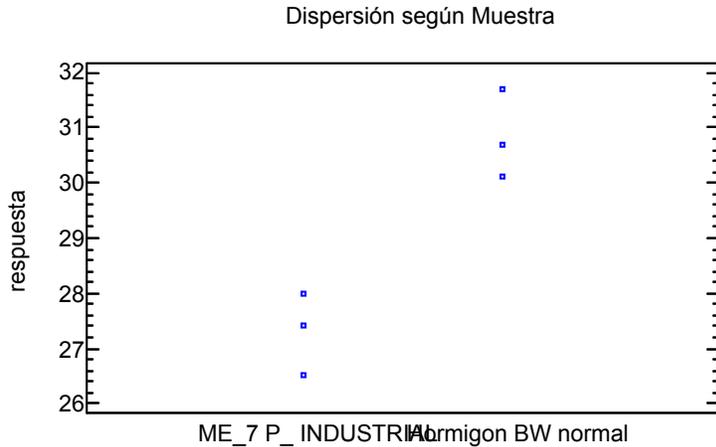
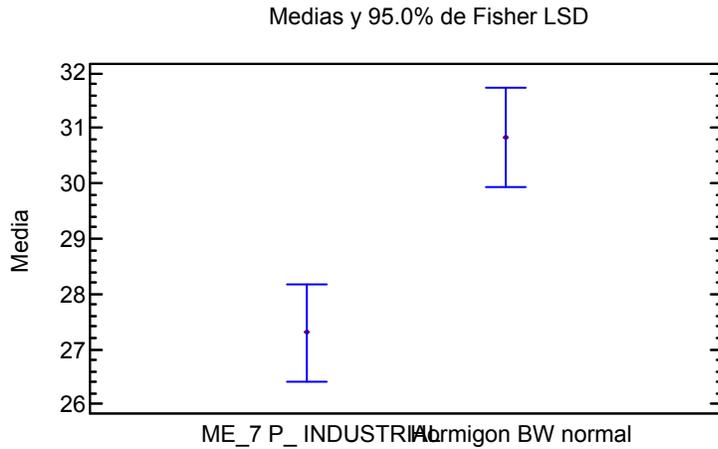


Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	18.7267	1	18.7267	30.62	0.0052
Intra grupos	2.44667	4	0.611667		
Total (Corr.)	21.1733	5			

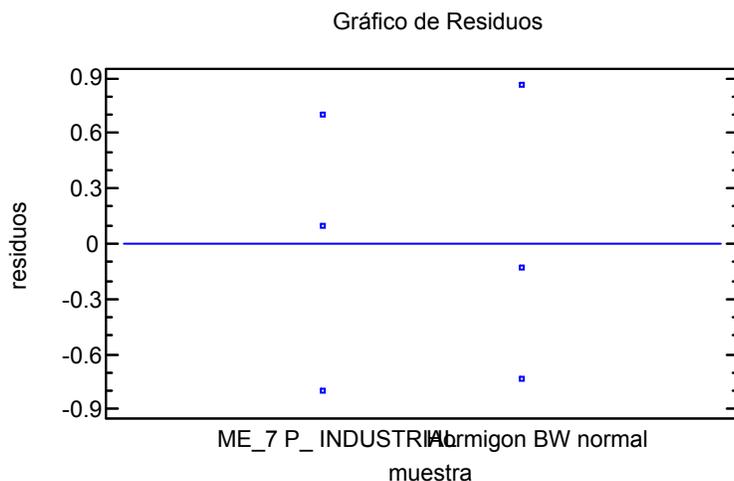
La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 30.6158, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 2 variables con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.



**Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95.0%**

			<i>Error Est.</i>		
	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>(s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
ME_7 P_ INDUSTRIAL	3	27.3	0.451541	26.4135	28.1865
Hormigon BW normal	3	30.8333	0.451541	29.9468	31.7198
Total	6	29.0667			

Esta tabla muestra la media para cada columna de datos. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95.0% de las veces. Puede ver gráficamente los intervalos seleccionando Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas. En las Pruebas de Rangos Múltiples, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.



**Pruebas de Múltiple Rangos**

Método: 95.0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
ME_7 P_ INDUSTRIAL	3	27.3	X
Hormigon BW normal	3	30.8333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
ME_7 P_ INDUSTRIAL - Hormigon BW normal	*	-3.53333	1.77297

\* 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. Se ha colocado un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 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

## **ANEXOS**

---

para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

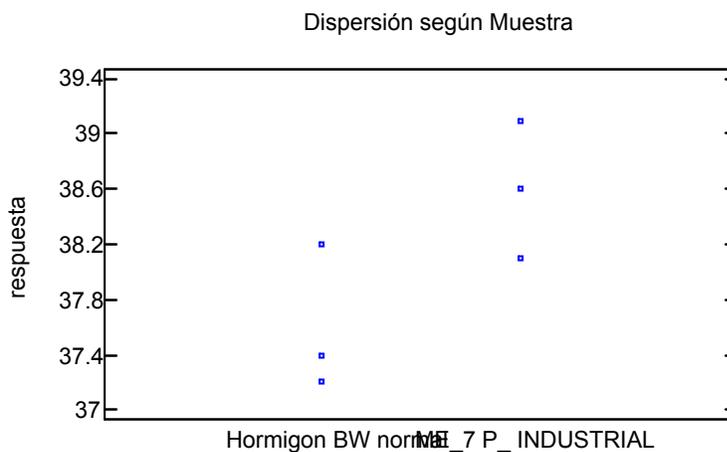
**Anexo 6: Resumen Estadístico prueba industrial Resistencia a compresión 28 días**

**Resumen Estadístico**

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
Hormigon BW normal	3	37.6	0.52915	1.40731%	37.2	38.2	1.0
ME_7 P_ INDUSTRIAL	3	38.6	0.5	1.29534%	38.1	39.1	1.0
Total	6	38.1	0.715542	1.87806%	37.2	39.1	1.9

	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
Hormigon BW normal	1.03086	
ME_7 P_ INDUSTRIAL	0.0	
Total	0.0442191	-0.50972

Esta tabla muestra varios estadísticos para cada una de las 2 columnas de datos. Para probar diferencias significativas entre las medias de las columnas, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Seleccione Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.



## ANEXOS

**Tabla ANOVA**

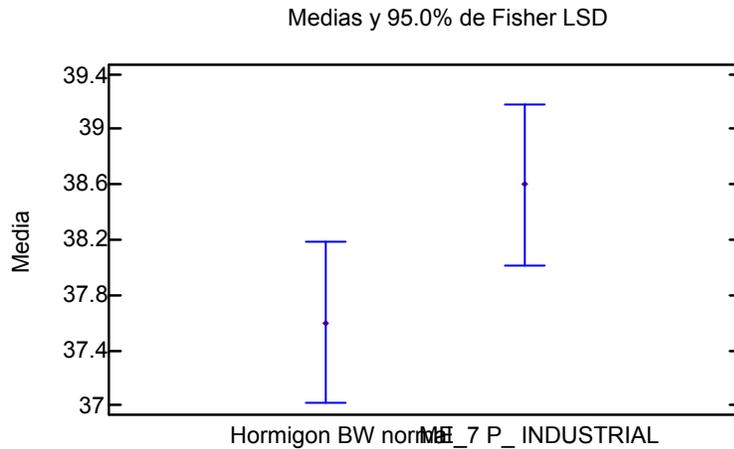
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.5	1	1.5	5.66	0.0761
Intra grupos	1.06	4	0.265		
Total (Corr.)	2.56	5			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 5.66038, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 2 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

**Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95.0%**

			<i>Error Est.</i>		
	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>(s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
Hormigon BW normal	3	37.6	0.297209	37.0165	38.1835
ME_7 P_ INDUSTRIAL	3	38.6	0.297209	38.0165	39.1835
Total	6	38.1			

Esta tabla muestra la media para cada columna de datos. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95.0% de las veces. Puede ver gráficamente los intervalos seleccionando Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas. En las Pruebas de Rangos Múltiples, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.



**Pruebas de Múltiple Rangos**

Método: 95.0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Hormigon BW normal	3	37.6	X
ME_7 P_ INDUSTRIAL	3	38.6	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Hormigon BW normal - ME_7 P_ INDUSTRIAL		-1.0	1.16699

\* 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. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. 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. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.