



Facultad de construcciones.

Departamento de Ingeniería Civil.

Trabajo de Diploma

Título: Aditivos a base de Microorganismos Eficientes en la fabricación de
Traviesas de Hormigón.

Autor: Ernesto Gómez León

Tutor: Dr. Ing. Yosvany Díaz Cárdenas

MSc. Ing. María Betania Díaz García

Santa Clara 2015

“Año 56 de la Revolución”

*“Saber esperar es un gran talento que falta
a casi todos los que están dotados de talentos”*

José Martí

*A mi familia por todo el amor y cariño
que he recibido de ellos durante toda mi vida.*

*A mi padre por nunca dejar de confiar en mí
y apoyarme en todo momento.*

*A mi madre, por lograr que mi camino sea más fácil,
pues sin ella hubiera sido extremadamente difícil...
por ayudarme a realizar mi sueño, que más que mío,
es también suyo.*

A todas aquellas personas que de una forma u otra ayudaron a forjarme en la vida como un profesional más.

A mis padres que son el mayor tesoro de mi vida y sin ellos no habría llegado hasta aquí.

A mi familia que es lo más importante en la vida.

A mis amigos y compañeros que aunque no estén presentes, siempre son parte de mis logros.

Al Dr. Yosvany Díaz y la MSc. Ing. María Betania mis tutores, que a pesar de su escaso tiempo se mantuvieron al tanto de mi trabajo, ayudándome en todo lo que fuera necesario.

A todos los profesores que me ayudaron tanto en mi trabajo de diploma como en mi carrera, para conseguir revelar la persona que soy hoy.

Tampoco podría dejar de agradecer a Yoel por su incondicional ayuda con los ensayos realizados en la fábrica de traviesas y a todo el personal de la empresa que me brindo su asistencia y afecto.

A todo aquel que de una forma u otra se sienta partícipe de este trabajo.

Muchas Gracias!!!

Resumen:

El presente trabajo constituye una investigación de carácter teórico – práctico sobre la utilización del bioproducto MEF-32, como aditivo viscosificante en la producción de traviesas de hormigón en la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIIF), este trabajo tiene como principal objetivo la evaluación de la influencia del bioproducto MEF-32 y su combinación con un aditivo comercial sobre las propiedades reológicas y físico – mecánicas de los hormigones utilizados para la fabricación de traviesas, así como su influencia sobre los procesos tecnológicos de obtención de traviesas de hormigón.

La investigación estuvo centrada fundamentalmente en tres cuestiones: una primera de tipo teórica y bibliográfica donde se aborda el las últimas tendencias sobre la temática, los conceptos y principios generales. En una segunda etapa se estudia la influencia del bioproducto MEF- 32 así como su combinación con un aditivo comercial en hormigones de consistencia seca. Se realiza la certificación del mismo para su uso en hormigones para la fabricación de traviesas, sustituyendo los plastificantes tradicionales.

Se establecen los parámetros tecnológicos para su utilización (Tiempo de curado y dosificación). Finalmente se evaluó el comportamiento del bioproducto MEF – 32 mediante un estudio de caso en la planta de fabricación de traviesas de hormigón (EIIF) a escala industrial.

Se aplicó un grupo de técnicas instrumentales y analíticas de investigación, como evaluación y análisis de la consistencia del hormigón utilizando el consistómetro Vebe, se realizaron los ensayos de resistencia a compresión a las edades de 7h, 24h, 7 días y 28 días y % de absorción a los 28 días.

Se demuestra que cuando dicho aditivo es utilizado en combinación con un superplastificante comercial, en este caso se emplea el N200 y teniendo en cuenta sus dosificaciones se alcanzan los valores más adecuados para la producción de hormigones de consistencia seca.

Abstract:

This piece of writing is just a theoretical – practical research on the use of the bio-product MEF-32 as additive that increases viscosity in the concrete railroad ties production that take place in the Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIIF). This work has as main objective the assessment of the influence of this bio-product itself and also in combination with a commercial additive on the rheological, physical and mechanical properties of the concrete use in the production of railroad ties as well as the influence of this additive on technological processes to obtain concrete railroad ties.

We focus the research in three main aspects: the first had a theoretical and bibliographical nature used to depict the state of the art in this field as well as the general concepts and principles. The second is centered in the study of the influence of the already mentioned bio-product itself or in combination with other commercial additives on dry consistency concrete. The third is just certifying the product for future use with concrete on the production of railroad ties to substitute traditional plasticizers.

We also establish the technological parameters for its use (curing time y mixture design). Finally, the behavior of this bio-product was assessed by analyzing the case of the factory of concrete railroad ties (EIIF) on industrial scale.

We applied a group of instrumental and analytical techniques of research such as: the assessment and analysis of concrete consistency using the Vebe consistometer, carrying out of trials of compression strength at 7 hours, 24 hours, 7 days, and 28 days and also the implementation of trails to determine the percentage of absorption after 28 days.

It's been proved that this additive when used in combination with commercial superplasticizer in this case the N200 and taking into consideration the mixture design, we reached suitable values to produce dry consistency concrete.

Índice

Resumen:	IV
Abstract:	V
Índice	VI
Introducción:	1
CAPÍTULO I: Hormigones de consistencia seca. Utilización de aditivos en el mejoramiento del comportamiento físico mecánico del hormigón:.....	6
1.0. Hormigón. Generalidades	6
1.1. Definición.....	7
1.2. Características del Hormigón en estado fresco (Propiedades reológicas).....	7
1.2.1. Modelos Reológicos:.....	8
1.2.1.1. Modelo de Bingham	8
1.2.1.2. Modelo de Herschel-Bulkey.....	9
1.2.2. Técnicas de evaluación del concreto en estado fresco	10
1.2.3. Consistencia del hormigón fresco:	11
1.3. Características del hormigón endurecido:	15
1.3.1. Fraguado y endurecimiento:	15
1.3.2. Resistencia a la compresión	16
1.3.3. Durabilidad del hormigón	17
1.4. Aditivos. Definición.....	18
1.4.1. Clasificación general.....	19
1.4.1.1. Los que influyen sobre la consistencia de la mezcla.....	19
1.4.1.2. Los que influyen sobre el tiempo de fraguado de la mezcla:	20
1.4.2. Los aditivos en Cuba.	21
1.5. Aditivos bioplastificantes	21

1.5.1. Surgimiento y desarrollo de la tecnología de Microorganismos Eficientes (ME).	
Definición	22
1.5.2. Aplicación de la tecnología ME en la construcción.....	23
1.5.3. Antecedentes de la tecnología EM en Cuba	24
1.5.3.1. Aplicación de la tecnología ME en Cuba.....	25
1.6. Conclusiones parciales.....	25
Capítulo II: Diseño y fabricación de hormigones secos a partir del empleo del bioproducto MEF-32	27
2.1. Introducción.	27
2.2. Materiales y métodos.	27
2.2.1. Materiales utilizados.	27
2.2.2. Caracterización de las materias primas utilizadas.	28
2.2.2.1. Resultados de la caracterización de los áridos.	28
2.2.2.2. Resultados de caracterización del cemento P-35	31
2.2.2.3. Resultados de caracterización del Bioproducto MEF – 32.	32
2.2.2.4. Resultados de caracterización del superplastificante Mapefluid N200.....	33
2.3. Descripción del programa experimental.	34
2.4. Procedimiento experimental.....	35
2.4.1. Diseño experimental.	36
2.4.2. Caracterización estadística del diseño experimental.....	38
2.5. Ensayos físico mecánicos realizados.....	39
2.5.1. Descripción de Ensayos físico mecánicos realizados.	39
2.6. Aplicación en EIIF (hormigones secos).....	43
2.7. Conclusiones parciales del Capítulo II	46
Capítulo 3: Análisis y discusión de los resultados obtenidos en los ensayos en hormigones de consistencia seca.	47

3.0. Análisis de resultados.....	47
3.1. Evaluación del viscosificante MEF – 32 en la reología de hormigones de consistencia seca. 47	
3.1.1. Impacto del viscosificante MEF – 32 en la reología de los hormigones de consistencia seca	47
3.1.2. Influencia de la combinación del viscosificante MEF – 32 y el plastificante Mapefluy N – 200, en la reología de los hormigones de consistencia seca.....	49
3.2. Evaluación del viscosificante MEF – 32 en las propiedades físico – mecánicas en los hormigones de consistencia seca.	51
3.2.1. Influencia del MEF – 32 en la resistencia a compresión de los hormigones de consistencia seca	51
3.2.2. Influencia de la combinación del viscosificante MEF – 32 y el plastificante Mapefluy N – 200 en la resistencia a compresión de los hormigones de consistencia seca. 52	
3.2.2.1. Resumen de resultados de los ensayos de resistencia a compresión realizados..	53
3.2.3. Análisis del porcentaje de absorción a partir del uso del bioproducto MEF – 32 en los hormigones de consistencia seca.....	54
3.2.4. Evaluación del % de absorción a partir de la combinación del viscosificante MEF – 32 y el plastificante Mapefluy N – 200.....	55
3.3. Análisis de los resultados de la prueba industrial.	56
3.3.1. Resultados de ensayos físico – mecánicos.....	56
3.3.1.1. Consistencia de la mezcla de hormigón (prueba industrial).	56
3.3.1.2. Ensayo de Resistencia a compresión de las probetas (prueba industrial).	58
3.3.1.3. Ensayo de capacidad portante de las traviesas.	58
3.4. Conclusiones parciales del Capítulo III	59
Conclusiones Generales:	61
Recomendaciones:	62
Referencia Bibliográfica.	63

Anexos.....	66
Anexo II: Análisis estadístico ensayo de resistencia 7 horas	67
Anexo II: Análisis estadístico ensayo de resistencia 24 horas	71
Anexo II: Análisis estadístico ensayo de resistencia 7 días	76
Anexo II: Análisis estadístico ensayo de resistencia 28 días	81
Anexo III: Análisis estadístico ensayo de % absorción	86

Introducción:

El proceso de desarrollo social, tecnológico e industrial a través de la historia ha sugerido la creación de obras estructurales cada vez mayores y más complejas, proporcionando el surgimiento y desarrollo del hormigón, el incremento que ha experimentado el empleo del mismo, así como la aparición de nuevas técnicas de su preparación y puesta en obra, están íntimamente ligados al uso de productos adicionados al hormigón en pequeña cantidad (menor de 5% en masa de contenido de cemento en hormigón), con estos productos llamados aditivos se consigue mejorar algunas de las propiedades del mismo, lo cual es de gran importancia para obtener una mezcla que cumpla con las especificaciones para ser utilizado en diferentes tipos de obras y que a su vez propicien un considerable ahorro económico.

Los elevados costos de los aditivos en el mercado mundial, impiden la aplicación de estas técnicas, en muchos países poco desarrollados, firmas como: MAPEI (Italia), CHRYSO (Francia), BASF (Alemania) y SIKA (Suiza), tienen monopolizado más del 90% del mercado de aditivos químicos del cemento. Considerando estos costos, Cuba mediante el ministerio de la construcción se está insertando en la industria de estos productos, con el objetivo de desarrollar la producción nacional de los mismos y así elevar las prestaciones de Hormigones, pastas y morteros.

El instituto tecnológico Carlos J. Finlay trabaja hoy de conjunto con el Centro de Investigaciones 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), en la evaluación de uno de sus productos (MEF Microorganismo Eficiente del Finlay) en la industria de la construcción, encaminando la investigación hacia la utilización de los EM en la fabricación de diferentes tipos de hormigones y morteros valorando su capacidad de mejorar las propiedades de los mismos en estado Fresco y Endurecido. Este aditivo llamado en sus comienzos MEF19 dio resultado aunque con altos porcentos de adición, luego basado en la misma tecnología se elabora un nuevo bioproducto llamado MEF32 que mejora las propiedades viscosificantes en los hormigones pero se continúa utilizando un alto por ciento de dicho aditivo en la mezcla. En el 2012 se comienza a utilizar combinaciones del

bioproducto MEF32 y aditivos comerciales para logra reducir la utilización de estos últimos, no obstante a pesar de sus logros como aditivo viscosificante en mezclas de hormigones se continúan usando por sus características reductoras de agua aditivos de importación.

Aunque en los últimos años se han producido en el instituto “Carlos J. Finlay” aditivos plastificantes tipo MEF, se continúan utilizando otros adquiridos en el exterior como el N200, N100, SRC-20 o el SX-32, por ello **la importancia del tema de estudio** está en analizar el comportamiento de combinaciones de aditivos plastificantes, para la reducción de los costos de importaciones de aditivos comerciales en la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIIF). El **campo de acción** de la investigación es el estudio de la acción del bioproducto MEF32 y las combinaciones de dicho aditivo y el N200 y su efecto en las propiedades físico-mecánicas de los hormigones producidos en la EIIF. De lo anterior se infiere que el **objeto de estudio** consista en la determinación de la dosificación más favorable para la utilización de dicho aditivo en la producción de hormigones secos.

Problema Científico:

¿En qué medida se manifiesta el aporte del producto viscosificante MEF32 en la calidad de los hormigones fabricados en la EIIF?

Hipótesis:

En la medida que sea empleado el bioproducto MEF32 se puede mejorar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón de consistencia seca, lo que permitirá perfeccionar la tecnología de su uso, ajustándola a los parámetros encontrados como óptimos en la producción de traviesas de hormigón.

Objetivo General:

Evaluación de la influencia del bioproducto MEF- 32 y su combinación con un aditivo comercial, sobre las propiedades reológicas y físico – mecánicas de los hormigones utilizados para la fabricación de traviesas.

Objetivos Específicos:

1. Examinar los antecedentes teóricos, que fundamenta el empleo potencial del producto viscosificante MEF32 y su aporte en la calidad del hormigón.
2. Evaluación de la acción bioproducto MEF- 32 así como su combinación con un aditivo comercial en hormigones de consistencia seca.
3. Certificación del bioproducto MEF- 32 para su uso en hormigones para la fabricación de traviesas, sustituyendo los plastificantes tradicionales.
4. Evaluar la influencia del bioproducto MEF – 32 mediante un estudio de caso en una planta de fabricación de traviesas de hormigón

Tareas Científicas:

1. Investigación bibliográfica de la literatura científica publicada sobre aditivos para el cemento y su comportamiento en hormigones con aditivos plastificantes y la influencia de los mismos en sus propiedades físico-mecánicas.
2. Obtención de datos para la confección del capítulo I.
3. Redacción y confección del capítulo I.
4. Caracterización de los materiales a utilizar en la elaboración de las mezclas y descripción de los ensayos realizados
5. Selección de los materiales a utilizar en la confección de especímenes.
6. Fabricación de especímenes a escala de laboratorio.
7. Realizar ensayos para evaluar propiedades físico-mecánicas de las mezclas de hormigones en estado fresco y endurecido producidos en la fábrica de traviesas EIIF
8. Evaluación del comportamiento del MEF 32 y su combinación con el N 200 (MEF-32+N-200) y en la reducción del contenido de agua de amasado en mezclas sin afectar la fluidez y colocación.
9. Obtención de los resultados para elaborar el capítulo 2
10. Redacción y confección del capítulo II
11. Procedimiento de los resultados experimentales
12. Análisis de los resultados del comportamiento físico - mecánico de los

hormigones en estado fresco y endurecido teniendo en cuenta los aditivos utilizados MEF-32 y N - 200 .

13. Análisis estadístico de los resultados alcanzados en la investigación.

14. Escritura del capítulo III

15. Redacción de tesis

16. Discusión de la tesis

Novedad Científica:

Permitirá al fabricar hormigones secos sustituir parcialmente los aditivos hoy empleados por un bioproducto nacional MEF32, logrando disminuir el consumo de aditivos comerciales y por consiguiente el costo de adquisición en nuestro país.

Aporte Práctico:

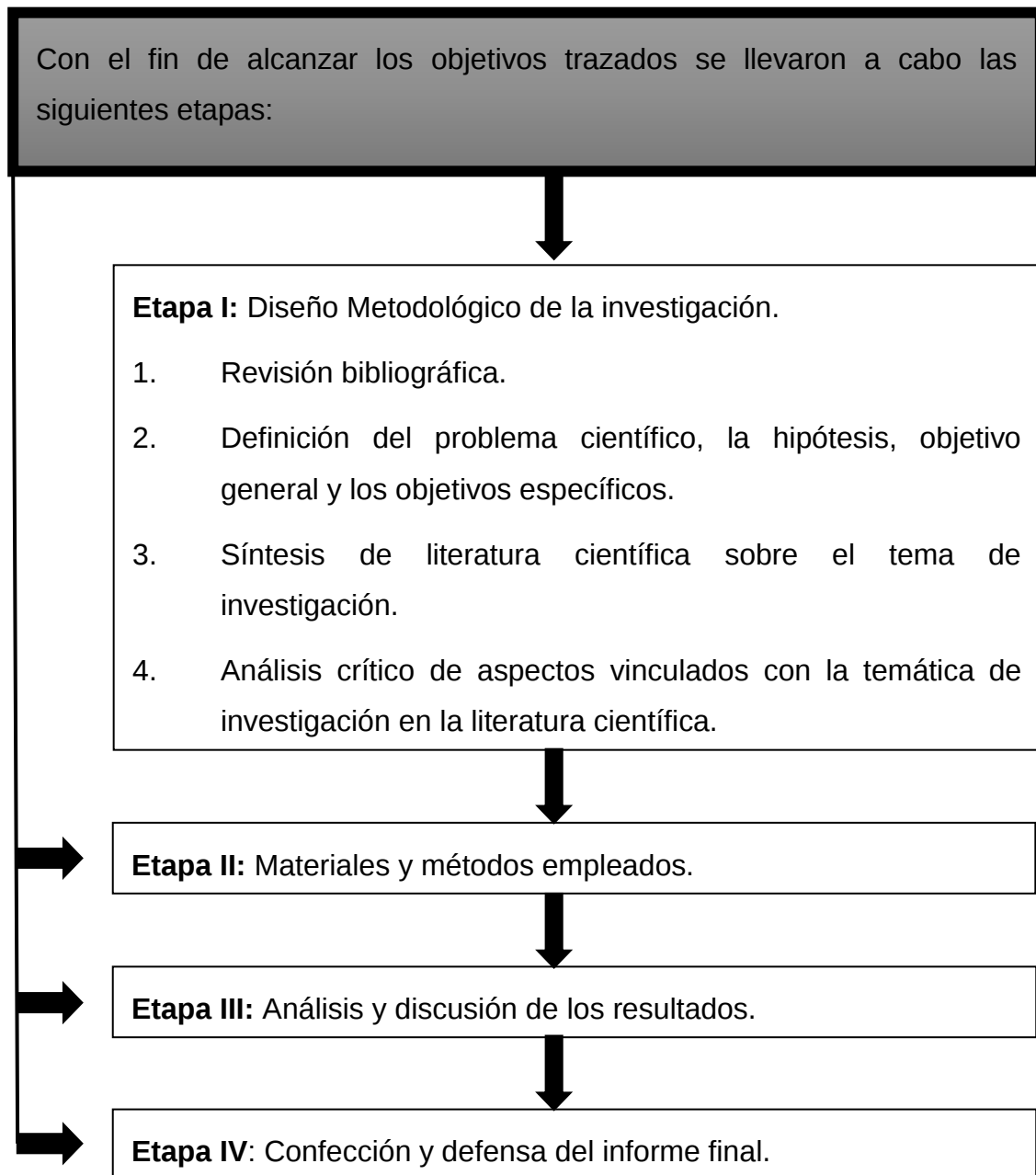
1. Se fortalece el uso del aditivo viscosificante MEF 32 combinado con el aditivo comercial (N-200) evaluando su influencia en la mezcla de hormigón y así corregir su comportamiento físico-mecánico,
2. Se consolida, la utilización del producto viscosificante MEF32, en el aumento de la calidad y disminución de los costos en las mezclas de hormigón seco.

El trabajo se presenta en una **estructura de tres capítulos:**

- **Capítulo I: Hormigones de consistencia seca. Utilización de aditivos en el mejoramiento del comportamiento físico mecánico del hormigón:** Referencia la situación actual del hormigón en el mundo y en Cuba; haciendo énfasis en los hormigones de consistencia seca. Se ofrece información sobre los aditivos plastificantes, su uso en Cuba y el mundo. Se reseña el surgimiento de la tecnología EM y tendencias actuales en la obtención del MEF, así como la influencia del mismo en el comportamiento del hormigón seco.
- **Capítulo II: Diseño y fabricación de hormigones secos a partir del empleo del bioproducto MEF32:** detalla las características de las materias primas utilizadas, así como los métodos y normativas utilizadas para la evaluación de las mezclas objeto de estudio.

- **Capítulo III: Análisis del bioproducto MEF32 en el comportamiento físico mecánico de hormigones de consistencia seca.** Se expone los resultados obtenidos e interpretación de los resultados para la formulación y empleo del bioproducto MEF – 32.

Metodología de la investigación:



CAPÍTULO I: Hormigones de consistencia seca. Utilización de aditivos en el mejoramiento del comportamiento físico mecánico del hormigón:

1.0. Hormigón. Generalidades

El incremento que ha experimentado el empleo del hormigón, así como la aparición de nuevas técnicas de preparación del mismo y de puesta en obra, están ligados al uso de productos adicionados al hormigón en pequeña cantidad (menor del 5 % en masa del contenido de cemento en el hormigón), con lo que se consigue mejorar algunas de sus propiedades; estos productos se conocen con el nombre de aditivos. La posibilidad de conseguir con los hormigones tradicionales materiales capaces de satisfacer las exigencias que, en general, han impuesto los avances tecnológicos, como, la estabilidad frente a unas determinadas condiciones ambientales, aumento del rendimiento en la elaboración, transporte y puesta en obra del hormigón, así como otros casos que por lo general determinan la capacidad evolutiva en la construcción. (NC54-207., 1980, Jonkers, 2007)

Se debe tener en cuenta que la industria química moderna ha puesto a disposición de la industria del hormigón una serie amplia de productos químicos sintetizados y de subproductos que han tenido una influencia muy notable en su desarrollo, al permitir que las características o propiedades del hormigón se modifiquen en el sentido deseado. Los graves problemas en el diseño de las mezclas, colocación y falta de mano de obra así como las malas prácticas constructivas reducen de modo general las propiedades mecánicas de los hormigones; trayendo consigo una disminución acelerada de sus características de resistencia y durabilidad. (Venkovic, 2014)

El problema que plantea el conocimiento de la acción de los aditivos aplicados al hormigón es sin duda complejo, ya que se ha de tener un conocimiento profundo de la físico-química de los cementos y de los diferentes productos o sustancias que componen dichos aditivos, del mecanismo de los procesos que tienen lugar entre ambos (cemento-aditivo) durante el proceso de hidratación, así como sobre su influencia en las propiedades del hormigón, por lo que dado el número y complejidad

de las variables que intervienen se precisa una colaboración amplia entre técnicos de distintas especialidades.(Abreu Rodríguez, 2011, Mindess, 1981)

Todo ello ha motivado la necesidad de realizar estudios profundos en los que los aditivos han desempeñado un papel fundamental- para conocer la acción de dichos productos sobre el sistema complejo cemento-agua, sin descartar a los áridos y a las armaduras.(Bartos, 1993a)

1.1. Definición

El hormigón es el material resultante de la mezcla de cemento (u otro conglomerante) con áridos (grava, gravilla y arena) y agua. La mezcla de cemento con arena y agua se denomina mortero. Existen hormigones que se producen con otros conglomerantes que no son cemento, como el hormigón asfáltico que usa betún para realizar la mezcla. El cemento, mezclado con agua, se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo. (Beltramone, 2003)La principal característica estructural del hormigón es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante), por este motivo es habitual usarlo asociado al acero, recibiendo el nombre de hormigón armado, comportándose el conjunto muy favorablemente ante las diversas sollicitaciones. Además, para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos y adiciones, existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras, etc. La importancia que ha adquirido el empleo de los aditivos en la elaboración del hormigón ha hecho que, actualmente, la normativa nacional e internacional, consideren a estos productos como uno de los componentes del hormigón.(Bartos, 1993a)

1.2. Características del Hormigón en estado fresco (Propiedades reológicas)

La reología (ciencia del flujo y deformación de la materia) del concreto es una ciencia relativamente nueva; la medición de las propiedades reológicas del concreto son importantes para la industria de la construcción dado que el concreto es emplazado en su estado fluido. Desafortunadamente dado la compleja composición de materiales del concreto, este no permite establecer un método exacto para predecir su

flujo.(Barriga, 2003)

Recientemente el uso más difundido de concretos de alto performance ha dado lugar al estudio de concreto con propiedades específicas para una aplicación. El ACI menciona algunas propiedades que son “críticas para una aplicación”: trabajabilidad, compactación, estabilidad, consistencia, compactación, etc. Los conceptos comunes abarcan todas estas propiedades en definiciones como “la facilidad con que el concreto puede ser mezclado, colocado, compactado y terminado” o “la habilidad del concreto para fluir”

Las pruebas comúnmente realizadas al concreto en estado fresco miden intrínsecamente sus propiedades reológicas, sin embargo un mejor entendimiento de las propiedades del concreto en estado fresco es necesario para poder predecir su flujo.

1.2.1. Modelos Reológicos:

El concreto en estado fresco puede ser considerado como un fluido, con tal que un cierto grado de flujo pueda ser obtenido. Esta condición puede ser definida en concretos con slump mayor a 100 mm y libres de segregación. Es por esto que el concreto rolado compactado es excluido por esta condición

El concreto en estado fresco es considerado como un fluido de Bingham y algunos tipos de concreto exhiben el comportamiento de un fluido de Herschel – Bulkey como el concreto autocompactado.(Barriga, 2003)

1.2.1.1. Modelo de Bingham

Durante los primeros estudios de reología del concreto se propuso a la ecuación de Bingham como la más apropiada para describir el comportamiento del concreto fresco, la ecuación es la siguiente:

$$\tau = \tau_0 + \mu \dot{\gamma}$$

Donde: τ = esfuerzo cortante aplicado

τ_0 = esfuerzo de fluencia o de deformación inicial

$\dot{\gamma}$ = tasa de corte, dv/dy (gradiente de velocidad)

μ = viscosidad plástica

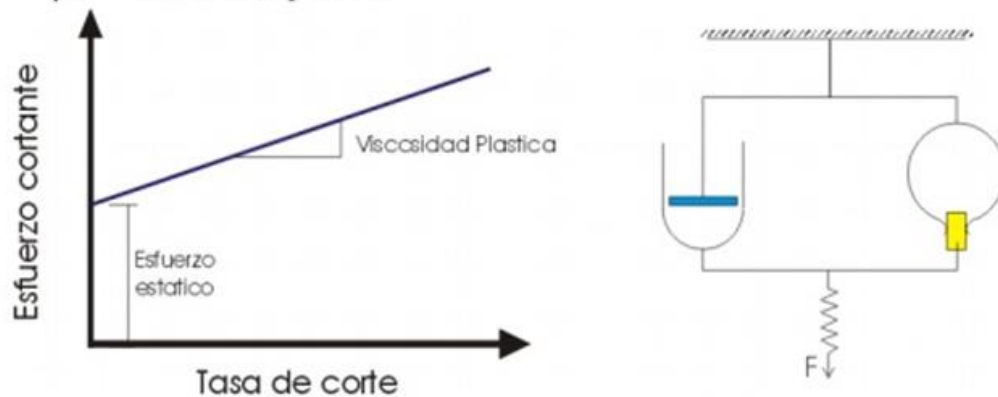


Fig.1. Modelo de Bingham, grafica de la ecuación y modelo reológico

El modelo de Bingham es un modelo complejo y se logra combinando un elemento de Newton y otro de Hooke acoplado a una corredera de rozamiento, a la que se denomina elemento de Saint Venant como se muestra en la Fig.1.

1.2.1.2. Modelo de Herschel-Bulkey

Algunos concretos no cumplen la función lineal de la ecuación de Bingham como es el caso de los concretos autocompactados y autonivelantes, el cual usando la ecuación de Bingham nos daría resultados de esfuerzo de fluencia negativos, en este caso particular se usa la ecuación de Herschel – Bulkley (HB).

$$\tau = \tau_0' + a \dot{\gamma}^b$$

Donde: τ = esfuerzo cortante

τ_0' = esfuerzo de deformación inicial o estático

$\dot{\gamma}$ = tasa de corte

a y b = parámetros de comportamiento

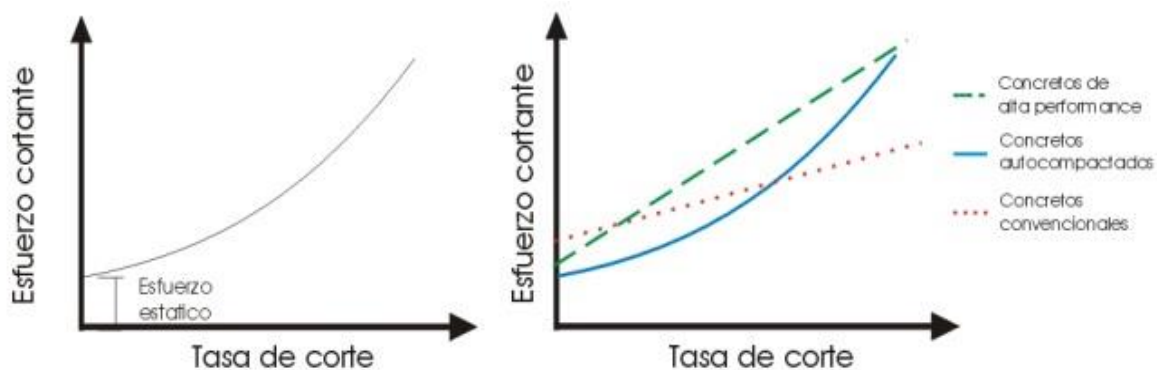


Fig .2. Grafica de la ecuación de Herschel Bulkey, y graficas características para diferentes tipos de concretos.

En el caso de la ecuación de HB, la viscosidad plástica no puede ser calculada directamente. Para esto se planteó reducir el número de parámetros de la ecuación de HB, la cual puede ser considerada como una relación lineal para un corto rango de la tasa de corte, por lo cual se recomienda la siguiente ecuación para el cálculo de la viscosidad:

$$\mu' = \frac{3a}{b+2} \dot{\gamma}_{\max}^{b-1}$$

Donde: μ = viscosidad plástica corregida

$\dot{\gamma}_{\max}$ = máxima tasa de corte ejecutada.

De aquí se deduce una ecuación de Bingham modificada determinada por aproximación de la ecuación de Herschel-Bulkey con una línea recta. En resumen, es necesario destacar que el concreto es necesariamente caracterizado por al menos dos parámetros, sin embargo las pruebas usadas comúnmente para describir el flujo están limitadas a un solo parámetro que no está relacionado con la ecuación de Bingham o la de HB.

1.2.2. Técnicas de evaluación del concreto en estado fresco

Los parámetros que pueden ser usados para describir el flujo del concreto en estado fresco son el esfuerzo de fluencia y la viscosidad. Algunas pruebas que evalúan el comportamiento del concreto en su estado fresco se relacionan con uno de estos

dos parámetros, cuando una característica de estas pruebas debería ser poder determinar los 2 parámetros.

Actualmente existen muchas pruebas empíricas y no empíricas para evaluar al concreto en su estado fresco, pero es muy difícil relacionar sus resultados. Solo se puede hacer una comparación adecuada entre concretos usando la misma prueba.

Hay 2 categorías amplias, las pruebas que miden un solo parámetro y las que miden dos. Las pruebas usualmente aplican 2 métodos(Barriga, 2003):

- Por gravedad: El esfuerzo aplicado es por el mismo peso del material.
- Por Vibración: El esfuerzo es deducido por la dinámica de la prueba, en estos métodos, el esfuerzo de fluencia y el flujo del concreto es muy diferente al observado cuando no se aplica vibración.

En la tabla 1, se observa una lista de las pruebas más conocidas para evaluar al concreto, estas pruebas intentan simular el comportamiento del concreto de obra en laboratorio.

Tabla 1: Pruebas usadas para evaluar al concreto en estado fresco(Barriga, 2003)

Prueba	Esfuerzo Aplicado	Comentarios
Cono de Abrams	Gravedad	Relacionada al esfuerzo de fluencia
Esfera de Kelly	Presión por penetración	Relacionada al esfuerzo de fluencia
Prueba de Vicat	Presión por penetración	Relacionada al esfuerzo de fluencia
K-slump	Gravedad	Relacionada a la segregación
Viscosímetro	Gravedad	Relacionada a la viscosidad
Prueba de Vebe	Por vibración	Para concretos con alto esfuerzo de fluencia

1.2.3. Consistencia del hormigón fresco:

La consistencia es la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse y consiguientemente para ocupar todos los huecos del molde o encofrado. Influyen en ella distintos factores, especialmente la cantidad de agua de amasado, pero también el tamaño máximo del árido, la forma de los áridos y su granulometría. (Asaga and Roy, 1980, Ozlem, 2010)

La consistencia se fija antes de la puesta en obra, analizando cual es la más adecuada para la colocación según los medios que se dispone de compactación. Se trata de un parámetro fundamental en el hormigón fresco.

1.2.3.1. Técnicas de evaluación de la consistencia del hormigón en estado fresco:

Cono de Abrams.

Entre los ensayos que existen para determinar la consistencia, el más empleado es el cono de Abrams. Consiste en llenar con hormigón fresco un molde troncocónico de 30 cm de altura. La pérdida de altura que se produce cuando se retira el molde, es la medida que define la consistencia. (Asaga and Roy, 1980, Ozlem, 2010) Oposición que presenta el hormigón a experimentar deformaciones propiedad ESTÁTICA (física inherente al Hormigón) (Ver Fig.3)

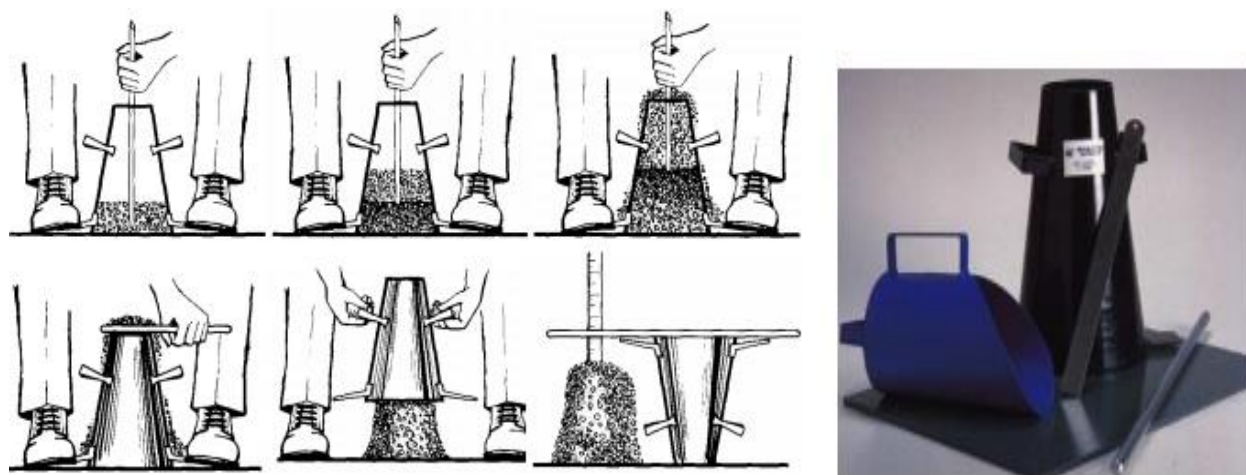


Fig.3 Medición de la consistencia del hormigón

Tabla 2: Tipos de Consistencia en el cono de Abrams.

CONSISTENCIA EN CONO		NORMATIVA EUROPEA	
Consistencia	Asentamiento en cm.	Clase	Asentamiento en mm.
Seca	0 a 2	S1	10 a 40
Plástica	3 a 5	S2	50 a 90
Blanda	6 a 9	S3	100 a 150
Fluida	10 a 15	S4	≥ 160
Líquida	≥ 16		

Tabla 3: Características del tipo de consistencia en el cono de Abrams.

Consistencia del Hormigón	Aspecto	Asentamiento [cm]	Método de Compactación
A-1 Seca	Suelto y sin cohesión	1,0 a 4,5	Vibración potente, apisonado enérgico en capas delgadas
A-2 Plástica	Levemente cohesivo	5,0 a 9,5	Vibración normal, varillado y apisonado.
A-3 Blando	Levemente fluido	10,0 a 15,0	Vibración leve, varillado.
A-4 Superfluidificado	Fluido	15,5 a 22,0	Muy leve y cuidadosa vibración, varillado

Mesa de sacudidas:

El ensayo de consistencia por medio de la mesa de sacudidas consiste en medir el desparramado o aumento de diámetro que experimenta la base inferior de un tronco de cono de hormigón moldeado en un molde de 13 cm de altura, y 17 y 25 cm de diámetros superior e inferior respectivamente, situado sobre una mesa circular al someterla a quince sacudidas de 12 mm de alto durante 15 segundos.

El índice de consistencia del hormigón se expresa como:

$$IC = \frac{D - 25}{25} 100$$

Siendo: D = Diámetro del círculo que ocupa el hormigón después del ensayo.

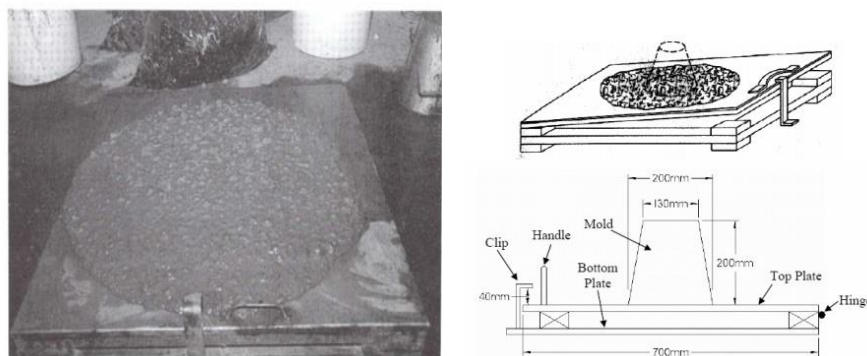


Fig .4. Mesa de sacudidas.

Tabla 4: Clasificación del hormigón de acuerdo con los valores del índice de consistencia en mesa de sacudidas.

I.C	Consistencia
10 a 30	Seca
30 a 50	Plástica
50 a 70	Blanda
70 a 100	Fluida

Consistómetro Vebe:

El método Vebe de medida de la consistencia, que es una variante del cono de Abrams, es muy útil en los casos en los que el cono de Abrams carece de sensibilidad como ocurre con los hormigones muy secos y con los reforzados con fibras, que darían asientos nulos. El sistema consiste en medir el tiempo que tarda un tronco de cono de hormigón, moldeado con el cono de Abrams y colocado en el interior de un recipiente cilíndrico situado sobre una mesa vibrante, en deformarse y tomar la forma de éste bajo la acción de un vibrador de 3.000 c.p.m. con una aceleración máxima de 3 a 4 g. La consistencia del hormigón se mide en segundos Vebe e indica el tiempo transcurrido desde que se inicia la vibración hasta que el hormigón se compacta dando una superficie horizontal, lo que se aprecia por medio de un disco de plástico que acompaña libremente al hormigón durante su descenso.

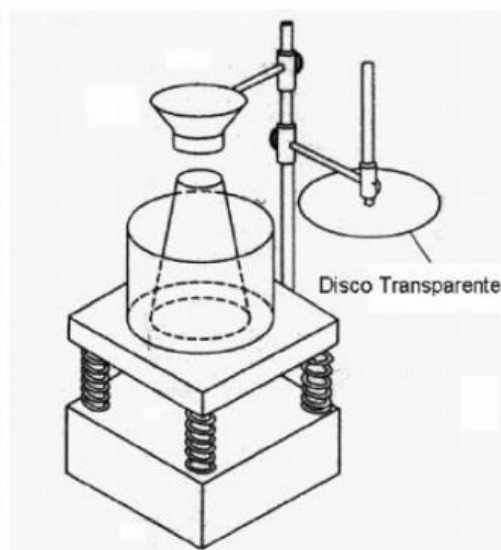


Fig .5. Consistómetro Vebe

Tabla 5: Tipo de consistencia en consistómetro Vebe

Tiempo Vebe (s)	Consistencia
30 a 18	Extremadamente seca
18 a 10	Muy seca
10 a 5	Seca

1.3. Características del hormigón endurecido:

1.3.1. Fraguado y endurecimiento:

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.

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. Esto se observa de forma sencilla por simple presión con un dedo sobre la superficie del hormigón. Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provoquen el endurecimiento de la masa y que se caracteriza por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas. (Aggarwal, 2008, NC120, 2007, Carbonari, 2012)

El fraguado y endurecimiento no son más que dos estados separados convencionalmente; en realidad solo hay un único proceso de hidratación continuo.

En el cemento portland, el más frecuente empleado en los hormigones, el primer componente en reaccionar es el aluminato tricálcico con una duración rápida y corta (hasta 7-28 días). Después el silicato tricálcico, con una aportación inicial importante y continua durante bastante tiempo. A continuación el silicato bicálcico con una aportación inicial débil y muy importante a partir de los 28 días.(Aggarwal, 2008, NC120, 2007)

El fenómeno físico de endurecimiento no tiene fases definidas. El cemento está en polvo y sus partículas o granos se hidratan progresivamente, inicialmente por contacto del agua con la superficie de los granos, formándose algunos compuestos cristalinos y una gran parte de compuestos microcristalinos asimilables a coloides que forman una película en la superficie del grano. A partir de entonces el endurecimiento continúa dominado por estas estructuras coloidales que envuelven los granos del cemento y a través de las cuales progresa la hidratación hasta el núcleo del grano. (Aggarwal, 2008, NC120, 2007, Asaga and Roy, 1980)

El hecho de que pueda regularse la velocidad con que el cemento amasado pierde su fluidez y se endurece, lo hace un producto muy útil en construcción. Una reacción rápida de hidratación y endurecimiento dificultaría su transporte y una cómoda puesta en obra rellenando todos los huecos en los encofrados. Una reacción lenta aplazaría de forma importante el desarrollo de resistencias mecánicas. En las fábricas de cemento se consigue controlando la cantidad de yeso que se añade al clinker de cemento.

En condiciones normales un hormigón portland normal comienza a fraguar entre 30 y 45 minutos después de que ha quedado en reposo en los moldes y termina el fraguado trascurridas sobre 10 ó 12 horas. Después comienza el endurecimiento que lleva un ritmo rápido en los primeros días hasta llegar al primer mes, para después aumentar más lentamente hasta llegar al año donde prácticamente se estabiliza. (Aggarwal, 2008, NC120, 2007)

1.3.2. Resistencia a la compresión

En el proyecto previo de los elementos, la Resistencia característica (f_{ck}) del hormigón es aquella que se adopta en todos los cálculos como resistencia a compresión del mismo, y dando por hecho que el hormigón que se ejecutará resistirá ese valor se dimensionan las medidas de todos los elementos estructurales. Para comprobar que el hormigón colocado en obra tiene la resistencia requerida se rellenan con el mismo hormigón unos moldes cilíndricos normalizados y se calcula su resistencia en un laboratorio realizando ensayos de rotura a compresión. (Aggarwal, 2008, NC120, 2007, ACI-116, 2000, ASTM C 494-92, 1992)

La Resistencia característica de proyecto (f_{ck}) establece por tanto el límite inferior, debiendo cumplirse que cada amasada de hormigón colocada tenga esa resistencia

como mínimo. En la práctica, en la obra se realizan ensayos estadísticos de resistencias de los hormigones que se colocan y el 95% de los mismos debe ser superior a f_{ck} , considerándose que con el nivel actual de la tecnología del hormigón, una fracción defectuosa del 5% es perfectamente aceptable. (Aggarwal, 2008, NC120, 2007)

La resistencia del hormigón a compresión se obtiene en ensayos de rotura a compresión de probetas cilíndricas normalizadas realizados a los 28 días de edad y fabricadas con las mismas amasadas puestas en obra. La Instrucción española (EHE) recomienda utilizar la siguiente serie de resistencias características a compresión a 28 días (medidas en Newton/mm^2): 20; 25; 30, 35; 40; 45 y 50. (Aggarwal, 2008, NC120, 2007)

1.3.3. Durabilidad del hormigón

La durabilidad del hormigón es la capacidad para comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas y químicas agresivas a lo largo de la vida útil de la estructura protegiendo también las armaduras y elementos metálicos embebidos en su interior. (Díaz, 2012, Diver, 2001, Dransfield 2013)

Por tanto no solo hay que considerar los efectos provocados por las cargas y sollicitaciones, sino también las condiciones físicas y químicas a las que se expone. Por ello se considera el tipo de ambiente en que se va a encontrar la estructura y que puede afectar a la corrosión de las armaduras, ambientes químicos agresivos, zonas afectadas por ciclos de hielo-deshielo, etc. (Asaga and Roy, 1980, Ozlem, 2010)

Para garantizar la durabilidad del hormigón y la protección de las armaduras frente a la corrosión es importante realizar un hormigón con una permeabilidad reducida, realizando una mezcla con una relación agua/cemento baja, una compactación idónea, un peso en cemento adecuado y la hidratación suficiente de éste añadiendo agua de curado para completarlo. De esta forma se consigue que haya los menos poros posibles y una red capilar interna poco comunicada y así se reducen los ataques al hormigón. (Asaga and Roy, 1980, Ozlem, 2010)

En los casos de existencia de sulfatos en el terreno o de agua de mar se deben emplear cementos especiales. Para prevenir la corrosión de armaduras hay que cuidar el recubrimiento mínimo de las mismas. (Bartos, 1993a, Bartos, 1992, Bartos, 1993b)

Absorción:

La permeabilidad al agua del hormigón es una propiedad muy importante, pero en algunos casos es decisiva. Por ejemplo, obras hidrotécnicas, cubiertas de edificaciones. 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.

La absorción del concreto puede ser definida como la relación entre la masa de agua que penetra los poros saturables y el peso seco de la muestra penetrada por el agua.

$$A = 100(P_{ss} - P_s)/P_s$$

1.4. Aditivos. Definición.

Desde que se utiliza el concreto como material principal en la construcción se ha buscado la manera de retardar su fraguado o hacerlo más manejable, sin que por esto pierda sus características principales.

Los antecedentes más remotos de los aditivos químicos se encuentran en los concretos romanos, a los cuales se incorporaba sangre y clara de huevo. Fue así como desde 1885 se empezó a utilizar como aditivo el cloruro de calcio, para regular su fraguado, pero su empleo no prosperó debido a los altos costos del producto.(Betacourt, 2009, Abreu Rodríguez, 2011)

La introducción de los aditivos químicos en el mercado de la construcción comenzó a consolidarse en la década de los 50, de manera progresiva pero lenta, debido a la actitud conservadora de muchos organismos. La actividad de estos productos fue considerada inicialmente como algo misterioso y sus productores eran vistos como alquimistas modernos. (Betacourt, 2009)

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.

El primer antecedente de los aditivos químicos modernos se encuentran en el empleo ocasional del sulfato naftaleno formaldehído, que fue utilizado en 1930 para actuar como dispersante en concretos con adiciones negro de humo, destinados a carriles de pavimentos que por su coloración pudieran llamar la atención de los conductores de

vehículos. Si bien en 1932 se registró una patente de los EE.UU. no se aplicó por su elevado costo y exceder los requerimientos de las construcciones de concreto de esa época.(Betacourt, 2009, Civil, 2014, Zerbino, 2006)

Ya en la década de los 60 se comienza a normalizar su aplicación y entre finales de los 70 y principios de los 80 se afirmó el conocimiento científico del comportamiento de los aditivos, que se emplean para dar propiedades especiales al concreto, tales como trabajabilidad, durabilidad y resistencia, con el fin de permitir su empleo en situaciones constructivas especiales, como bombeos de altura y colocación en clima cálido, entre otros comportamientos del concreto, en su estado fresco o endurecido.(NC228, 2005)

Los aditivos son productos que se adicionan en pequeña proporción al concreto durante el mezclado en porcentajes entre 0.1% y 5% (según el producto o el efecto deseado) de la masa o peso del cemento, con el propósito de producir una modificación en algunas de sus propiedades originales o en el comportamiento del concreto en su estado fresco y/o en condiciones de trabajo en una forma susceptible de ser prevista y controlada. (NC228, 2005)

En la actualidad los aditivos permiten la producción de concretos con características diferentes a los tradicionales, han dado un creciente impulso a la construcción y se consideran como un nuevo ingrediente, conjuntamente con el cemento, el agua y los agregados. Existen ciertas condiciones o tipos de obras que los hacen indispensables. (Bermejo, 2009, Betacourt, 2009, Brooks, 2014)

1.4.1. Clasificación general

Los aditivos se clasifican generalmente por la acción que desempeñan. Es válido mencionar que en la actualidad casi ningún plastificante comercial tiene un solo fin, sino que combinan dos o más efectos aunque siempre uno de ellos será el principal, entre las formas más comunes de clasificación están:

1.4.1.1. Los que influyen sobre la consistencia de la mezcla

Plastificantes/reductores de agua: Sin modificar la consistencia permiten reducir el contenido de agua de un determinado hormigón o sin modificar el contenido de agua,

incrementan el asentamiento, también permiten producir ambos efectos simultáneamente. Los aditivos plastificantes (reductores del agua de amasado) son capaces de reducir el agua de amasado necesaria hasta un 10 o un 12% para lograr la misma consistencia de la mezcla de hormigón y se adicionan frecuentemente en dosis del 0,2 al 0,5% en peso del cemento de la mezcla. (Mindess, 1981, Civil, 2014, Brizuela, 2013)

Súper plastificantes/reductores de agua de alto rango: Estos aditivos sin modificar la consistencia permiten altas reducciones de agua en un determinado hormigón o sin modificar el contenido de agua, aumentan considerablemente el asentamiento, también pueden producir ambos efectos simultáneamente, son capaces de reducir el agua necesaria de un 12 a un 40% o más, para lograr la misma consistencia de la mezcla de hormigón y se adicionan frecuentemente en dosis del 0,5 al 2% en peso del cemento de la mezcla. (Mindess, 1981, Civil, 2014, Brizuela, 2013)

1.4.1.2. Los que influyen sobre el tiempo de fraguado de la mezcla:

Acelerador del fraguado: Incrementa la velocidad inicial de reacción entre el agua y el cemento, disminuyendo el tiempo del principio de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estado rígido. Pueden llegar a reducir el tiempo de fraguado de la mezcla de hormigón hasta unos 30 segundos. Se emplean en dosis altas, del 2 al 5% en peso del cemento. (Faroug et al., 1999, Ferraris et al., 2001, Gómez, 2010)

Es en extremo importante esclarecer que el tiempo de fraguado de la mezcla de hormigón se considera el tiempo que ésta demora en pasar de su fase plástica a su fase endurecida, en tanto que el endurecimiento es la fase posterior en la que el hormigón va adquiriendo ya resistencias mecánicas medibles. Por supuesto que división entre fraguado y endurecimiento es un tanto convencional, pero resulta indispensable para conocer la esencia de los aditivos que influyen sobre el tiempo de fraguado de las mezclas de hormigón. (Mindess, 1981, Civil, 2014, Brizuela, 2013)

Retardador del fraguado: Retarda la velocidad inicial de la reacción del cemento con el agua, aumentando el tiempo del principio de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estado rígido. Estos aditivos retardan el tiempo de fraguado de la de

hormigón y también influyen sobre el proceso de endurecimiento de la misma, haciéndolo más lento al menos en los primeros 7 días. Se emplean por lo general en dosis bajas del orden de 0,15 a 0,5% en peso del cemento. (Mindess, 1981, Civil, 2014, Brizuela, 2013)

1.4.2. Los aditivos en Cuba.

En Cuba contamos en el mercado de la construcción con aditivos químicos de segunda generación avanzada (poliacrilatos) y de tercera generación (policarboxilatos), sin embargo las pruebas efectuadas hasta el momento con las materias primas de que disponemos, no nos han permitido obtener de las tan elevadas prestaciones que se manifiestan en otros países, esto puede deberse a que nuestros áridos, especialmente las arenas de trituración (que son la mayoría) adolecen de un elevado módulo de finura, o sea de una carencia de finos, que es esencial para que estos aditivos manifiesten sus mayores posibilidades. Por otro lado los cementos cubanos tampoco se caracterizan por una finura elevada, al menos al nivel con que se cuentan en otros países. Por todo ello el balance actual de estos aditivos en cuanto a desempeño – costos no resulta adecuado si se les compara por ejemplo con los aditivos básicos de segunda generación modificados, a base esencialmente de naftalenos sulfonatos.

Los aditivos que habitualmente se están utilizando en la provincia de Villa Clara son N-100, SRC-20, N-200 y Dynamons SX-32 de la firma MAPEI. Para tener una mayor vista del consumo de aditivos en Villa Clara. (Brooks, 2014)

Actualmente se están llevando a cabo investigaciones para determinar los comportamientos de algunos productos como aditivos en la producción de morteros y hormigones buscando un aditivo que sea completamente cubano y que por su precio pueda ser utilizado en algunos tipos de hormigones.

1.5. Aditivos bioplastificantes

Últimamente, el tema más abarcado en todas las industrias es la biotecnología blanca. Esta rama de la biotecnología se dedica a la producción industrial de productos químicos mediante procesos biológicos. (Higa, 1991, Hussain T, 2000, Juez, 1997) Pero ahora el objeto va más allá. Se trata de producir a gran escala tanto combustibles como productos químicos destinados a gran consumo y otros compuestos a los que se les

denomina “building blocks”; es decir, compuestos que sirven como precursores de una inmensa variedad de productos químicos. A todos estos productos obtenidos mediante procesos biológicos se les denomina genéricamente bioproductos. (Andrew et al., 2013, Higa, 1995)

En la industria de la construcción se están llevando investigaciones para lograr aditivos y adiciones que deriven de productos que se logren mediante procesos biológicos. (Bolobova and Kondrashchenko, 2000, ASTM C494, 1992, Flatt, 2012, Margolles, 2010) Hay varios motivos que impulsan el interés por los bioproductos y su crecimiento en el mercado como son:

- La posibilidad de disponer de tecnologías eficientes de bajo costo: por ejemplo para la producción de nuevos precursores químicos o para mejorar los procesos existentes.
- La sostenibilidad a largo plazo de la fabricación de productos químicos.
- La inestabilidad de los precios de las materias primas fósiles (sólo tenemos que fijarnos en las fluctuaciones del precio del petróleo y aditivos derivados para la construcción).
- La disminución de la huella de carbono en el medio ambiente.
- El interés de los consumidores y de las políticas públicas en los productos “verdes”.

1.5.1. Surgimiento y desarrollo de la tecnología de Microorganismos Eficientes (ME). Definición

La denominación de la tecnología proviene del inglés Effective Microorganisms (EM), que en español se le reconoce como microorganismos efectivos o eficientes (ME), también se les puede encontrar en la bibliografía como Microorganismos Benéficos (MB). (Andrew et al., 2013, Higa, 1995)

Los Microorganismos Eficientes son varios microorganismos con la habilidad de restaurar, reavivar y conservar el medio en que se encuentren, son cuidadosamente seleccionados en su medio natural y pueden ser multiplicados con diversos procedimientos. Los microorganismos efectivos o ME son una cultura mixta de microorganismos benéficos (fundamentalmente bacterias fotosintéticas y productoras de ácido láctico, levaduras, actinomicetos y hongos fermentadores) que pueden

aplicarse como inoculante para incrementar la diversidad microbiana de los suelos.(Higa, 1995, Leeman, 2011, Leemann and Winnefeld, 2007) En Japón fue desarrollado el sistema de Agricultura Natural Kyusei con el objetivo de producir alimentos seguros y libres de químicos peligrosos y materiales tóxicos. (Andrew et al., 2013, Higa, 1995, Martirena, 2012)

En la década del 80, el profesor Teruo Higa introdujo el concepto de los Microorganismos Eficientes (EM) al Sistema de Agricultura Natural Kyusei. Así, un grupo de microorganismos benéficos eran cultivados y utilizados como medio para mejorar las condiciones de los suelos, suprimiendo los microorganismos productores de enfermedades, y aumentando la eficiencia de la utilización de la materia orgánica por parte de los cultivos.

1.5.2. Aplicación de la tecnología ME en la construcción

La introducción de los ME al campo de la construcción, es producto de la aplicación de la biotecnología al campo de los materiales de construcción. Se han encontrado recientes ejemplos de la utilización de microorganismos como una alternativa de solución al problema que existe en el ámbito mundial en los costos y el manejo estructural de los materiales.(Jonkers, 2007, Leeman, 2011, Ozlem, 2010)

En algunos 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:

- 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 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. 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 de desarrollo. Sobre esta base, la tecnología es usada o investigada en países extendidos desde Estados Unidos, Austria, India y Zimbabue. (Yatim, 2001)

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 EM1® 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).

1.5.3. Antecedentes de la tecnología EM 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. (Higa, 1995, Cabrera Pérez, 2013)

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 la laborabilidad en hormigones frescos. En la actualidad el Instituto Tecnológico “Carlos J. Finlay” está produciendo EM con fines agrícolas y de tratamiento de agua y está trabajando en conjunto con el (CIDEM) para evaluar su producto en la industria de la construcción.

1.5.3.1. Aplicación de la tecnología ME en Cuba

En Cuba por primera vez se empleó el bioplastificante EM-aH denominado como Micro-ben o Bioben, procedente de la estación experimental Indio Hatuey. Se diseñaron mezclas de prueba con aditivo biológico y con aditivo comercial del tipo N-200, este último clasifica como reductor de agua de alto efecto según la norma (ASTM C 494-92, 1992). Los hormigones obtenidos se compararon teniendo en cuenta su capacidad de paso, capacidad de relleno, homogeneidad, fluidez, densidad y capacidad de flujo, para establecer parámetros de comparación entre las mezclas de prueba con aditivo biológico y las realizadas con aditivo comercial. Los hormigones obtenidos con el aditivo biológico Micro-ben así como con el aditivo comercial N-200, cumplen con todos de los parámetros considerados para un HAC según lo establecido en la literatura (ucn.cl., 2012) para la utilización del HAC. La similitud de los hormigones obtenidos evidencia el carácter plastificante del Micro-ben. (Abreu Rodríguez, 2011)

También se evaluó el bioplastificante orgánico IHplus y su efecto sobre la fluidez en pastas de cemento, variando los porcentos de adición en 0.5; 1; 2 y 4% del peso del cemento, el efecto de la disminución de agua, y con ello el aumento de la concentración del producto biológico. Se realizó el análisis comparativo con la adición en iguales proporciones del superplastificante comercial N200. (Abreu Rodríguez, 2011, Martirena, 2012)

1.6. Conclusiones parciales.

1. En la industria de la construcción se deben incorporar criterios de sostenibilidad ambiental a partir de la utilización de materiales con menor impacto ambiental y el empleo de tecnologías limpias.

2. Los aditivos son productos de gran importancia en los hormigones, ya que han demostrado que con su utilización y teniendo siempre presente las dosificaciones necesarias se pueden obtener hormigones con mejor desempeño.
3. La reología del hormigón es una ciencia relativamente nueva y dada su importancia para la industria de la construcción se han desarrollado varios modelos, tal es el caso del modelo de Bingham y el modelo de Herschel – Bulkey, aunque estos no permiten predecir su flujo de forma exacta
4. La evaluación de las propiedades reológicas del hormigón debe estar acompañada de estudios a partir de métodos experimentales que nos permitan predecir su flujo tal es caso de las técnicas de gravedad y las técnicas vibración.
5. Los aditivos de origen biológico producidos con la tecnología ME poseen gran ventaja en su fabricación al ser elaborados con materias primas de origen local, por lo que se facilita su producción en comparación con los aditivos comerciales.

Capítulo II: Diseño y fabricación de hormigones secos a partir del empleo del bioproducto MEF-32

2.1. Introducción.

En investigaciones anteriores (Abreu Rodríguez, 2011, Brooks, 2014, Díaz, 2014, Gómez, 2010, Martirena, 2012, Brizuela, 2013) se muestran las potencialidades del bioproducto MEF-32, lográndose demostrar que su uso potencial en la producción de hormigones es factible a partir de su uso en cocteles donde se combine con plastificantes comerciales.

En el presente capítulo, se realiza una descripción y evaluación detallada de los materiales y métodos experimentales, utilizados para la evaluación de la influencia sobre las propiedades reológicas y físico – mecánicas de hormigones de consistencia seca, a partir de la utilización de combinaciones del aditivo viscosificante MEF 32 (producido en el Instituto Carlos J. Finlay) con el aditivo químico Mapefluid N – 200. Además en este capítulo se establecen los parámetros para su futura aplicación en la producción de hormigones para traviesas de ferrocarril. Esta investigación fue realizada en los laboratorios de la Empresa industrial de Instalaciones Fijas (EIIIF)

2.2. Materiales y métodos.

2.2.1. Materiales utilizados.

En esta investigación se empleó arena procedente del Yacimiento Arimao, ubicado en Carretera Santa Martina, localizada en la provincia de Cienfuegos, Grava procedente de la cantera “remolida” Mariano Pérez Balí (El Purio), Cemento Portland P-350 de la fábrica Carlos Marx de Cienfuegos, Aditivo Mapefluid N-200, y Aditivo MEF-32 de origen biológico del Instituto “Carlos J. Finlay (Ver Fig. 2.1).



Fig. 2.1. Materias primas utilizadas

Estos materiales se utilizaron para la fabricación de las muestras hormigón de consistencia seca a partir de la dosificación establecida en la planta la cual fue adecuada para el diseño del experimental.

2.2.2. Caracterización de las materias primas utilizadas.

Los ensayos de áridos y cemento fueron realizados por la Unidad de Investigación para la Construcción de Villa Clara pertenecientes a la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA)

2.2.2.1. Resultados de la caracterización de los áridos.

Árido grueso

El árido grueso utilizado procede de la Cantera “remolida” “Mariano Pérez Balí” (El Purio) de origen calizo. Sus características físico - mecánicas se detallan a continuación en las tablas 2.1 y 2.2.



Fig. 2.2. Árido Grueso Gravilla

Tabla 2.1: Análisis granulométrico del árido grueso. Según NC 251:2005

Tamiz (mm)	% Pasado	% de Especificaciones	
25.4	100	0	100
19.1	96	90	100
9.52	29	20	55
4.76	3	0	10
2.38	1	0	5

Tabla 2.2: Características físicos-mecánicas de los áridos gruesos (gravilla). ("El Purio")

Características	Unidad	Resultado
Material más fino que el Tamiz 200	%	0.3
Partículas de arcilla	%	0.00
Partículas planas y alargadas	%	0.00
Peso específico corriente	g/cm ³	2.5
Peso específico saturado	g/cm ³	2.12
Peso específico aparente	g/cm ³	2.57
Absorción	%	1.5
Masa volumétrica suelta	Kg/cm ³	1330
Masa volumétrica compactada	Kg/cm ³	1494

Árido finos

El árido fino procede del Yacimiento Arimao, Carretera Santa Martina, localizada en la provincia de Cienfuegos, presenta una formación geológica de aluvio con una fracción de 5–0.15mm, compuesto con arenas polimícticas, arenas aluviales y sedimentos

areno- arcillosos con gravas. Su granulometría fue controlada por el método del tamizado y sus características granulométricas y físico-mecánicas se detallan a continuación en las tablas 2.3 y 2.4.



Fig. 2.3 Árido fino

Tabla 2.3: Análisis granulométrico del árido fino. Según NC 251:2005

Tamiz (mm)	% Pasado	% de Especificaciones	
9.52	100	100	
4.76	97	90	100
2.38	76	70	100
1.19	47	45	80
0.59	24	25	60
0.295	9	10	30
0.149	3	2	10

Tabla 2.4: Características físico-mecánicas de los áridos finos (arena). (“Arimao”)

Características	Unidad	Resultado
Material más fino que el Tamiz 200	%	4.2
Partículas de arcilla	%	2.1
Impurezas orgánicas	%	1
Peso específico corriente	g/cm ³	2.59
Peso específico saturado	g/cm ³	2.62
Peso específico aparente	g/cm ³	2.67
Absorción	%	0.8
Peso volumétrico suelto	Kg/cm ³	1420
Peso volumétrico compactado	Kg/cm ³	1591

2.2.2.2. Resultados de caracterización del cemento P-35

El cemento utilizado procede de la fábrica Carlos Marx ubicada en la provincia de Cienfuegos y de acuerdo a la NC 54 205:80 se clasifica como un cemento tipo I, los ensayos se le realizaron de acuerdo a la Norma (NC 54-207:1980). “Cemento. Ensayos físico-mecánicos” y se alcanzaron los siguientes resultados tabla 2.5.

Tabla 2.5 Resistencia a la flexo-tracción y a la compresión del cemento P-35.

Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones
Resistencia a Compresión a 7 días	Mpa	29	≥25.0
Resistencia a flexión-tracción a los 7 días	Mpa	5.6	≥4.0
Resistencia a compresión a los 28 días	Mpa	39.0	≥35.0
Resistencia a flexión-tracción a los 28 días	Mpa	7.4	≥6.0

Tabla 2.6. Características físico – mecánicas del cemento

Características.	Resultados.	Especificaciones
Masa volumétrica	1.127	
Peso específico real(g/cm ³)	3.11	
Consistencia normal (%)	24	
Tiempo inicial de fraguado (min.)	140	≥45
Tiempo final de fraguado (máx.) en hrs.	4.10	≤10h

2.2.2.3. Resultados de caracterización del Bioproducto MEF – 32.

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 agri dulce 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 2.7)

Tabla 2.7. Datos técnicos del MEF 32

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

2.2.2.4. Resultados de caracterización del superplastificante Mapefluid N200

El Mapefluid N200 es un aditivo líquido pardo superplastificante con un 40% de polímeros activos, capaces de dispersar los gránulos del cemento, es utilizado en hormigones de cualidades (impermeables, durables y mecánicamente resistentes). Con él se pueden obtener hormigones de elevada trabajabilidad, es decir, de fácil uso en la obra cuando está fresco y de elevadas prestaciones cuando está fraguado. Se puede aplicar en:

- Hormigón prefabricado manufacturado a vapor.
- Hormigón bombeable
- Hormigón para lechadas
- Hormigón para pavimentos de calefacción radiante.

Es un aditivo fluidificante que presenta una leve acción de retardo sobre la hidratación del cemento. Variando su dosificación entre 0.5 – 1.5% respecto al peso del cemento, se pueden lograr objetivos diferentes en las propiedades de los hormigones, ya sea para aumentar la laborabilidad, reducir el agua de amasado o lograr una menor dosificación de cemento.

Tabla 2.8. Comportamiento del aditivo teniendo en cuenta su dosificación.

Dosificación del aditivo (% en volumen sobre peso del cemento)	0	1.0	1.5
Relación a/c	0.60	0.48	0.43
Reducción de agua (%)	-	20	28
Escurecimiento inicial (mm)	200	210	210
Escurecimiento a 30 min. (mm)	140	140	130
Resistencia alcanzada a los 28 días.(N/mm ²)	35	55	63

Para la aplicación del Mapefluid N200 es preferible añadirlo en la hormigonera después de haber introducido todos los otros elementos (agua, cemento, áridos), pues el aditivo es más eficaz cuando más se posponga el momento de su añadido, debido a que los gránulos del cemento y los áridos están ya bañados por el agua, y es mínima cuando se introduce encima de los sólidos secos, que absorben una parte del agua y se reduce

parcialmente la eficacia del producto. Por lo que se recomienda agregar el aditivo cuando haya sido introducida al menos la mitad del agua de la mezcla prevista.

Tabla 2.9: Valores técnicos característicos del N-200.

Densidad (ISO 758) (g/cm ³)	1.20 ± 0.03 a ± 20°C
Porcentaje de sustancia seca (En 480-8) (%)	40 ± 2
Acción principal	Reducción de agua y/o aumento de la trabajabilidad
Acción colateral	Leve retraso en los tiempos de fraguado, en altas dosificaciones.
Clasificación según UNI EN934-2	Reducción de agua de alta eficacia, superfluidificante.
Cloruros disueltos en agua según EN 480-10 (%)	< 0.1
Contenido de álcalis (Na ₂ O equivalente) según EN 480-10 (%)	< 0.6

2.3. Descripción del programa 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 del viscosificante MEF – 32, así como su combinación con un plastificante comercial como el Mapefluy N – 200.

Los hormigones se fabricaron utilizando la dosificación certificada para hormigones 50 MPa entregada por la ENIA, utilizando diferentes concentraciones de aditivo viscosificante MEF – 32 y su combinación con un aditivo comercial como el Mapefluy N – 200 y se comparó con un hormigón patrón. Las mezclas de hormigón fueron elaboradas bajo el principio: mantener una consistencia en un rango de 35 – 42 segundos Vebe y las mismas fueron secadas bajo régimen de curado a vapor.

2.4. Procedimiento experimental.

Preparación de los especímenes:

La fabricación del hormigón se llevó a cabo en laboratorio de la planta de (EIIF), la actividad de mezclado fue realizada con una hormigonera de eje vertical (ver figura 2.4), de 50 litros de capacidad (Fig. 2.4).



Fig. 2.4. Hormigonera de eje Vertical

La acción de mezclado fue realizado de la siguiente manera se vertió 1/3 de agua, luego el cemento, la arena y la totalidad del árido grueso de conjunto con el resto del agua; en las mezclas que contenían aditivos, este se vertió después de transcurrido un tiempo de amasado. El mezclado se realizó hasta que la mezcla se observó homogénea y laborable. Para el experimento se tomaron moldes de metálicos de probetas cubicas de 10 x 10 centímetros los mismos fueron engrasados y una vez vertida la mezcla fueron sometidos a un procesos de compactación por medio de una mesa vibradora a 3.000 c.p.m. (ver Fig. 2.5).



Fig. 2.5 Compactación de las muestras.

El proceso de curado de las probetas se realizó en un “en la cámara de vapor de la planta”, bajo los requerimientos exigidos durante los tiempos fijados para su ensayo de rotura (7 horas, 24 horas, 7 días y 28 días) (Ver figura 2.6).



Fig. 2.6 Cámara de curado

2.4.1. Diseño experimental.

El diseño experimental se desarrolló en dos fases, una primera donde se evaluó el viscosificante MEF – 32 donde se tomó como factor único el porcentaje de aditivo a utilizar en cada una de las mezclas y se delimitó en tres niveles (2, 3 y 4,5%), en la

segunda fase se evaluó el viscosificante MEF – 32 combinado con un aditivo comercial (MEF – 32 + N – 200) evaluándose en dos niveles y adicionalmente se elaboró un patrón de estudio con 1% de N – 200. Las variables dependientes que se evaluaron son: Resistencia a Compresión y Absorción. Por lo cual los anteriores aspectos definieron el diseño experimental siguiente.

Declaración de las variables independientes y sus niveles.

Tabla 2.10. Variables independientes y sus niveles (primera fase)

Variables	Niveles			
	Patrón	Bajo	Medio	Alto
% de MEF – 32 (%)	1% de N - 200	2	3	4,5

Tabla 2.11. Variables independientes y sus niveles (segunda fase)

Variables	Niveles		
	Patrón	Bajo	Alto
Combinaciones.	1% de N - 200	3% MEF – 32 + 0,3% N-200	3% MEF – 32 + 0,6% N - 200

Los niveles fueron establecidos bajo los siguientes criterios:

- **Por ciento de MEF - 32 usado:** A partir de la experiencias aportadas en la literatura (Díaz, 2014, Gómez, 2010, Martirena, 2012, Brizuela, 2013), donde demuestra que el viscosificante MEF – 32 en un rango del 2 – 8 % tiene efectos beneficiosos en la calidad de los hormigones por lo cual se decidió utilizar en el trabajo esas mismas dosificaciones y comprobar cuál será la más adecuada para su posterior implementación en la industria.
- **Combinaciones de MEF – 32 + SP :** Las combinaciones seleccionadas para el trabajo experimental responden al instructivo técnico aprobado por el CIDEM (Díaz, 2014) el cual se basa en los resultados obtenidos de trabajos anteriores (Díaz, 2014, Gómez, 2010, Martirena, 2012, Brizuela, 2013) que plantean que el uso de estas combinaciones modifica favorablemente las propiedades reológicas del hormigón.

Declaración de las variables dependientes, relacionadas con las propiedades físico – mecánicas.

- Resistencia a compresión.
- Absorción de agua.

Declaración de los parámetros de estado.

- Lograr una consistencia entre 35 y 42 segundos Vebe a partir de la variación del % de aditivo para tratar de mantener una relación agua/cemento inferior de 0.45.

2.4.2. Caracterización estadística del diseño experimental.

La caracterización estadística del diseño experimental se hizo de la siguiente forma: a) Se determinó la estadística descriptiva (Ver Anexos) de cada una de las variables de respuesta, b) para cada corrida experimental se halló un tamaño de muestra (Ver Anexos) que fuera representativo de la población (delimitándose una cantidad máxima igual para todas las corridas, cumpliendo el requisito de representatividad de la población).

Antes de procesar el diseño de experimento se realizó una representación gráfica de los resultados, a partir de los valores medios de cada una de las variables de respuesta y se procedió a realizar una interpretación física de los mismos apoyándose en técnicas de análisis de tendencia. Este aspecto posibilitó delimitar el comportamiento de cada uno de los factores con respecto a las variables de respuesta. Posteriormente, se aplicó la técnica de análisis de regresión múltiple para procesar estadísticamente el diseño de experimento (Anexos). Por último para validar y justificar científicamente los objetivos de este diseño experimental, se procedió a la aplicación de diferentes técnicas de Pruebas de Hipótesis. En este caso se emplearon las siguientes pruebas: **t-Student, F-Fisher** . Los objetivos de este diseño de experimento fueron los siguientes:

1. Evaluar la influencia de los factores delimitados en cada una de las variables de respuesta.

2. Establecer un rango de utilización del aditivo viscosificante MEF – 32 donde se afecten en menor grado las propiedades físico – mecánicas con respecto al patrón.
3. Evaluar el % de MEF – 32 y su combinación con plastificantes comerciales más adecuado para su posterior implantación en la industria.

Tabla 2.12 Resumen del diseño de experimento a escala de laboratorio.

Muestra	Volumen MEF	Vol. Mapefluy N-200	Cemento (Kg)	Arena (Kg)	Piedra (Kg)	Agua (L)	Relación a/c	Cantidad de probetas					
								Resist. Comp.				Absorción a los 28	Total de probetas
								7 horas	24 horas	7 días	28 días		
ME-0		4,5 L (1%)	450	800	980	195,5	0,43	3	3	3	3	3	15
ME-1	9 L (2%)		450	800	980	168,3	0,37	3	3	3	3	3	15
ME-2	13,5 L (3%)		450	800	980	177,5	0,39	3	3	3	3	3	15
ME-3	20,3 L (4,5%)		450	800	980	178	0,40	3	3	3	3	3	15
ME-4	13.50 L (3%)	1,35 L (0.30%)	450	800	980	170,7	0,38	3	3	3	3	3	15
ME-5	13.50 L (3%)	2,70 L (0.60%)	450	800	980	191	0,42	3	3	3	3	3	15

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. Los ensayos que incluye este procedimiento son los siguientes:

1. Ensayo de consistencia por el consistómetro Vebe (Lograr una consistencia entre 35 y 42 segundos Vebe a partir de la variación del % de aditivo para tratar de mantener una relación agua/cemento inferior de 0.45).
2. Resistencia a compresión, Edad 7 horas, 24 horas, 7 días y 28 días.
3. Porcentaje de absorción de agua.

2.5.1. Descripción de Ensayos físico mecánicos realizados.

2.5.1.1. Ensayo de consistencia por el consistómetro Vebe

Este ensayo consiste en medir el tiempo que tarda un tronco de cono de hormigón, moldeado con el cono de Abrams y colocado en el interior de un recipiente cilíndrico

situado sobre una mesa vibrante, en deformarse y tomar la forma de éste bajo la acción de vibración. La consistencia del hormigón se mide en segundos Vebe.

Durante el trabajo no se contaba con el equipamiento anteriormente descrito para medir la consistencia, por lo que se tuvo que adecuar este ensayo utilizando la normativa de la empresa, la cual está basada en la medición de la consistencia por el método del consistómetro Skramptaev (NEMT-255605, 1987).



Fig. 2.6 Consistómetro Skramptaev

Los resultados obtenidos por este método pueden ser expresados con otros consistómetro como el Vebe mediante la expresión.

$$(1) \quad R = a \cdot t$$

Dónde:

R = Consistencia expresada en segundos.

a = Factor que depende del método en que se desea expresar los resultados (a= 0,7 para el consistómetro Vebe).

t = Tiempo

La tabla 2.13 muestra los resultados de las pruebas realizadas por el método de consistómetro Skramptaev a cada una de las mezclas evaluadas con los distintos % de

aditivos de MEF más su combinación con el plastificante N – 200 abordando los siguientes resultados.

Tabla 2.13 Resultados de consistencia.

Mezclas	Para 1m ³				Para 20 L		Skramptaevev (s)	Vebe (s)	Relación a/c
	N-200		MEF		N-200	MEF			
	%	(L)	%	(L)	(L)	(L)			
ME-0	1	4,5	0	0	0,09	0	54	38	0,36
ME-1	0	0	2	9	0	0,18	55	39	0,37
ME-2	0	0	3	13,5	0	0,27	58	41	0,39
ME-3	0	0	4,5	20,25	0	0,405	55	39	0,40
ME-4	0,3	1,35	3	13,5	0,027	0,27	52	36	0,38
ME-5	0,6	2,7	3	13,5	0,054	0,27	54	38	0,42

2.5.1.2. Determinación de la resistencia a compresión de los hormigones endurecidos

Las probetas se mantuvieron en la cámara de curado a vapor de la planta luego se sacaron y fueron ensayadas a diferentes edades (7 horas, 24 horas, 7 días y 28 días). El ensayo de resistencia a compresión fue realizado en la prensa del laboratorio de la planta, teniendo en cuenta la NC724:2009 “Ensayos del hormigón-Resistencia del hormigón en estado endurecido”. (NC724, 2009).



Fig.2.7 Prensa para rotura de probetas.

Seguidamente que la probeta fue colocada de forma centrada en los platos de la máquina, se le aplicó una carga continua y sin choques a velocidad uniforme hasta la

rotura de la misma. En la tabla (2.14) se muestran los resultados obtenidos de cada una de las mezclas evaluadas.

Tabla. 2.14 Resultados de resistencia a compresión

Resultados del uso del MEF-32 + N-200																
Mezclas	Resistencia a Compresión															
	Rest. (Mpa) 7h				Rest. (Mpa) 24h				Rest. (Mpa) 7 d				Rest.(Mpa) 28 d			
	Rb1	Rb2	Rb3	Rbm	Rb1	Rb2	Rb3	Rbm	Rb1	Rb2	Rb3	Rbm	Rb1	Rb2	Rb3	Rbm
ME-0	35,8	36,4	38	36,73	45,7	45,1	43,3	44,70	57,9	56,9	57,2	57,33	62	57,7	64	61,23
ME-1	26,8	27	27,7	27,17	35,6	36,6	36,5	36,23	48,9	49,9	48,3	49,03	55	56,6	56,3	55,97
ME-2	34,1	34,7	34,2	34,33	42	41,3	43,8	42,37	53,6	54,5	55,1	54,40	59,4	61,9	61,5	60,93
ME-3	21	22,1	21,8	21,63	33,9	33,7	35,2	34,27	45,3	46,2	45,3	45,60	52,7	51,3	53	52,33
ME-4	30,1	27,9	27,7	28,57	44,1	42	42,9	43,00	52,8	52,2	51,3	52,10	57,7	58,2	59,1	58,33
ME-5	38,4	36,1	36,4	36,97	47	47,6	46,6	47,07	56,2	54	56,9	55,70	64,8	70	66,1	66,97

2.5.1.3. Determinación del porcentaje de absorción de agua.

La absorción del concreto puede ser definida como la relación entre la masa de agua que penetra los poros saturables y el peso seco de la muestra penetrada por el agua (Riva L, 2006)

$$(2) \quad A = 100 \left(\frac{P_{SSS} - P_S}{P_S} \right)$$

Donde:

A= porcentaje de absorción

Psss= peso saturado de muestra

Ps= peso seco de la muestra

Para la realización de este ensayo se tomaron probetas de cada muestra objeto de estudio y se colocaron dentro de un tanque de curado durante 24 horas, luego fueron sacadas de tanque de curado y fueron secadas con una frazada para eliminar la humedad superficial, siendo pesadas posteriormente en una balanza digital con una precisión de 0,01g obteniéndose el peso saturado de las muestras, después los especímenes se colocaron en la estufa a una temperatura de 110°C y fueron secados durante 24 horas hasta obtener el peso seco. Posteriormente y aplicando la ecuación 2 se obtuvo el porcentaje de absorción (ver tabla 2.15)



Fig.2.8 Ensayo de Absorción

Tabla 2.15. % de Absorción.

Mezclas	Para 1m³				Para 20 L		% Absorción			% Abs. Media
	N-200		MEF		N-200	MEF				
	%	(L)	%	(L)	(L)	(L)	% Abs 1	% Abs 2	% Abs 3	
ME-0	1	4,5	0	0	0,09	0	2,21	2,45	2,48	2,38
ME-1	0	0	2	9	0	0,18	5,06	2,12	5,00	4,06
ME-2	0	0	3	13,5	0	0,27	4,61	4,08	4,45	4,38
ME-3	0	0	4,5	20,25	0	0,405	4,20	4,12	4,33	4,22
ME-4	0,3	1,35	3	13,5	0,027	0,27	3,32	2,88	3,29	3,16
ME-5	0,6	2,7	3	13,5	0,054	0,27	2,79	3,23	3,06	3,02

2.6. Aplicación en EIIF (hormigones secos)

En la aplicación realizada en la (EIIF) se tuvo en cuenta los resultados obtenidos a nivel de laboratorio, principalmente los resultados obtenidos con el 3% de MEF-32 esta decisión se tomó, debido a la carencia en ese momento del aditivo comercial Mapefluy N – 200, por lo que no se pudo realizar una aplicación utilizando la combinación de estos dos aditivos.

Tabla 2.16. Dosificaciones utilizadas en la prueba industrial

Mezclas	%	Para 1m ³	Para 20L	Skramptaev (s)	VeBe	Relación a/c
		MEF	MEF			
		(L)	(L)			
Patrón sin aditivo	0	0	0	50	35	0,37
MEF sin Vapor 3%	3	13,5	0,27	50	35	0,25

La carencia de este aditivo no fue el la única problemática, también se presentan problemas con la caldera de vapor empleada en el curado del hormigón en sus primeras 7 horas a una temperatura de 70°C, por lo que en aras de continuar con la investigación se aumentó el tiempo de curado inicial a 24 horas a una temperatura de 50°C, decidiéndose continuar con la aplicación a partir de un curado natural sin vapor. (Ver figura 2.9).

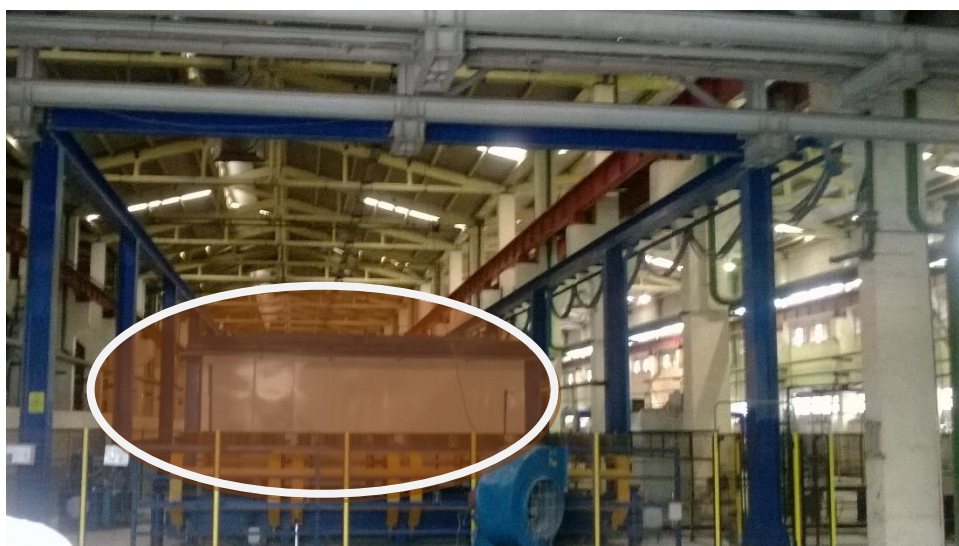


Fig. 2.9 Cámara de curado.

Se fabricaron un total de 300 traviesas con la dosis de MEF-32 anteriormente mencionada, bajo las mismas condiciones de fabricación de la planta (ver figura 2.10 a), de las cuales se tomaron muestras del hormigón elaborado en la planta con el fin de realizar ensayos de resistencia media a la compresión a escala de laboratorio y comparar los resultados obtenidos, Para ello se tomó una primera muestra patrón sin aditivo, una segunda con el bioproducto MEF-32, arrojando los siguientes resultados (ver tabla 2.17):

Tabla 2.17 resultados de la prueba industrial.

%	Para 1m3	Para 20L	Skramptæv (s)	VeBe	Relación a/c	Resistencia a Compresión			
	MEF	MEF				Rest. (Mpa) 24h	Rest. (Mpa) 48h	Rest. (Mpa) 7 d	Rest. (Mpa) 28 d
	(L)	(L)				Rbm	Rbm	Rbm	Rbm
0	0	0	50	35	0,37	23,40	30,10	40,20	49,10
3	13,5	0,27	50	35	0,25	26,80	31,80	45,27	51,30

Después de fabricadas las traviesas se tomó una muestra aleatoria de 5 traviesas a la edad de 7 días, para realizar el ensayo de esfuerzo portante, el mismo consiste en seleccionar un elemento en su integridad, para colocarlo posteriormente en una prensa diseñada para el ensayo de resistencia de esfuerzo portante (Ver figura 2.10 b), aplicándose la carga en las cuatro secciones más críticas de la traviesa (carga mínima, primera calidad = 12 t).



a)



b)

Fig. 2.10. a) Fabricación de traviesas, b) Ensayo portante.

2.7. Conclusiones parciales del Capítulo II

1. Las materias primas utilizadas cumplen con todos los parámetros de calidad establecidos por las normas.
2. Las dosis evaluadas de las combinaciones (MEF-32 + SP) muestran una influencia significativa en cuanto a la plasticidad de los hormigones ensayados, lo que mejora gradualmente la laborabilidad del mismo y marca una diferencia significativa con respecto a las muestras del hormigón elaborado sin agregar aditivo alguno.
3. Las especímenes elaboradas con las diferentes dosificaciones, recogen resultados de buena calidad en cuanto a la resistencia a compresión para todos los casos. Resalta como mejor muestra, la combinación de un 3% de MEF y un 0.6% de N-200 con respecto a peso del cemento, lo que reduce en cierta medida el porcentaje de aditivo comercial a emplear.
4. El empleo del bioproducto MEF-32 para sus diferentes dosis presenta resultados más desfavorables que el plastificante N-200 en una menor concentración (1%), tanto en sus propiedades físico-químicas, como reológicas y todo esto lo corrobora los resultados obtenidos en cuanto a consistencia, plasticidad, resistencia a compresión y % de absorción.

Capítulo 3: Análisis y discusión de los resultados obtenidos en los ensayos en hormigones de consistencia seca.

3.0. Análisis de resultados.

En este capítulo se expone el análisis de resultados obtenidos de la evaluación del uso del viscosificante MEF – 32, así como su combinación con plastificantes comerciales en las propiedades reológicas y físico – mecánicas de hormigones de consistencia seca utilizados en la fabricación de traviesas de ferrocarril.

Los resultados del diseño de experimento se procesaron estadísticamente de la siguiente manera:

Una vez que cada serie fue trabajada según lo ensayos referidos anteriormente, se calculó la media de cada una de ellas, la desviación estándar, el coeficiente de variación, entre otros. 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. Más tarde, teniendo en cuenta a qué modelo responden los gráficos de tendencia, se realiza el análisis de regresión para cada uno de los gráficos analizados. Por último, se aplicaron pruebas de hipótesis con vistas a evaluar la significación de los resultados.

3.1. Evaluación del viscosificante MEF – 32 en la reología de hormigones de consistencia seca.

3.1.1. Impacto del viscosificante MEF – 32 en la reología de los hormigones de consistencia seca

La figura 3.1 muestra la relación entre la consistencia media y el % de aditivo utilizado en la elaboración de las diferentes mezclas de hormigón, en las cuales se ha utilizado el viscosificante MEF – 32.

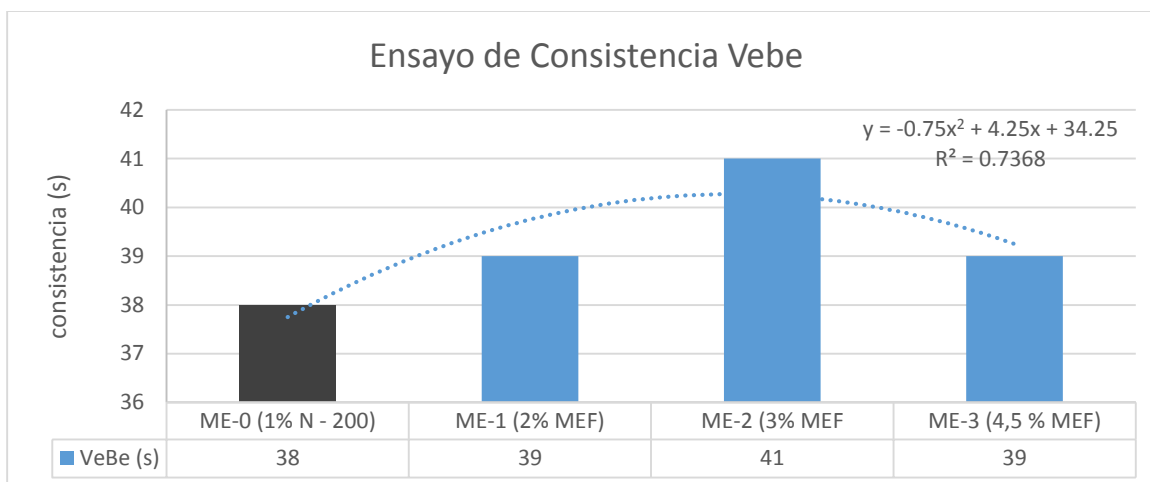


Fig. 3.1 Ensayo de consistencia Vebe (MEF – 32)

Tal y como se observa en la figura, los resultados de consistencia por el método del consistómetro Vebe para todas las mezclas realizadas, muestran un comportamiento favorable al mantener un consistencia seca (Jofré, 1995) en un rango de 35 – 42 segundos Vebe, no existiendo una diferencia significativa entre las mismas para un nivel de confianza del 95 %

Los resultados de los ensayos de consistencia Vebe que se muestran, son consistentes con los de reducción del consumo de agua (ver figura 3.2). Donde se observa que el viscosificante MEF – 32 logra reducir el contenido de agua en un rango del 10 – 15 % clasificando como un plastificante de mediano rango.

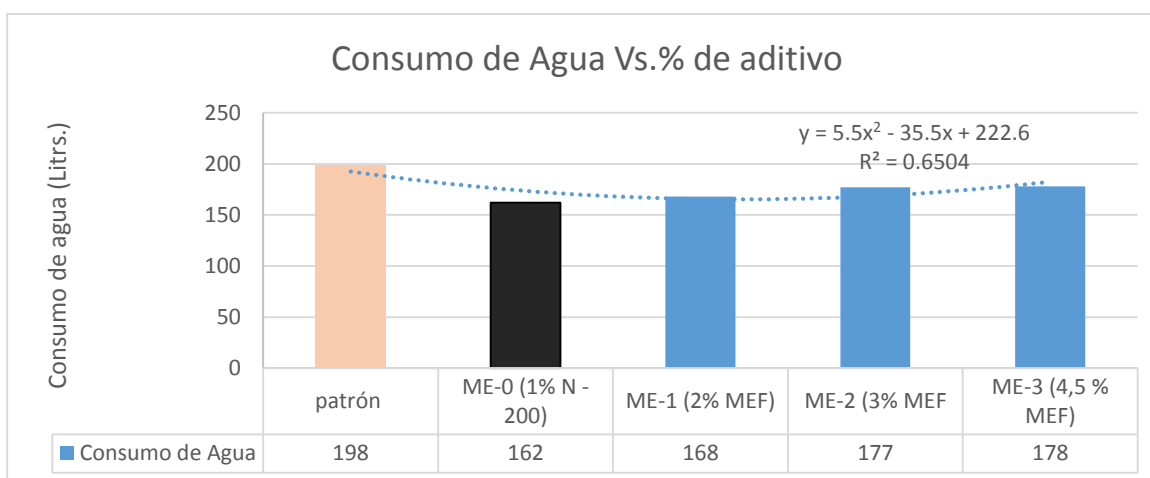


Fig. 3.2. Consumo de agua Vs. % de aditivo MEF

La relación entre consistencia y reducción del consumo de agua es directamente proporcional por lo que se puede afirmar que el viscosificante MEF – 32 reduce el contenido de agua aunque si lo comparamos con el plastificante N – 200 (reducción del 18 al 20% del agua amasado) su desempeño es inferior.

3.1.2. Influencia de la combinación del viscosificante MEF – 32 y el plastificante Mapefluy N – 200, en la reología de los hormigones de consistencia seca

La figura 3.3 muestra los resultados del comportamiento de la variable consistencia para dos combinaciones del viscosificante MEF – 32 con el plastificante comercial N – 200 las cuales muestran un comportamiento favorable al mantener una consistencia Vebe en una rango entre los 35 – 42 segundos, aunque si tenemos en cuenta los consumos de aditivo comercial se puede afirmar que la mejor combinación es la ME – 4, la cual presenta una disminución significativa del aditivo comercial Mapefluy N – 200.

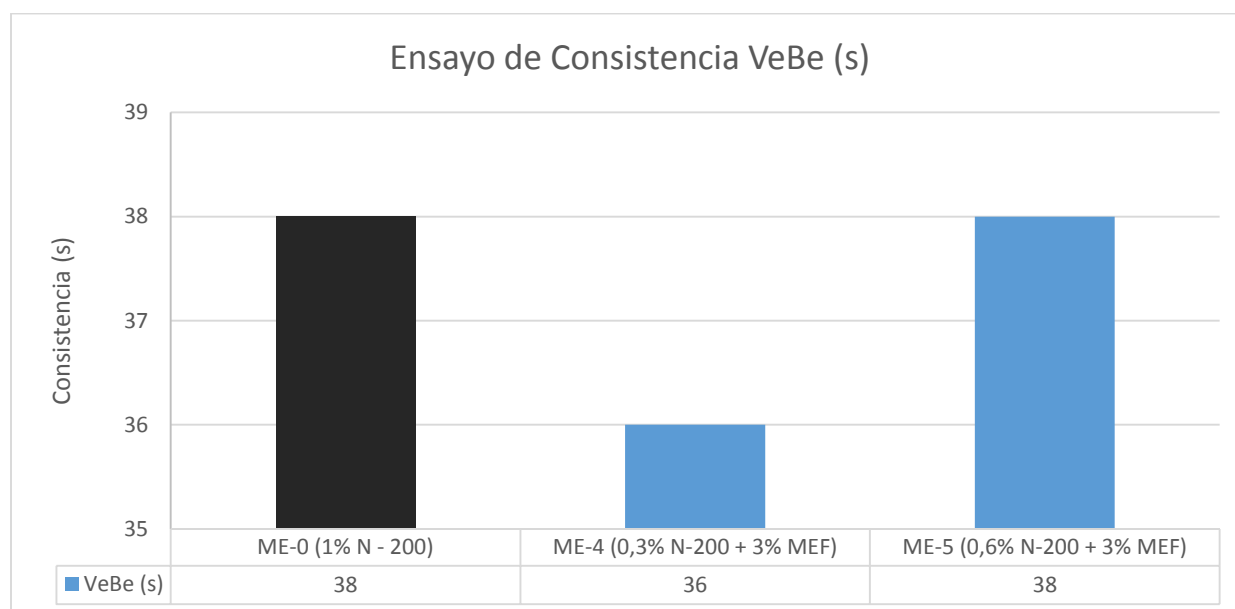


Fig. 3.3 Ensayo de consistencia Vebe (MEF – 32 + N – 200)

En cuanto a la reducción del consumo de agua (ver figura 3.4), en el caso de las combinaciones de estos dos aditivos su comportamiento es ligeramente inferior al aditivo N – 200 encontrándose en un rango inferior al 15% de reducción del consumo de agua.

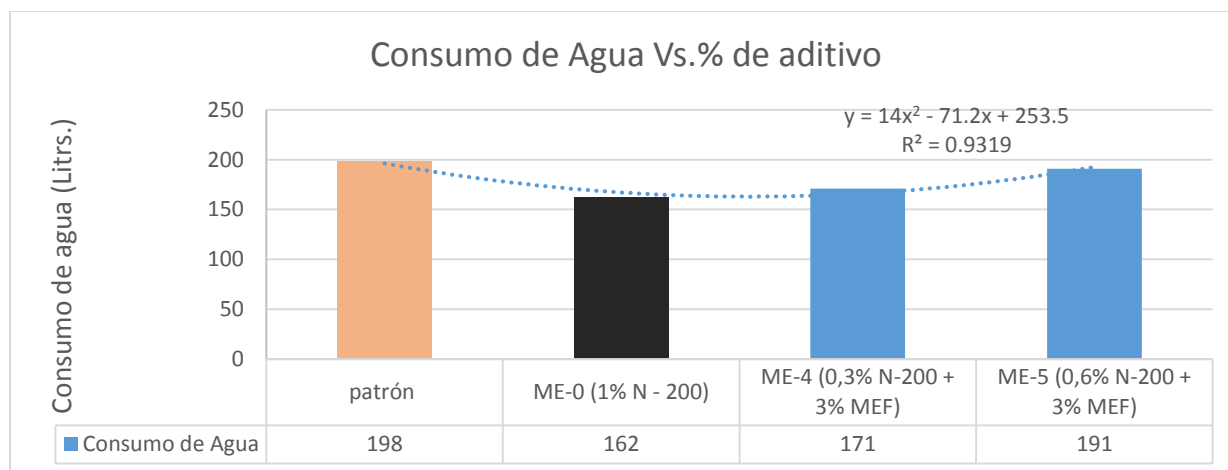


Fig. 3.4. Consumo de agua Vs. % de aditivo MEF + N - 200

Otras observaciones vistas en la fabricación del hormigón tanto con el viscosificante MEF – 32 así como en su combinación con aditivo N – 200 son del tipo organoléptica (ver figura 3.5) al observarse cambios notables en la plasticidad de la mezcla como son:

- Modifica la viscosidad del hormigón (mejora)
- Excelente retención de agua y coherencia
- No hay exudación ni segregación
- Mantiene consistencia en el tiempo sin necesidad de añadir agua



Hormigón de 50 MPa
elaborado con cocteles
de MEF+ N-200

Fig. 3.5. Hormigón de 50 MPa elaborado con cocteles de MEF+ N-200

3.2. Evaluación del viscosificante MEF – 32 en las propiedades físico – mecánicas en los hormigones de consistencia seca.

3.2.1. Influencia del MEF – 32 en la resistencia a compresión de los hormigones de consistencia seca

En la figura 3.6 se observa como los resultados obtenidos de resistencia a compresión para cada una de las muestras elaboradas con el viscosificante MEF-32 (2%,3% y 4.5%) son inferiores en comparación con la muestra patrón 1% del plastificante Mapefluy N-200, también se aprecia que el valor más elevado de las muestras de MEF-32 a las 7 horas no alcanza los 35 MPa, por lo que no cumple con los requisitos de resistencia establecidos por la empresa para poder efectuar el desmolde de los elementos a las 7 horas permitiéndoles así trabajar en jornadas de doble turno. Este resultado está íntimamente relacionado según varios autores(Higa, 1991, Gómez, 2010, Díaz, 2014) con las propiedades retardo del fraguado de los aditivos de origen biológico como es el caso del MEF – 32.

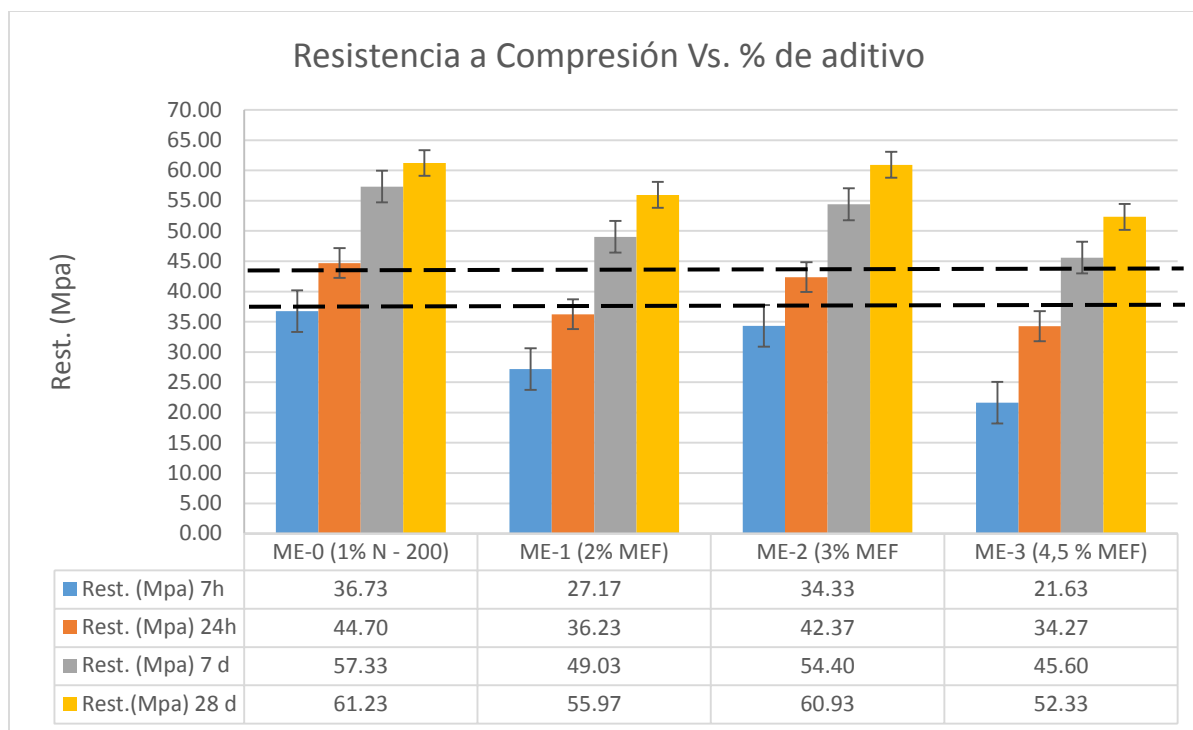


Fig. 3.6. Evaluación de la Resistencia a partir del uso del MEF-32

Por el contrario, los resultados obtenidos de resistencia media a compresión de los especímenes elaborados con porcentajes de aditivo MEF - 32 del 3%, muestran una mayor resistencia a la compresión a las 24 horas no existiendo una diferencia significativa con la muestra ME- 0 de 1% de N – 200. Estos resultados demuestran que con la adición del 3% de MEF – 32, se garantiza un mejor comportamiento de las propiedades mecánicas a edades más tardías.

3.2.2. Influencia de la combinación del viscosificante MEF – 32 y el plastificante Mapefluy N – 200 en la resistencia a compresión de los hormigones de consistencia seca

De acuerdo a la figura 3.7 se puede observar que los resultados obtenidos respecto a la resistencia a compresión para las diferentes edades donde se han utilizado las combinaciones de viscosificante MEF – 32 y el aditivo N-200 superan los valores establecidos en el diseño de mezcla de la ENIA de 50 MPa a los 7 días siendo las más adecuada la ME – 5 donde se superan los valores de la muestra patrón.

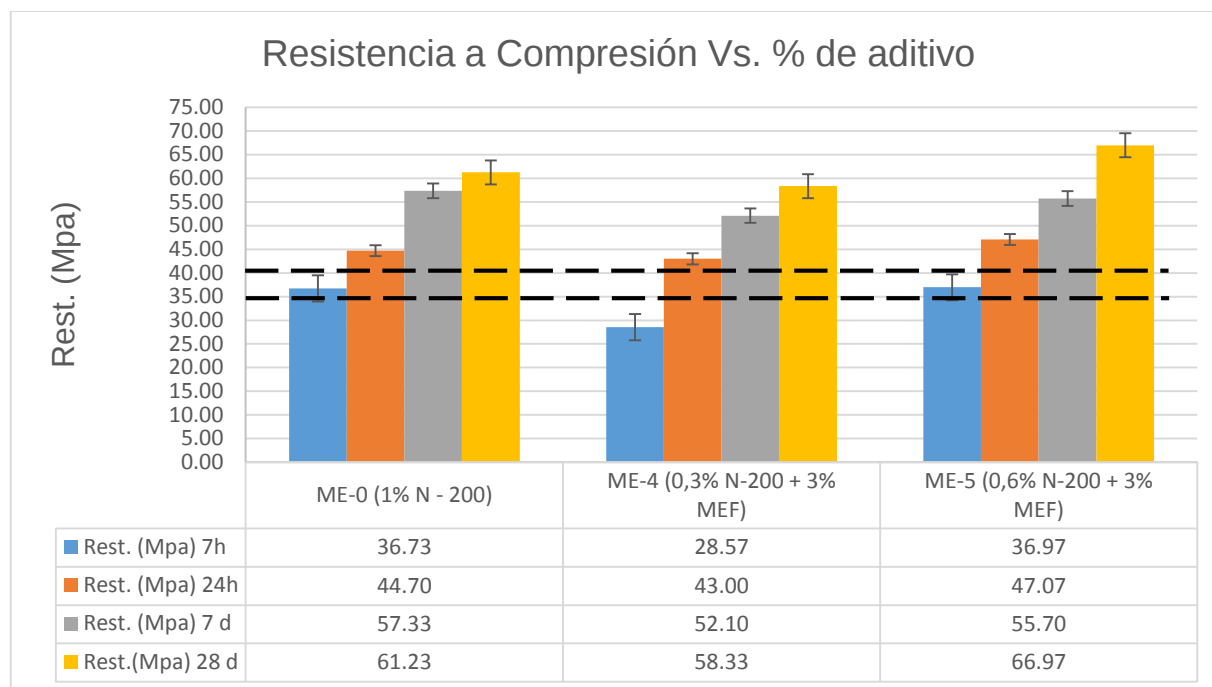


Fig. 3.7. Evaluación de la Resistencia a partir del uso de la combinación de MEF – 32 + N - 200

Aunque es de señalar que la muestra ME – 4 producida con la combinación de 0,3% N – 200 + 3% de MEF – 32 presenta los valores más bajos de resistencia a la 7 horas por lo que no cumple con los requisitos para poder efectuar el desmolde de los elementos a las 7 horas permitiéndoles así trabajar en jornadas de doble turno.

3.2.2.1. Resumen de resultados de los ensayos de resistencia a compresión realizados.

De acuerdo a la figura 3.8 se puede observar que para todas las combinaciones de viscosificante MEF 32 combinado con el aditivo N-200 superan los valores establecidos en el diseño de mezcla de la ENIA de 50 MPa siendo la mezcla más adecuada la ME-5.

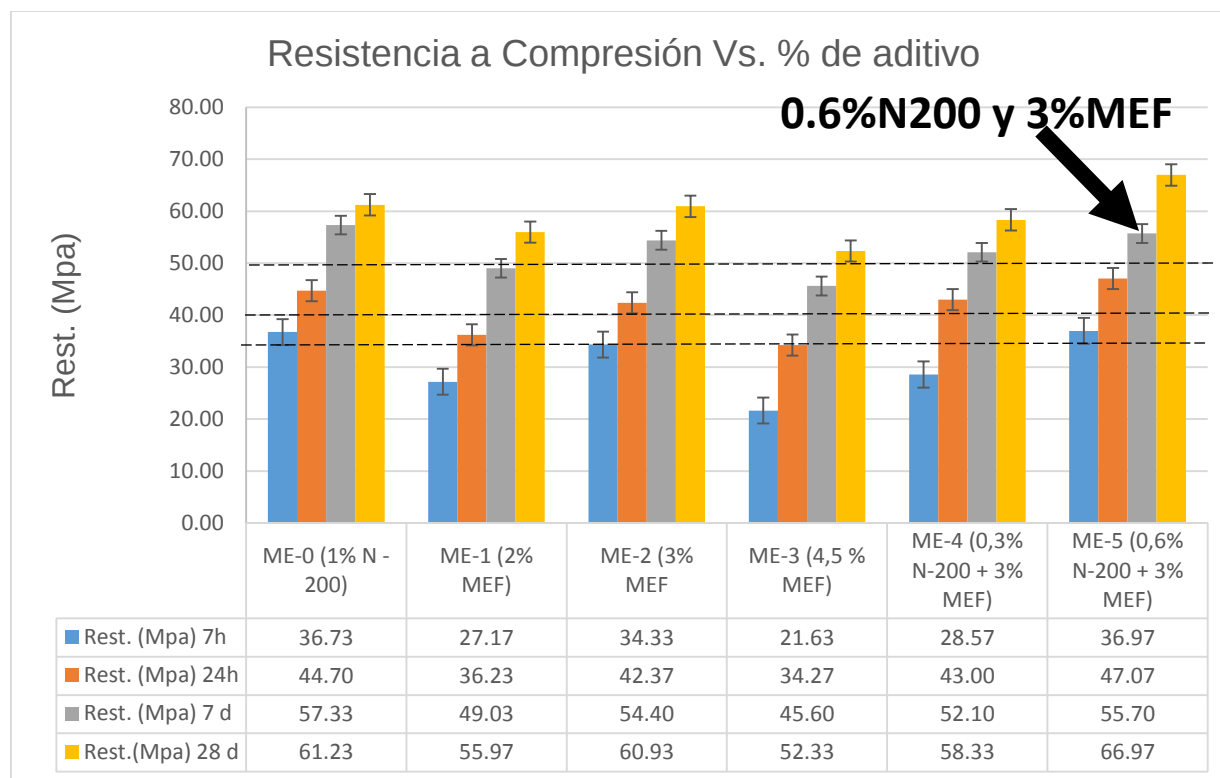


Fig. 3.8. Resultados del ensayo de Resistencia a compresión (hormigones Secos).

Como se distingue en la figura 3.8 ME-5 logran una resistencia a compresión del hormigón con una baja diferencia con respecto a la mezcla patrón ME – 0.

3.2.3. Análisis del porcentaje de absorción a partir del uso del bioproducto MEF – 32 en los hormigones de consistencia seca.

La figura 3.9 presenta los resultados del ensayo de absorción. Se observa claramente que en la medida que aumenta el contenido de bioproducto MEF – 32 se producen incrementos de la absorción principalmente para los casos entre un 3 y 4,5% de aditivo. Nótese que todos los valores de las muestras elaboradas son mayores que valores de % de absorción de agua de la muestra control con 1% de N – 200.

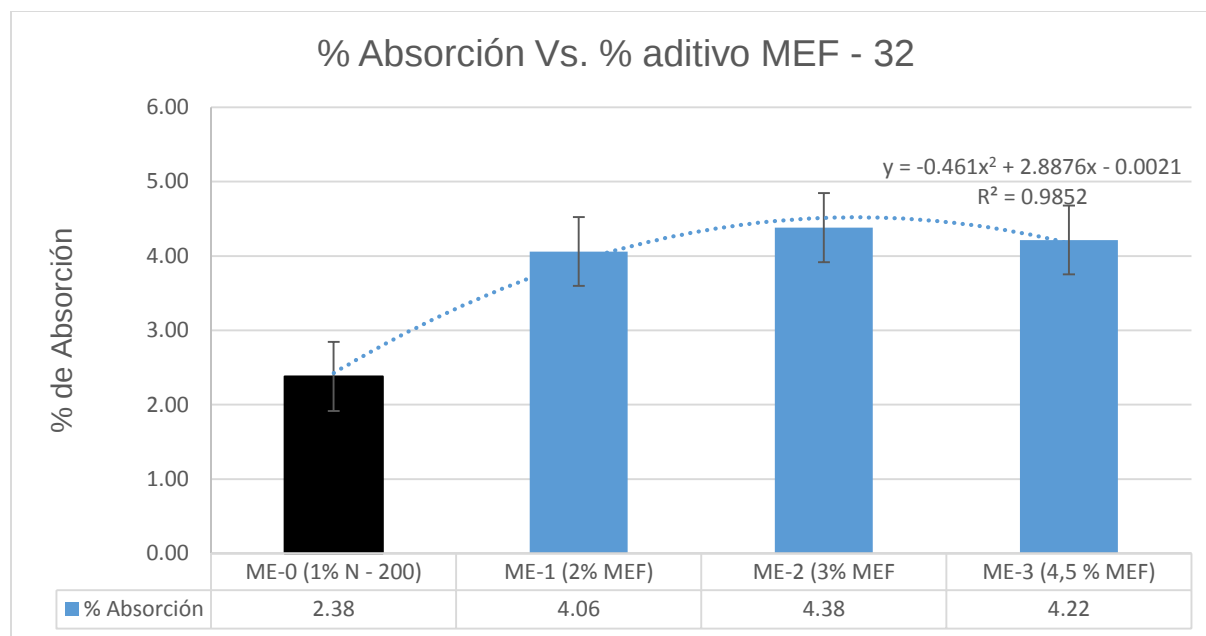


Fig. 3.9. Evaluación del % de absorción a partir del uso del MEF-32

Del análisis de la absorción a los 28 días se puede percibir que las muestras elaboradas a partir de la adición MEF – 32 presentan un índice de absorción más alto, lo que permite dando su desempeño (Carbonari, 2012, Rojas Moya, 2008), clasificarlo como un hormigón de moderada calidad

3.2.4. Evaluación del % de absorción a partir de la combinación del viscosificante MEF – 32 y el plastificante Mapefluy N – 200.

Tal y como se muestra en la figura 3.10, la muestra ME-0 (patrón con N - 200) mostro un comportamiento favorable, lo cual indica que estamos en presencia de un hormigón de buena calidad (Rojas Moya, 2008), excepto las demás mezclas donde se utilizaron las combinaciones de N – 200 con el MEF-32, donde su desempeño es más deficiente clasificando como un hormigón de moderada calidad.

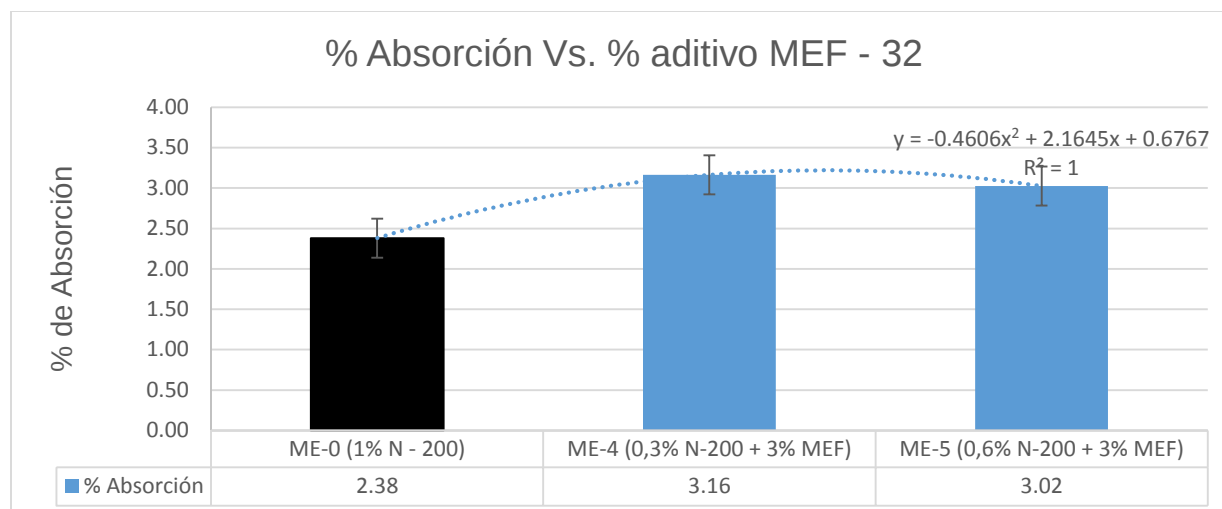


Fig. 3.10. Evaluación del % de absorción a partir del uso de las combinaciones MEF – 32 + N- 200.

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 del bioproducto MEF-32 sobre las propiedades físico – mecánicas de hormigones utilizados para la construcción de traviesas de ferrocarril.

3.3.1. Resultados de ensayos físico – mecánicos.

3.3.1.1. Consistencia de la mezcla de hormigón (prueba industrial).

La tabla 5 muestra los resultados de consistencia por el Cono de Abrams para las mezclas realizadas en la prueba industrial, las cuales muestran un comportamiento favorable al mantener un consistencia similar estando en un rango entre los 35 – 42 segundos Vebe lográndose disminuir significativamente la relación a/c a 0,25 con respecto a la muestra control.

Tabla 3.1 Ensayo de consistencia Vebe (Prueba Industrial)

%	Para 1m3	Para 20L	SkramptaeV (s)	VeBe	Relación a/c
	MEF	MEF			
	(L)	(L)			
0	0	0	50	35	0,37
3	13,5	0,27	50	35	0,25

A la hora del vertido del hormigón se observó una mezcla de consistencia adecuada (ver figura 3.11 a), de buena laborabilidad, lo que permitió que fluyera bien por el dosificador a la hora de colocar el hormigón dentro de los moldes, se logró una fácil compactación.



Fig. 3.11 Colocación del hormigón en los moldes para traviesas

3.3.1.2. Ensayo de Resistencia a compresión de las probetas (prueba industrial).

Como se observa en la figura 3.12 los resultados de resistencia a la compresión de las pruebas industrial, a partir del uso del viscosificante MEF 32 superan los valores establecidos en el diseño de mezcla establecido por la ENIA para hormigones de 50 MPa, siendo ligeramente superior a la mezcla control.

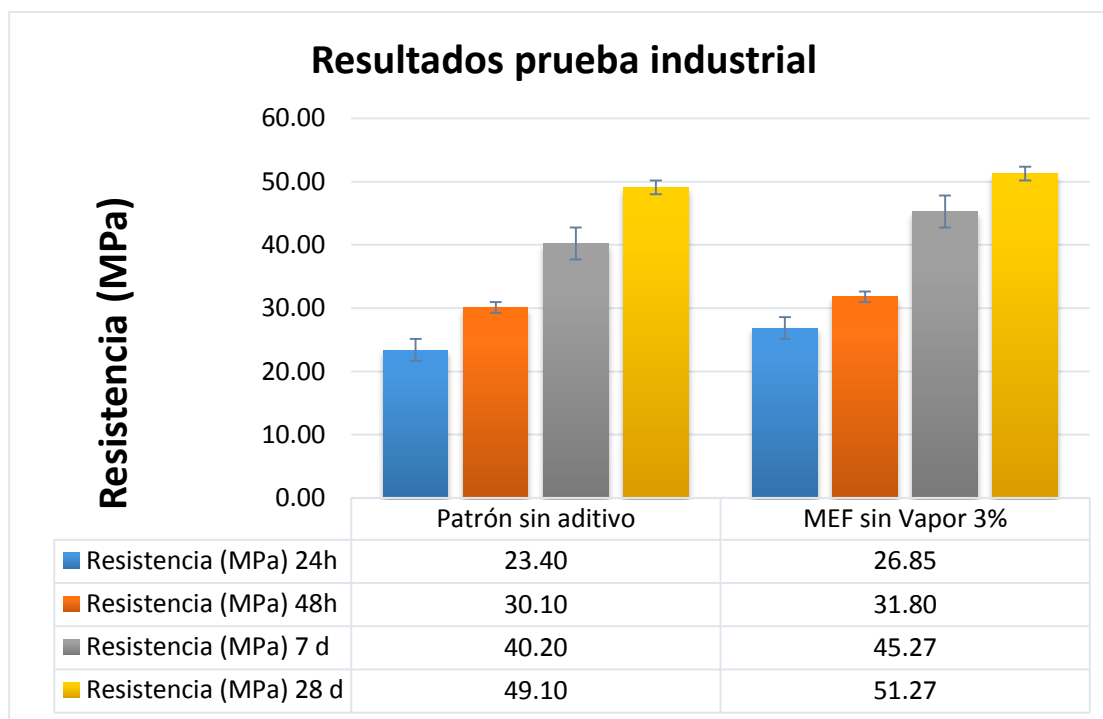


Fig. 3.12. Resultados del ensayo de Resistencia a compresión (Prueba industrial).

3.3.1.3. Ensayo de capacidad portante de las traviesas.

La calidad de las traviesas producidas en la planta, se verificó usando el procedimiento establecido por la empresa, que parte de la evaluación de una muestra aleatoria simple de una muestra de 5 traviesas de cada lote, las cuales son sometidas a una carga en las cuatro secciones más críticas de la traviesa, siendo la carga mínima normada por la empresa para traviesas de primera calidad de 12 t (ver figura 3.13).



Fig. 3.13. Ensayo de resistencia portante en traviesas.

En el caso de las traviesas elaboradas con el bioproducto MEF-32 cumplieron en su totalidad con los requisitos de la empresa para su selección en la categoría de primera calidad. Es importante destacar que la primera traviesa ensayada, fue sometida a una carga superior de forma constante para observar su comportamiento hasta su rotura, el espécimen resistió una carga de hasta 14 toneladas, lo que demuestra una influencia positiva en cuanto a la resistencia de los hormigones elaborados a la edad de 7 días.

3.4. Conclusiones parciales del Capítulo III

1. Los ensayos realizados en los hormigones frescos y endurecidos empleando las combinaciones de MEF con el aditivo plastificante comercial logra su mejores resultados en los diferentes ensayos físico-mecánicos para dosis del 3% de MEF y 0,6% del N – 200 con respecto al peso del cemento.
2. En los resultados de porcentaje de absorción a los 28 días se puede percibir que las muestras elaboradas a partir de la adición MEF – 32 presentan un índice de absorción más alto, lo que permite dando su desempeño, clasificarlo como un hormigón de moderada calidad
3. La calidad de las muestras de hormigón fresco y endurecido demostraron que cumplen con los parámetros del diseño de mezcla para traviesas de hormigón, elementos que hablan favorablemente del uso del aditivo MEF en comparación con el aditivo plastificante Mapefluy N – 200.

4. Los valores de la resistencia mecánica del hormigón endurecido empleando la combinación del MEF con el aditivo plastificante mostro los mejores resultados en la prueba industrial en comparación con los hormigones tradicionales utilizados en la fabricación de traviesas de hormigón.

Conclusiones Generales:

1. El uso del viscosificante MEF 32, se presenta como una alternativa viable, para mejorar la eficiencia en la producción de elementos de hormigón, específicamente en la fabricación de traviesas de ferrocarril, no requiriendo para su implementación de cambios tecnológicos de consideración
2. Se demuestra que el uso del aditivo MEF -32, resulta ser efectivo a partir de su combinación con un aditivo comercial, lo cual se ve reflejado en la mejora de las propiedades físico – mecánicas.
3. Teniendo en cuenta el efecto de la combinación del aditivo MEF con el aditivo comercial se confirma su 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.
4. Los resultados de la prueba industrial en el caso de las traviesas elaboradas con el bioproducto MEF-32 cumplieron en su totalidad con los requisitos de la empresa para su selección en la categoría de primera calidad

Recomendaciones:

1. Se recomienda lograr una mayor concentración del bioproducto para determinar el efecto en los hormigones en un menor porcentaje de adición.
2. Evaluar el impacto económico, ecológico y social del uso del aditivo MEF – 32 en la producción de traviesas de ferrocarril, a partir de un estudio de factibilidad económica.

Referencia Bibliográfica.

1. ABREU RODRÍGUEZ, M. 2011. *Análisis del Micro-ben como aditivo plastificante para los Hormigones Autocompactables*. Martha Abreu de Las Villas
2. ACI-116 2000. Cement and Concrete Terminology. ACI Manual of Concrete Practice 2000, Part 1.
3. AGGARWAL 2008. Self-Compacting Concrete - Procedure for Mix Design *Electronic Journal of Practices and Technologies* p. 15-24.
4. ANDREW, T. C. S., SYAHRIZAL, I. I. & JAMALUDDIN, M. Y. 2013. Effective Microorganisms for Concrete (EMC) Admixture – Its Effects to the Mechanical Properties of Concrete *Caspian Journal of Applied Sciences Research*, 150-157.
5. ASAGA, K. & ROY, D. M. 1980. Rheological properties of cement mixes: IV. Effects of superplasticizers on viscosity and yield stress *Cement and Concrete Research* 10, 287-295.
6. ASTM C 494-92 1992. ASTM C494-92. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete
7. ASTM C494 1992. Standard Specification for Chemicals Admixtures for Concrete.
8. BARRIGA, B. P. A. P. 2003. REOLOGÍA DEL CONCRETO. XIV CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA CIVIL - IQUITOS 2003. Perú.
9. BARTOS 1992. Fresh concrete properties and tests. *Elsevier Science & Publication, Amsterdam, New York*.
10. BARTOS 1993a. Workability of special concrete mixes. *Materials and Structures* 26(155), 50.
11. BARTOS, P. 1993b. "Special concretes: Workability and mixing.". *Proc. Intl RILEM Workshop.TA416R5P, No. 24, E&FN Spon, London*.
12. BELTRAMONE 2003. Modifications in concrete superficial properties due to the use of different formwork release agents and plastic additives *Materiales de Construcción* 270, 71-78.
13. BERMEJO. 2009. *Dosificación, propiedades y durabilidad en hormigón autocompactante para edificación*
14. BETACOURT, T. R. S. 2009. *Aditivos para mezclas de hormigón hidráulico*. Aditivos. Santa Clara. Martha Abreu de las Villas.
15. BOLOBOVA, A. V. & KONDRASHCHENKO, V. I. 2000. Use of Yeast Fermentation Waste as a Biomodifier of Concrete (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 36, 205-214.
16. BRIZUELA, R. J. A. 2013. *Determinación del efecto plastificante del bioproducto MEF en pastas de cemento*. Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
17. BROOKS, Y. 2014. *Evaluación de combinaciones de aditivos (MEF + SP) para la fabricación de hormigones de consistencia plástica en la ECOT "Cayo Santa María" de Villa Clara.*, Martha Abreu de las Villas.
18. CABRERA PÉREZ, M. 2013. *Influencia de bioproductos MEF sobre propiedades físicas y reológicas de pastas de cemento*. Trabajo de Diploma Martha Abreu de las Villas.

19. CARBONARI 2012. Analysis of production factors in high performance concrete

20. CIVIL, I. 2014. Aditivos – Aspectos generales Available: <http://ingecivilcusco.blogspot.com/2009/07/aditivos-aspectosgenerales.html>
21. 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.
22. DÍAZ, Y. 2014. INSTRUCTIVO TÉCNICO. In: CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES, C. (ed.).
23. DIVER, S. 2001. Nature Farming and Effective Microorganisms. *Rhizosphere II: Publications, Resource Lists and Web Links from Steve Diver*.
24. DRANSFIELD, J. 2013. Admixture Sheet ATS-1. Normal plasticising/Water reducing
25. FAROUG, F., SZWABOWSKI, J. & WILD, S. 1999. Influence of superplasticizers on workability of concrete. *Journal of materials in civil engineering*, 11, 151-157.
26. FERRARIS, C. F., OBLA, K. H. & HILL, R. 2001. The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete. *Cement and Concrete Research*, 31, 245-255.
27. FLATT, R. J., ROUSSEL, N. & R. CHEESEMAN, C 2012. An eco material that needs to be improved. *Journal of the European Ceramic Society*.
28. GÓMEZ. 2010. *Uso de plastificantes a partir de microorganismos eficientes en hormigones*. UNIVERSIDAD CENTRAL MARTA ABR EU DE LAS VILLAS.
29. HIGA, T. 1995. 'What is EM Technology'.
30. HIGA, T., G.N. WIDIDANA The concept and theories of effective microorganisms. p. 118-124. In Parr, S.B. Hornick, and C.E. Whitman (ed.) Proceedings of the First International Conference on Kyusei Nature Farming. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., USA., 1991.
31. HUSSAIN T, A. A., TAHIR J 2000. Technology of beneficial microorganisms (BM-Technology).
32. JOFRÉ, I. C. 1995. El hormigón seco compactado en la construcción de carreteras
33. JONKERS, H. M. 2007. Self-healing concrete: a biological approach. Self Healing Materials. *Alternative Approach to 20 Centuries 195 of Materials Science*.
34. JUEZ, E. T. 1997. *Colegio Oficial de Arquitectos de Aragón. Hormigón Armado*, p. 41- 49.
35. LEEMAN, A., LOTHENBACH, B. & THALMANN, C 2011. Influence of superplasticizers on pore solution composition and on expansion of concrete due to alkali-silica reaction. *Construction and Building Materials*, 344-350.
36. LEEMANN, A. & WINNEFELD, F. 2007. The effect of viscosity modifying agents on mortar and concrete. *Cement and Concrete Composites*. 29, 341-349.
37. MARGOLLES, D. G. 2010. *Uso de plastificantes a partir de microorganismos eficientes en hormigones*. Universidad central "Marta Abreu" de las Villas.
38. MARTIRENA, F. 2012. Cement Bio-Plasticezers. Preliminary Debelopment.
39. MINDESS, A. Y. 1981. Concrete. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
40. NC54-207. 1980. Cemento. Ensayos físicos-mecánicos.

41. NC120 2007. Hormigón Hidráulico-Especificaciones. .
42. NC228 2005. Aditivos para hormigones, morteros y pastas — parte 1: Aditivos para hormigón — requisitos. -1 2005. NC 228-1:2005 La Habana.
43. NC724 2009. “Ensayos del hormigón-Resistencia del hormigón en estado endurecido”.
44. NEMT-255605 1987. Determinación de la consistencia del hormigón fresco por el método del consitómetro Skramptaev. *In*: FIJAS, E. I. D. I. (ed.).
45. OZLEM 2010. Self-Consolidating High-Strength Concrete Optimization by Mixture Design Method
46. *ACI MATERIALS JOURNAL*, 357-364.
47. RIVA L, E. 2006. *DURABILIDAD Y PATOLOGIA DEL CONCRETO*
48. ROJAS MOYA, G. 2008. Evaluación de estructuras de concreto por corrosión. *Tecnología en Marcha*, Vol.21, pp.69-78.
49. VENKOVIC, N., SORELLI , L. & MARTIRENA, F 2014. Nanoindentation study of calcium silicate hydrates in concrete produced with effective microorganisms-based bioplasticizer. *Cement & Concrete Composites*, 49, 127– 139.
50. YATIM 2001. Characterization and effects of the effective micro-organics (em) and industrial waste (iw) material as partial mixture of concrete. .
51. 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 I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 7 HORAS

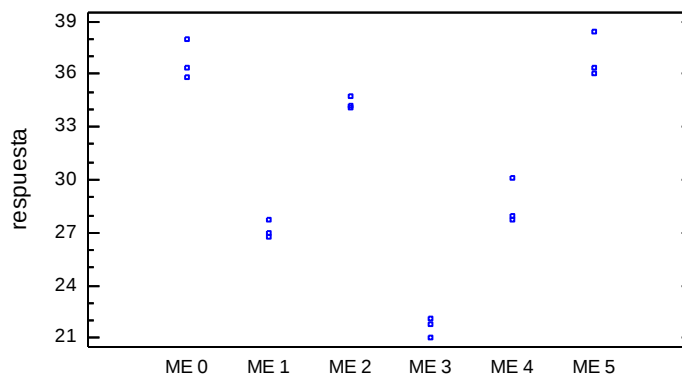
Anexo I: Análisis estadístico ensayo de resistencia 7 horas

Resumen Estadístico

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
ME 0	3	36,7333	1,13725	3,09596%	35,8	38,0	2,2	0,85253
ME 1	3	27,1667	0,472582	1,73956%	26,8	27,7	0,9	0,982621
ME 2	3	34,3333	0,321455	0,936277%	34,1	34,7	0,6	1,09276
ME 3	3	21,6333	0,568624	2,62846%	21,0	22,1	1,1	-0,85253
ME 4	3	28,5667	1,33167	4,66161%	27,7	30,1	2,4	1,19374
ME 5	3	36,9667	1,25033	3,38233%	36,1	38,4	2,3	1,1459
Total	18	30,9	5,81165	18,8079%	21,0	38,4	17,4	-0,661168

	Curtosis Estandarizada
ME 0	
ME 1	
ME 2	
ME 3	
ME 4	
ME 5	
Total	-1,0578

Dispersión según Muestra



ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 7 HORAS

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	563,62	5	112,724	128,10	0,0000
Intra grupos	10,56	12	0,88		
Total (Corr.)	574,18	17			

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 128,095, 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 6 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos

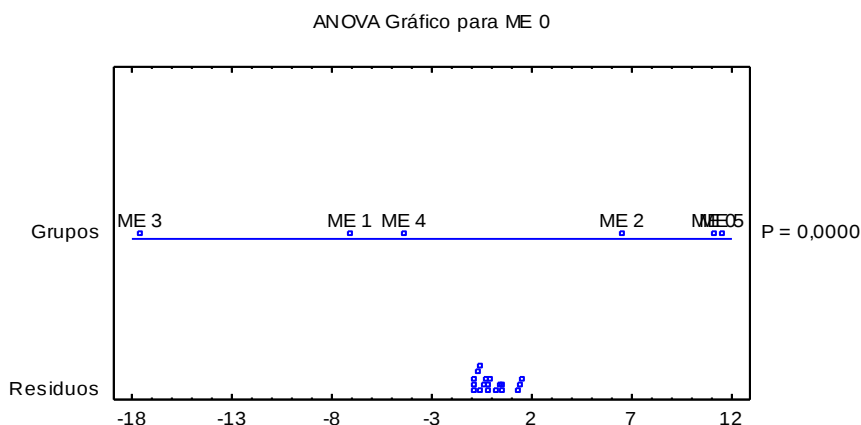


Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95,0%

			Error Est.		
	Casos	Media	(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
ME 0	3	36,7333	0,541603	35,8989	37,5678
ME 1	3	27,1667	0,541603	26,3322	28,0011
ME 2	3	34,3333	0,541603	33,4989	35,1678
ME 3	3	21,6333	0,541603	20,7989	22,4678
ME 4	3	28,5667	0,541603	27,7322	29,4011
ME 5	3	36,9667	0,541603	36,1322	37,8011
Total	18	30,9			

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 7 HORAS

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 3	3	21,6333	X
ME 1	3	27,1667	X
ME 4	3	28,5667	X
ME 2	3	34,3333	X
ME 0	3	36,7333	X
ME 5	3	36,9667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
ME 0 - ME 1	*	9,56667	1,66885
ME 0 - ME 2	*	2,4	1,66885
ME 0 - ME 3	*	15,1	1,66885
ME 0 - ME 4	*	8,16667	1,66885
ME 0 - ME 5		-0,233333	1,66885
ME 1 - ME 2	*	-7,16667	1,66885
ME 1 - ME 3	*	5,53333	1,66885
ME 1 - ME 4		-1,4	1,66885
ME 1 - ME 5	*	-9,8	1,66885
ME 2 - ME 3	*	12,7	1,66885
ME 2 - ME 4	*	5,76667	1,66885
ME 2 - ME 5	*	-2,63333	1,66885
ME 3 - ME 4	*	-6,93333	1,66885
ME 3 - ME 5	*	-15,3333	1,66885
ME 4 - ME 5	*	-8,4	1,66885

Indica una diferencia significativa.

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 7 HORAS

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 13 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 4 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.

Verificación de Varianza

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,352823	0,870762

Los estadísticos mostrados en esta tabla evalúan la hipótesis nula de que las desviaciones estándar dentro de cada una de las 6 columnas son iguales. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 24 HORAS

Anexo I: Análisis estadístico ensayo de resistencia 24 horas

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 0	3	44,7	1,249	2,79418%	43,3	45,7	2,4	-0,914531
ME 1	3	36,2333	0,550757	1,52003%	35,6	36,6	1,0	-1,17948
ME 2	3	42,3667	1,2897	3,04415%	41,3	43,8	2,5	0,831526
ME 3	3	34,2667	0,814453	2,37681%	33,7	35,2	1,5	1,14218
ME 4	3	43,0	1,05357	2,45015%	42,0	44,1	2,1	0,299299
ME 5	3	47,0667	0,503322	1,06938%	46,6	47,6	1,0	0,41407
Total	18	41,2722	4,74674	11,5011%	33,7	47,6	13,9	-0,711978

	<i>Curtosis Estandarizada</i>
ME 0	
ME 1	
ME 2	
ME 3	
ME 4	
ME 5	
Total	-1,14876

Esta tabla muestra varios estadísticos para cada una de las 6 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.

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 24 HORAS

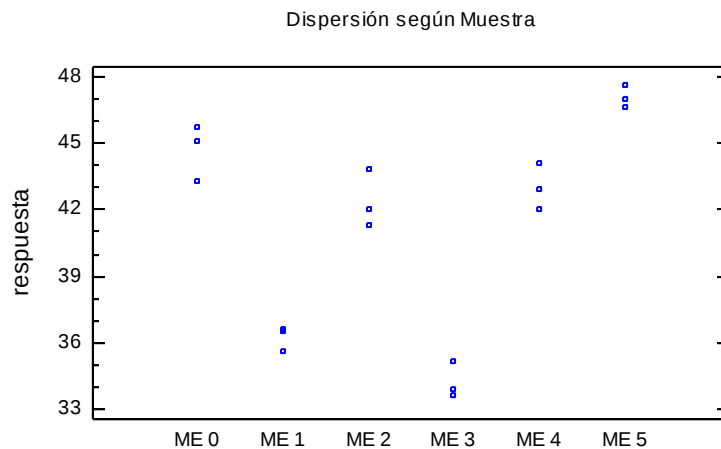


Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	371,929	5	74,3859	80,37	0,0000
Intra grupos	11,1067	12	0,925556		
Total (Corr.)	383,036	17			

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 80,3689, 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 6 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos.

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 24 HORAS

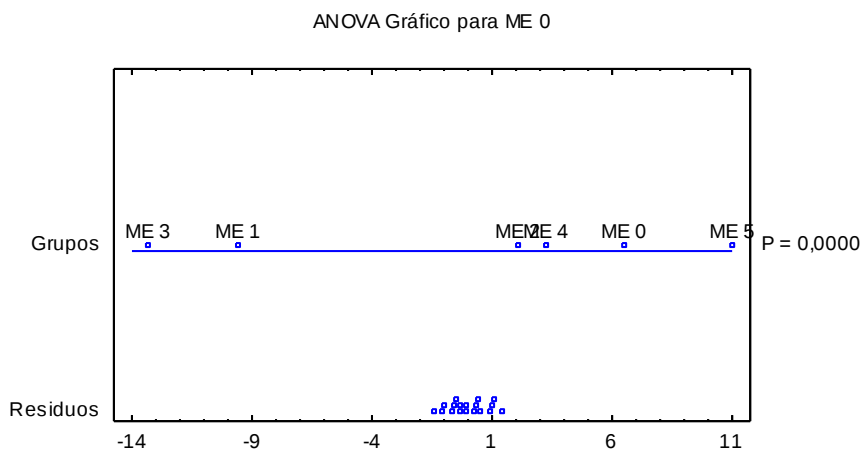


Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95,0%

			Error Est.		
	Casos	Media	(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
ME 0	3	44,7	0,555444	43,8443	45,5557
ME 1	3	36,2333	0,555444	35,3776	37,0891
ME 2	3	42,3667	0,555444	41,5109	43,2224
ME 3	3	34,2667	0,555444	33,4109	35,1224
ME 4	3	43,0	0,555444	42,1443	43,8557
ME 5	3	47,0667	0,555444	46,2109	47,9224
Total	18	41,2722			

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

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 24 HORAS

se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
ME 3	3	34,2667	X
ME 1	3	36,2333	X
ME 2	3	42,3667	X
ME 4	3	43,0	XX
ME 0	3	44,7	X
ME 5	3	47,0667	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
ME 0 - ME 1	*	8,46667	1,7115
ME 0 - ME 2	*	2,33333	1,7115
ME 0 - ME 3	*	10,4333	1,7115
ME 0 - ME 4		1,7	1,7115
ME 0 - ME 5	*	-2,36667	1,7115
ME 1 - ME 2	*	-6,13333	1,7115
ME 1 - ME 3	*	1,96667	1,7115
ME 1 - ME 4	*	-6,76667	1,7115
ME 1 - ME 5	*	-10,8333	1,7115
ME 2 - ME 3	*	8,1	1,7115
ME 2 - ME 4		-0,633333	1,7115
ME 2 - ME 5	*	-4,7	1,7115
ME 3 - ME 4	*	-8,73333	1,7115
ME 3 - ME 5	*	-12,8	1,7115
ME 4 - ME 5	*	-4,06667	1,7115

* 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 13 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

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 24 HORAS

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.

Verificación de Varianza

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,31875	0,892227

Los estadísticos mostrados en esta tabla evalúan la hipótesis nula de que las desviaciones estándar dentro de cada una de las 6 columnas son iguales. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 7 DÍAS

Anexo I: Análisis estadístico ensayo de resistencia 7 días

Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coeficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>
ME 0	3	57,3333	0,51316	0,895047%	56,9	57,9	1,0	0,770952
ME 1	3	49,0333	0,80829	1,64845%	48,3	49,9	1,6	0,510608
ME 2	3	54,4	0,754983	1,38784%	53,6	55,1	1,5	-0,41407
ME 3	3	45,6	0,519615	1,13951%	45,3	46,2	0,9	1,22474
ME 4	3	52,1	0,754983	1,4491%	51,3	52,8	1,5	-0,41407
ME 5	3	55,7	1,51327	2,71683%	54,0	56,9	2,9	-0,936579
Total	18	52,3611	4,20002	8,02126%	45,3	57,9	12,6	-0,771991

	<i>Curtosis Estandarizada</i>
ME 0	
ME 1	
ME 2	
ME 3	
ME 4	
ME 5	
Total	-0,910284

Esta tabla muestra varios estadísticos para cada una de las 6 columnas de datos. Para probar diferencias significativas entre las medias de las columnas

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 7 DÍAS

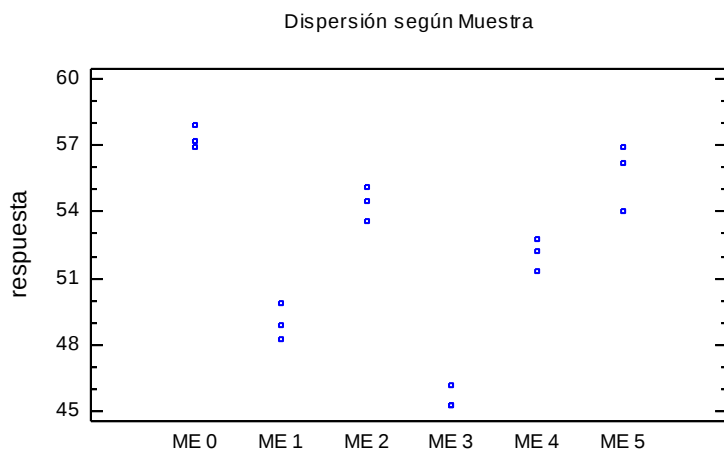


Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	290,649	5	58,1299	75,55	0,0000
Intra grupos	9,23333	12	0,769444		
Total (Corr.)	299,883	17			

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 75,5479, 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 6 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos.

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 7 DIAS

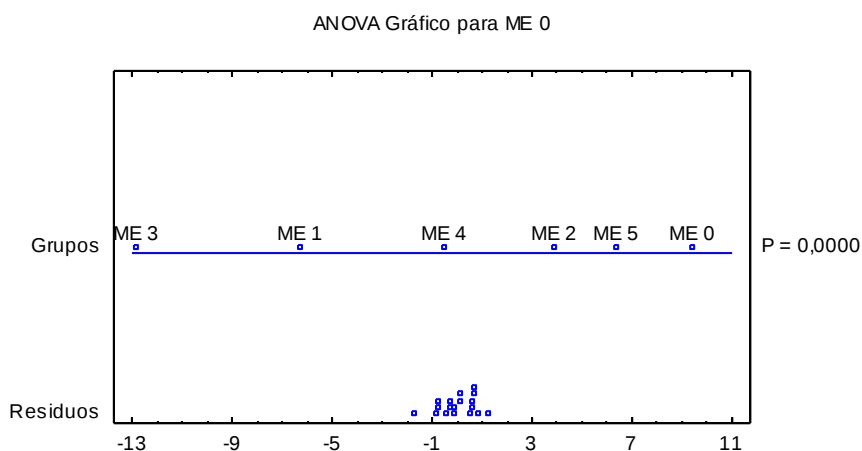


Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95,0%

			Error Est.		
	Casos	Media	(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
ME 0	3	57,3333	0,50644	56,5531	58,1136
ME 1	3	49,0333	0,50644	48,2531	49,8136
ME 2	3	54,4	0,50644	53,6197	55,1803
ME 3	3	45,6	0,50644	44,8197	46,3803
ME 4	3	52,1	0,50644	51,3197	52,8803
ME 5	3	55,7	0,50644	54,9197	56,4803
Total	18	52,3611			

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.

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 7 DIAS

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
ME 3	3	45,6	X
ME 1	3	49,0333	X
ME 4	3	52,1	X
ME 2	3	54,4	X
ME 5	3	55,7	X
ME 0	3	57,3333	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
ME 0 - ME 1	*	8,3	1,5605
ME 0 - ME 2	*	2,93333	1,5605
ME 0 - ME 3	*	11,7333	1,5605
ME 0 - ME 4	*	5,23333	1,5605
ME 0 - ME 5	*	1,63333	1,5605
ME 1 - ME 2	*	-5,36667	1,5605
ME 1 - ME 3	*	3,43333	1,5605
ME 1 - ME 4	*	-3,06667	1,5605
ME 1 - ME 5	*	-6,66667	1,5605
ME 2 - ME 3	*	8,8	1,5605
ME 2 - ME 4	*	2,3	1,5605
ME 2 - ME 5		-1,3	1,5605
ME 3 - ME 4	*	-6,5	1,5605
ME 3 - ME 5	*	-10,1	1,5605
ME 4 - ME 5	*	-3,6	1,5605

* 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 14 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

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 7 DIAS

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.

Verificación de Varianza

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,43834	0,813549

Los estadísticos mostrados en esta tabla evalúan la hipótesis nula de que las desviaciones estándar dentro de cada una de las 6 columnas son iguales. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 28 DÍAS

Anexo I: Análisis estadístico ensayo de resistencia 28 días

Resumen Estadístico

Muestras	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
ME 0	3	61,2333	3,21921	5,25729%	57,7	64,0	6,3	-0,714819
ME 1	3	55,9667	0,85049	1,51964%	55,0	56,6	1,6	-1,05555
ME 2	3	60,9333	1,34288	2,20386%	59,4	61,9	2,5	-1,10363
ME 3	3	52,3333	0,907377	1,73384%	51,3	53,0	1,7	-1,07586
ME 4	3	58,3333	0,70946	1,21622%	57,7	59,1	1,4	0,576888
ME 5	3	66,9667	2,70617	4,04106%	64,8	70,0	5,2	0,914531
Total	18	59,2944	4,97269	8,38643%	51,3	70,0	18,7	0,633239

	Curtosis Estandarizada
ME 0	
ME 1	
ME 2	
ME 3	
ME 4	
ME 5	
Total	-0,17877

Esta tabla muestra varios estadísticos para cada una de las 6 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.

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 28 DÍAS

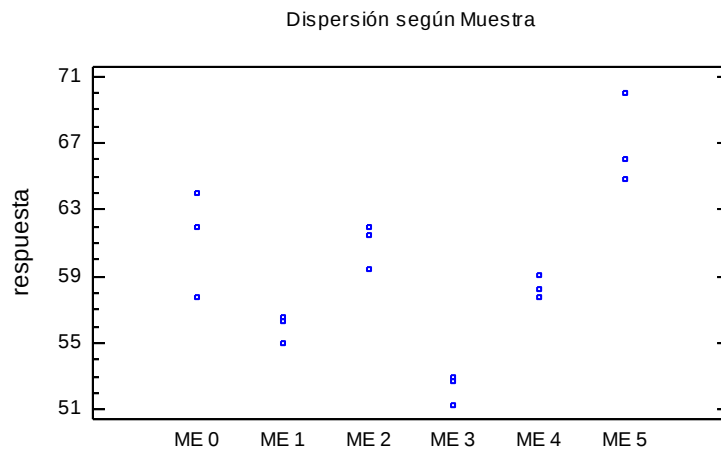


Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	377,289	5	75,4579	21,02	0,0000
Intra grupos	43,08	12	3,59		
Total (Corr.)	420,369	17			

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 21,0189, 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 6 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.

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 28 DIAS

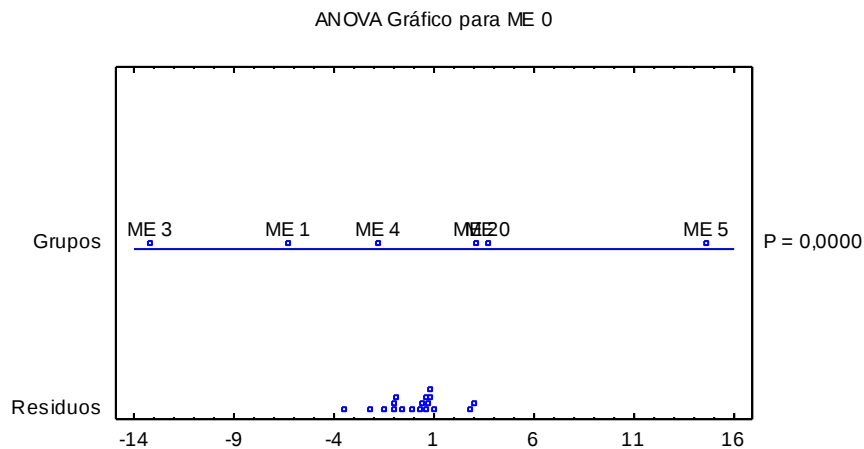


Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95,0%

			Error Est.		
	Casos	Media	(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
ME 0	3	61,2333	1,09392	59,548	62,9187
ME 1	3	55,9667	1,09392	54,2813	57,652
ME 2	3	60,9333	1,09392	59,248	62,6187
ME 3	3	52,3333	1,09392	50,648	54,0187
ME 4	3	58,3333	1,09392	56,648	60,0187
ME 5	3	66,9667	1,09392	65,2813	68,652
Total	18	59,2944			

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.

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 28 DIAS

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
ME 3	3	52,3333	X
ME 1	3	55,9667	X
ME 4	3	58,3333	XX
ME 2	3	60,9333	X
ME 0	3	61,2333	X
ME 5	3	66,9667	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
ME 0 - ME 1	*	5,26667	3,37072
ME 0 - ME 2		0,3	3,37072
ME 0 - ME 3	*	8,9	3,37072
ME 0 - ME 4		2,9	3,37072
ME 0 - ME 5	*	-5,73333	3,37072
ME 1 - ME 2	*	-4,96667	3,37072
ME 1 - ME 3	*	3,63333	3,37072
ME 1 - ME 4		-2,36667	3,37072
ME 1 - ME 5	*	-11,0	3,37072
ME 2 - ME 3	*	8,6	3,37072
ME 2 - ME 4		2,6	3,37072
ME 2 - ME 5	*	-6,03333	3,37072
ME 3 - ME 4	*	-6,0	3,37072
ME 3 - ME 5	*	-14,6333	3,37072
ME 4 - ME 5	*	-8,63333	3,37072

* 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 11 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 4 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

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE RESISTENCIA 28 DIAS

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.

Verificación de Varianza

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,801995	0,569299

Los estadísticos mostrados en esta tabla evalúan la hipótesis nula de que las desviaciones estándar dentro de cada una de las 6 columnas son iguales. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

ANEXO II: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE % DE ABSORCIÓN

Anexo II: Análisis estadístico ensayo de % absorción

Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
ME 0	3	2,38062	0,147313	6,188%	2,21154	2,48129	0,269747
ME 1	3	4,06027	1,67951	41,3644%	2,1212	5,05718	2,93598
ME 2	3	4,37985	0,271326	6,19486%	4,07975	4,60783	0,528075
ME 3	3	4,21531	0,106981	2,53792%	4,11566	4,32836	0,212699
ME 5	3	3,16323	0,243061	7,68396%	2,8829	3,31522	0,432326
Total	15	3,63985	1,02044	28,0352%	2,1212	5,05718	2,93598

	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
ME 0	-1,15902	
ME 1	-1,22328	
ME 2	-0,786101	
ME 3	0,392426	
ME 5	-1,2117	
Total	-0,325496	-1,14857

La tabla anterior muestra varios estadísticos para cada una de las 5 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.

ANEXO II: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE % DE ABSORCION

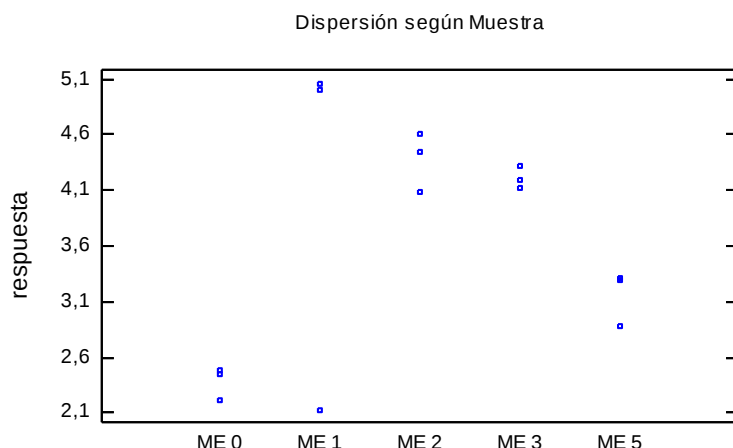


Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8,60502	4	2,15125	3,60	0,0456
Intra grupos	5,97317	10	0,597317		
Total (Corr.)	14,5782	14			

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 3,60153, 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 5 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, ver Pruebas de Múltiples Rangos.

ANEXO II: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE % DE ABSORCION

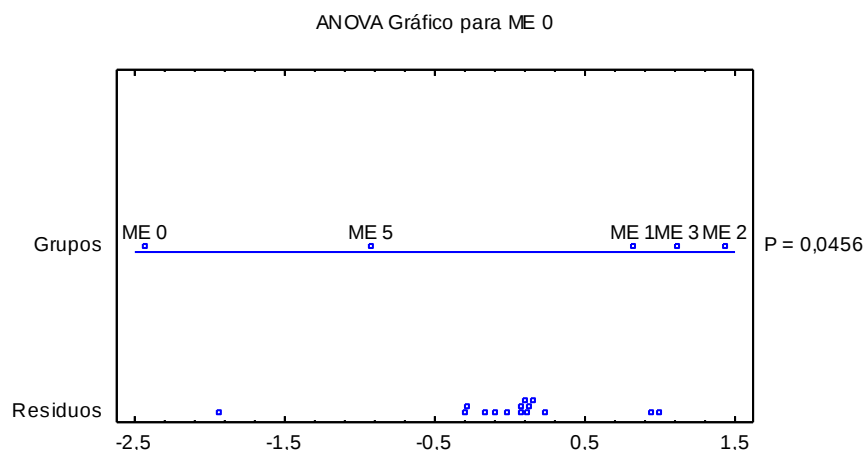
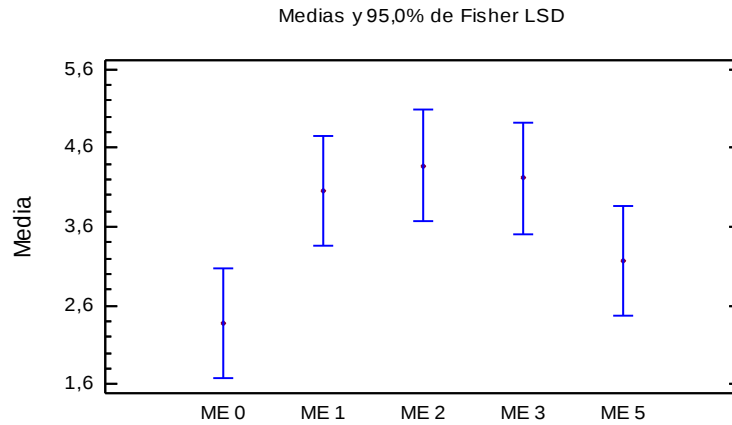


Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95,0%

			Error Est.		
	Casos	Media	(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
ME 0	3	2,38062	0,446213	1,67759	3,08364
ME 1	3	4,06027	0,446213	3,35724	4,76329
ME 2	3	4,37985	0,446213	3,67683	5,08288
ME 3	3	4,21531	0,446213	3,51228	4,91833
ME 5	3	3,16323	0,446213	2,4602	3,86625
Total	15	3,63985			

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.

ANEXO II: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE % DE ABSORCION



Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
ME 0	3	2,38062	X
ME 5	3	3,16323	XX
ME 1	3	4,06027	X
ME 3	3	4,21531	X
ME 2	3	4,37985	X

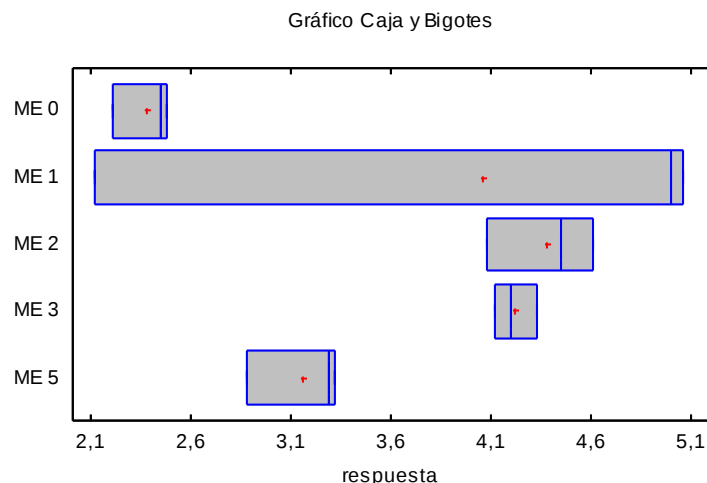
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
ME 0 - ME 1	*	-1,67965	1,40605
ME 0 - ME 2	*	-1,99923	1,40605
ME 0 - ME 3	*	-1,83469	1,40605
ME 0 - ME 5		-0,78261	1,40605
ME 1 - ME 2		-0,319583	1,40605
ME 1 - ME 3		-0,155038	1,40605
ME 1 - ME 5		0,897041	1,40605
ME 2 - ME 3		0,164545	1,40605
ME 2 - ME 5		1,21662	1,40605
ME 3 - ME 5		1,05208	1,40605

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar

ANEXO II: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO DE % DE ABSORCION

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 3 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 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 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.



Verificación de Varianza

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,792173	0,556319

Los estadísticos mostrados en esta tabla evalúan la hipótesis nula de que las desviaciones estándar dentro de cada una de las 5 columnas son iguales. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.
