

Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”  
Facultad de Ingenierías  
Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT)



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

Título: Influencia del aditivo DISTIN 204 en la propiedades físico-mecánicas de los bloques de hormigón.

Autora: Diana Rosa Rodríguez Vega.

Matanzas, Cuba

Junio 2014

Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”  
Facultad de Ingenierías  
Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT)



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

Título: Influencia del aditivo DISTIN 204 en la propiedades físico-mecánicas de los bloques de hormigón.

Autora: Diana Rosa Rodríguez Vega.

Tutor(es): Ing. Elena Téllez Girón.

Ing. Medardo Domínguez Limia.

Matanzas, Cuba

Junio 2014

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Declaro que soy la única autora de este trabajo, que pertenece íntegramente a la facultad de Ingenierías de la Universidad de Matanzas. Autorizo su consulta a otras instituciones, a los profesionales, técnicos y personas en general que lo necesiten, siempre que se respete la procedencia del mismo, quedando prohibida la reproducción total o parcial de este documento, sin la autorización expresa de la Universidad de Matanzas.

Diana Rosa Rodríguez Vega.

# NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del Tribunal

---

Firma

---

Secretario del Tribunal

---

Firma

---

Miembro del Tribunal

---

Firma

---

Miembro del Tribunal

---

Firma

---

Miembro del Tribunal

---

Firma

---

CIUDAD

---

FECHA

## AGRADECIMIENTOS

*A todas las personas que me apoyaron para cumplir esta meta.*

*A mis padres, mis hermanos, abuelos y a mi novio por su ayuda incondicional.*

*A mis tutores Elena Téllez Girón y Medardo Domínguez Limia que estimo y aprecio mucho por su dedicación y siempre me han apoyado y guiado en mi desarrollo investigativo.*

*A los trabajadores del Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción de La Habana y en especial a Ernesto de la O Nibot, Miguel Ángel García, Grisel Bueno Navarro, Yusdel Arguelles y Renán González por brindarme su apoyo y colaboración en esta tarea.*

*A los trabajadores de la planta de bloques de Punta Brava, en especial a María Antonia Cabrera y a los operarios de la planta por su gran atención.*

*A mis compañeros de trabajo de la Planta Piloto de la Universidad de Matanzas, gracias por su preocupación.*

*A mis amigos y compañeros de clase en especial a Cindy, Roberto y Adielis, gracias por su amistad.*

*A mis profesores que durante toda la carrera me han enseñado lo que es ser una profesional integral; en especial una Ingeniera Química.*

*En fin a todos los que han contribuido con mi formación tanto personal como profesional.*

## DEDICATORIA

*Dedico esta tesis:*

*A mis padres Elia Rosa Vega Barani y José Rodríguez Abreu por apoyarme siempre y esforzarse tanto por mí,*

*A mis abuelos Pedro, Tico y Vega por aconsejarme en mis estudios,*

*A mis hermanos Lester, José Luis y mi sobrina Keily,*

*A mi novio Ernesto Miguel por su apoyo y cariño incondicional,*

*A mis primos, primas, tías y tíos, a toda mi familia en general por ser tan especial y preocupada,*

*A mis perritos Kodak, Pantera, Mochi y Sombra,*

*A los amigos y compañeros de clase que compartieron conmigo estos años de estudio y sacrificio.*

## RESUMEN

Este trabajo tiene como propósito estudiar la influencia de un nuevo aditivo denominado DISTIN 204 creado por el laboratorio del Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT) de la Universidad de Matanzas que actúa como plastificante y acelerador de la resistencia para la producción de elementos elaborados con las mezclas de hormigón de consistencia seca vibrocompactadas o vibradas, entre ellos los bloques de hormigón. En esta investigación se realiza una valoración del aditivo DISTIN 204 en bloques de hormigón y se evalúa a escala de laboratorio la dosis más efectiva para realizar la prueba a escala industrial. Las pruebas realizadas a nivel industrial se desarrolla con el aditivo DISTIN 204, comparando muestras de bloques patrón (sin adición de aditivo) con respecto a muestras de bloques con una dosis de aditivo para parámetros constantes de agua y cemento y con reducción de cemento del 10 %, con el objetivo de conocer el comportamiento de estos en cuanto a resistencia a la compresión y absorción en los bloques de hormigón a diferentes edades ensayadas en el proceso de producción que actualmente realiza la planta ``Secundino Guerra`` de Punta Brava situada en la provincia de Artemisa, así como determinar su carácter plastificante en pastas de cemento por el método del minicono. También se realiza una valoración económica del uso del mismo a nivel industrial. Los resultados obtenidos comprueban que el aditivo cumple con las características físico-químicas y propiedades físico-mecánicas para ser insertado en la producción nacional.

## **SUMMARY**

This paper aims to study the influence of a new additive called DISTIN 204 created by the laboratory of the Center of Studies of Corrosion and Tensioactives (CEAT) of the University of Matanzas that acts as a plasticizer and resistance accelerator for the production of elements developed with concrete mixtures of dry consistency vibro-compression or vibrated, including concrete blocks. In this investigation, is carried out a valuation of additive DISTIN 204 in concrete blocks and it is evaluated in laboratory scale the most effective dose for made a testing industrial scale. The tests performed at level industrial is developed with the additive DISTIN 204, comparing samples the pattern blocks (without additive addition) with respect to sample blocks with a dose of additive constant parameters of water and cement and with cement reduction the 10 %, with the objective of know the behavior of these in terms of compression resistance and absorption in the concrete blocks at different ages tested in the production process that currently performs the plant "Secundino Guerra" of Punta Brava located in the province of Artemisa, as well as determining its plasticizer character in cement pastes by mini-cone method. Is also performed an economic valuation of the use at industrial level. The results obtained prove that the additive complies with the physico-chemical and physico-mechanical properties to be inserted in the national production.

# TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>- 1 -</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>- 4 -</b>
1.1 Generalidades. ....	- 4 -
1.1.1 Definición de aditivos para bloques de hormigón. ....	- 5 -
1.2 Clasificación de los aditivos.....	- 6 -
1.3 Efecto de la incorporación de los aditivos en bloques de hormigón. ....	- 7 -
1.3.1 Mecanismo de acción de los aditivos. ....	- 8 -
1.4 Importancia del uso de aditivos en bloques de hormigón.....	- 9 -
1.5 Ventajas técnico-económicas que proporciona la aplicación de los bloques de hormigón. ....	- 10 -
1.6 Ensayos de evaluación de las características de los aditivos. ....	- 11 -
1.7 Aditivo DISTIN 204 plastificante y acelerador de la resistencia.....	- 13 -
1.7.1 Proceso de producción del aditivo DISTIN 204 a escala de planta piloto. ....	- 13 -
1.7.2 Características del aditivo DISTIN 204 plastificante y acelerador de la resistencia producido por el CEAT. ....	- 15 -
1.8 Determinación de la plasticidad por el método del minicono en pastas de cemento .....	- 15 -
1.9 Determinación de las propiedades físico-mecánicas de los bloques de hormigón.....	- 16 -
1.9.1 Determinación de las dimensiones.....	- 17 -
1.9.2 Determinación de la resistencia a la compresión. ....	- 18 -
1.9.3 Determinación de la absorción. ....	- 20 -
1.9.4 Determinación de la densidad. ....	- 21 -
1.9.5 Determinación del aislamiento acústico. ....	- 21 -
1.9.6 Determinación del aislamiento térmico.....	- 22 -
1.9.7 Determinación de la resistencia al fuego.....	- 22 -
1.10 Conclusiones parciales. ....	- 22 -
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>- 24 -</b>
2.1 Síntesis del aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio.....	- 24 -

2.2 Ensayos de caracterización de las materias primas.....	- 25 -
2.2.1 Ensayos de caracterización del aditivo DISTIN 204.....	- 25 -
2.2.2 Caracterización del árido fino.....	- 29 -
2.2.3 Caracterización del árido grueso.....	- 30 -
2.2.4 Caracterización del cemento.....	- 30 -
2.3 Descripción del proceso tecnológico de la planta productora de bloques de hormigón.....	- 31 -
2.4 Dosificación de las mezclas de hormigón para la elaboración de los bloques. ....	- 34 -
2.4.1 Dosificación de la mezcla de hormigón patrón para la elaboración de los bloques... .....	- 34 -
2.4.2 Dosificación de la mezcla de hormigón con aditivo DISTIN 204 para la elaboración de los bloques de hormigón a parámetros constantes.....	- 35 -
2.4.3 Dosificación de la mezcla de hormigón con aditivo DISTIN 204 para la elaboración de los bloques con reducción de cemento.....	- 37 -
2.5 Diseño experimental.....	- 37 -
2.5.1 Determinación de la plasticidad en pastas de cemento.....	- 38 -
2.5.2 Determinación de la resistencia a la compresión en bloques de hormigón.....	- 39 -
2.5.3 Determinación de la absorción en bloques de hormigón.....	- 41 -
2.6 Ensayos experimentales.....	- 43 -
2.6.1 Determinación de la plasticidad por el método del minicono.....	- 43 -
2.6.2 Determinación de la resistencia a la compresión.....	- 44 -
2.6.3 Determinación de la absorción.....	- 44 -
2.7 Conclusiones parciales del Capítulo.....	- 45 -
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>- 46 -</b>
3.1 Análisis de los resultados de la caracterización del aditivo DISTIN 204.....	- 46 -
3.2 Análisis del carácter plastificante del aditivo DISTIN 204 en pastas de cemento.....	- 47 -
3.3 Análisis de la influencia del aditivo DISTIN 204 en los ensayos de resistencia a la compresión en bloques de hormigón.....	- 50 -
3.3.1 Resultados de la resistencia a la compresión a parámetros constantes.....	- 51 -
3.3.2 Resultados de la resistencia a la compresión con reducción de cemento.....	- 53 -

3.4 Análisis de la influencia del aditivo DISTIN 204 en los ensayos de absorción en bloques de hormigón.....	- 54 -
3.4.1 Resultados de la absorción a parámetros constantes.....	- 55 -
3.4.2 Resultados de la absorción con reducción de cemento. ....	- 55 -
3.5 Análisis Económico. ....	- 56 -
3.6 Conclusiones parciales del Capítulo. ....	- 59 -
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>- 61 -</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>- 62 -</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>- 63 -</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>- 66 -</b>

# INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente en nuestro país se ha considerado a los bloques de hormigón como un material de construcción compuesto por tres componentes fundamentales: cemento, árido y agua. Sin embargo, aunque en nuestros días todavía perdura esta idea, son ya muy pocos los profesionales del mundo de la construcción que no consideran a los bloques de hormigón como el material de construcción por excelencia compuesto por los tres componentes antes mencionados más un cuarto componente, indispensable en la mayoría de los casos, el aditivo.

Los aditivos químicos son compuestos orgánicos e inorgánicos que se emplean en las mezclas hidráulicas para la modificación de las propiedades en estado fresco o endurecido. Los aditivos son empleados fundamentalmente para aumentar la laborabilidad de la mezcla de hormigón, acelerar o retardar el fraguado de las mezclas y en ocasiones dependiendo de las características del aditivo permiten mejorar la calidad y resistencia del hormigón. En el caso específico para mezclas secas su introducción tiene como objetivo producir un cambio en las propiedades físico-mecánicas del mismo o en su comportamiento.

Hoy en día, donde los cambios tecnológicos se producen a una velocidad vertiginosa, la preocupación del consumidor hacia la calidad de los productos y servicios que se utilizan es fundamental. Por este motivo, la calidad de los aditivos, el control de los mismos para garantizar su homogeneidad en el tiempo así como sus propiedades y efectos sobre los bloques de hormigón resulta de vital importancia dados los grandes beneficios técnico-económicos que estos aportan.

En nuestro país los aditivos para la construcción se adquieren como productos de importación a elevados precios o se producen en nuestro territorio a partir de materias primas importadas debido a que no existen producciones nacionales de aditivos que puedan satisfacer las demandas actuales. En el Centro de Estudio Anticorrosivo y Tensoactivo (CEAT) de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” desde hace

años se realizan investigaciones para la producción de una serie de aditivos, donde se han logrado sintetizar productos plastificantes, retardadores y aceleradores de fraguado de importación.

**Problema científico:**

Determinación de la influencia del aditivo DISTIN 204 en la elaboración de elementos vibrocompactados de consistencia seca específicamente bloques de hormigón, lo cual requiere una evaluación preliminar de dicho producto para su posible inserción en las producciones nacionales.

Analizando el problema anterior, **la hipótesis del trabajo es:** ¿Con el uso del aditivo DISTIN 204 en mezclas de hormigones vibrocompactados se puede lograr un incremento de las propiedades físico-mecánicas?

A partir de la consideración de la hipótesis anterior, el presente trabajo se orienta hacia el cumplimiento del siguiente **objetivo:**

**Objetivo General:** Determinar la influencia del aditivo DISTIN 204 en la manufactura de bloques de hormigón utilizando los ensayos físico-mecánicos como métodos de evaluación a escala de laboratorio e industrial.

En vista a cumplimentar el objetivo anterior, se han trazado las siguientes **tareas científico-técnicas:**

- ❖ Síntesis del aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio.
- ❖ Ensayos de caracterización físico-químico del aditivo DISTIN 204.
- ❖ Clasificación del aditivo DISTIN 204 de acuerdo a su efecto en pastas de cemento.
- ❖ Efectuar los ensayos físico- mecánicos para la evaluación del aditivo DISTIN 204 en la elaboración de elementos de hormigón seco vibrocompactados (bloques de hormigón).

- ❖ Análisis técnico-económico que representa la introducción del aditivo DISTIN 204 en la producción de bloques de hormigón.

# CAPÍTULO 1

## Fundamentación Teórica y Análisis Crítico de la Bibliografía

Este capítulo tiene como objetivo establecer las bases teóricas fundamentales de la investigación desarrollada, basándose en un análisis crítico de las fuentes bibliográficas actualizadas, consultadas al respecto.

### 1.1 Generalidades.

Los antecedentes más remotos de la utilización de los aditivos químicos se encuentran en mezclas hidráulicas en las construcciones romanas, a las cuales se incorporaba sangre y clara de huevo. Debido a que la sangre incorpora aire y mejora la reología de las partículas, al emplear estas sustancias contribuyeron a aumentar la durabilidad de las construcciones pudiendo considerarse como la primera etapa (artesanal) en el empleo de aditivos químicos. La fabricación del cemento portland alrededor de 1850 y el desarrollo del hormigón armado, llevó a regular el fraguado con la adición de yeso, patentado en 1885 y el sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) como adiciones de tipo inorgánico al cemento. Al inicio del siglo XX se efectuaron sin éxito comercial estudios sobre diferentes aditivos. El primer antecedente de los aditivos químicos modernos se encuentra en el empleo ocasional del sulfonato naftaleno formaldehído, que fue utilizado en 1930 para actuar como dispersante en hormigones 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, además de exceder los requerimientos de las construcciones de hormigón de la época (Santiago, 2011).

Los aditivos superplastificantes constituyen el desarrollo más importante de la industria química en el campo del hormigón y han mantenido un perfeccionamiento constante y acelerado, especialmente en los últimos 30 años. Muchos de los aditivos superplastificantes que aún se encuentran en el mercado con excelentes prestaciones y precios aún competitivos, estos poseen en general al menos alguna de las siguientes

tres formulaciones básicas: Lignosulfonatos Modificados (LM), Naftaleno Formaldehído Sulfonato (NFS), Melamina Formaldehído Sulfonato (MFS) (Howland, 2004).

Desde hace algunos años, se ha enfatizado en la industria de aditivos, con inversión en investigación, desarrollo, procesos tecnológicos y control de la calidad para satisfacer los requerimientos del usuario logrando obtener un material de alta calidad y a su vez aportar grandes beneficios económicos. En la actualidad los aditivos permiten obtener variaciones en las características tradicionales, especialmente en la producción de bloques de hormigón proporcionando un creciente impulso en la construcción y se consideran como un nuevo ingrediente, conjuntamente con el cemento, el agua y demás agregados.

### **1.1.1 Definición de aditivos para bloques de hormigón.**

Los aditivos se definen según plantea Ruiz (2009) como productos capaces de disolverse en agua, que se adicionan durante el mezclado en porcentajes no mayores del 5% de la masa de cemento, con el propósito de producir una modificación en el comportamiento del hormigón en su estado fresco o en condiciones de trabajo.

Otros autores plantean que los aditivos son modificadores y mejoradores de las mezclas de hormigón. Son productos solubles en agua, que se adicionan durante el mezclado, en porcentajes no mayores al 1% de la masa de cemento, con el propósito de producir una modificación en el comportamiento del hormigón en estado fresco o en condiciones de trabajo (Roncero y Magarotto, 2010).

Por otra parte, según la Norma Cubana NC 228-1:2005 se define como una sustancia química que añadida en una proporción menor del 5% del peso del cemento, modifica las propiedades del hormigón en estado fresco y/o endurecido para el mejor comportamiento en las condiciones particulares de servicio. Aunque en la actualidad las mayores adiciones son de un 2% debido a las mayores concentraciones de los mismos.

De forma general se puede plantear que un aditivo es una sustancia química que se adiciona a la mezcla de hormigón en una porción menor del 2% del peso del cemento con el objetivo de modificar sus propiedades en estado fresco o endurecido. En esta

investigación se emplea un porcentaje de adición de aditivo a la mezcla de hormigón menor del 2% de la masa del cemento, debido a que se utiliza la Norma Cubana NC 228-1:2005, antes mencionada.

## 1.2 Clasificación de los aditivos.

Existen muchas clasificaciones internacionales de los aditivos las cuales varían de acuerdo a las normas vigentes en las diferentes regiones del mundo, estos se clasifican según su importancia y aplicación. A continuación se muestran algunas de las clasificaciones, como por ejemplo: la Norma Norteamericana ASTM C-494 una de las más utilizadas en el mundo, la cual agrupa a los aditivos en 7 grupos:

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

La Norma Cubana NC 228-1:2005 presenta la siguiente clasificación:

- ❖ Aditivo plastificantes/reductor de agua.
- ❖ Aditivo superplastificantes/reductores de agua de alto rango.
- ❖ Aditivo acelerador del fraguado.
- ❖ Aditivo acelerador del endurecimiento.
- ❖ Aditivo retardador del fraguado.
- ❖ Aditivo introductor de aire.
- ❖ Aditivo retenedor de agua.
- ❖ Aditivo hidrófugo de masa.
- ❖ Aditivo anticorrosivo.
- ❖ Aditivo multifuncional.

De forma general se considera que los aditivos normalmente se clasifican en categorías de acuerdo con su efecto:

- ❖ Aditivos plastificantes (reductores de agua).
- ❖ Aditivos superplastificantes.
- ❖ Aditivos aceleradores del fraguado.
- ❖ Aditivos retardadores del fraguado.
- ❖ Aditivos incorporadores de aire.
- ❖ Aditivos impermeabilizantes en masa.
- ❖ Aditivos inhibidores de la corrosión.
- ❖ Aditivos expansivos.
- ❖ Aditivos espumantes.

Muchos aditivos proporcionan combinaciones de las propiedades tales como plastificantes/retardadores del fraguado, plastificantes/aceleradores del fraguado, superplastificantes/retardadores del fraguado, entre otros.

### **1.3 Efecto de la incorporación de los aditivos en bloques de hormigón.**

El proceso de formación de la mezcla de hormigón para producir bloques de hormigón se origina inicialmente al ponerse en contacto el agua con el cemento formando primero una capa de gel, la cual se transforma seguidamente en cristales que se entrelazan entre sí y junto con los áridos, va alcanzando una consistencia pétreo. El agua penetra lentamente en las partículas del cemento efectuando su hidratación y por otro lado contribuye a hacer la mezcla laborable mojando los áridos; pero el agua en exceso constituye un elemento perjudicial para la calidad del hormigón, ya que al evaporarse el agua sobrante forma conductos capilares y la estructura queda microfisurada afectando sus propiedades mecánicas y de resistencia a los agentes agresivos ambientales. Lo ideal sería amasar el hormigón con el agua estequiométricamente necesaria, pero no es posible, ya que la mezcla resulta seca y no laborable, por ello se emplea mayor cantidad de agua, y además debe procurarse reducir al mínimo el agua de amasado, o sea la relación agua/cemento (a/c) lo cual puede lograrse mediante la adición de productos químicos marcadamente humectante, o sea, capaces de mojar las partículas de cemento y los áridos con un menor contenido de agua, y mejorar así su reología. Para ello se requiere reducir la tensión superficial del agua, lo cual se logra con agentes

tensoactivos. Otro efecto muy importante de un aditivo reductor de agua es su poder de dispersión o defloculante. Al absorber las partículas de cemento las moléculas que forman la parte activa del tensoactivo, se produce una carga electrostática y se repelen mutuamente mejorando su dispersión y facilidad de humectación, resultando un hormigón más homogéneo. Conservando la misma laborabilidad, se pueden lograr reducciones importantes de agua lo que trae como consecuencia un hormigón más compacto y homogéneo al disminuir el volumen de poros que reporta un incremento sustancial en sus propiedades mecánicas y de resistencia a los agentes agresivos, además, una mejor humectación logra la hidratación a fondo del cemento y un mayor aprovechamiento del mismo (Domínguez, Pers, 1993).

### **1.3.1 Mecanismo de acción de los aditivos.**

La tensión superficial es posible concebirla como un conjunto de fuerzas que “halan” el extremo de una superficie hacia el centro. Una sustancia cuya introducción en un sistema de reacciones provoca una disminución de la tensión superficial se denomina superficialmente activa, la adsorción de tales sustancias es positiva, o sea, en solución acuosa sus moléculas se orientan y se concentran en la interfase aire-disolución; esto ocurre debido a que sus moléculas están constituidas por un radical orgánico apolar e hidrófobo unido a un grupo fuertemente polar e hidrófilo. La parte apolar tiende a dirigirse hacia el aire en la interfase, mientras que la parte polar permanece hacia el interior del líquido.

En el agua las moléculas son polares y manifiestan tendencias a la polimerización (asociaciones moleculares) y de su acción mutua resulta la tensión superficial. En las disoluciones de las sustancias superficialmente activas, las moléculas superficiales de agua se encuentran separadas entre sí, ya que entre ellas se interponen grupos apolares que debilitan las actuaciones entre las mismas disminuyendo su tendencia a la polimerización provocando la reducción de la tensión superficial del agua.

La naturaleza química de la superficie de las partículas finas, su mayor o menor polaridad y capacidad de hidratación, y en particular de las de cemento, en relación con la naturaleza del aditivo, su carácter más o menos hidrófobo del grupo apolar frente a

su afinidad por la superficie de las partículas, determinan el comportamiento del aditivo como humectante, dispersante, defloculador o desairante, o por el contrario como espumante, incorporador de aire, o floculante de las partículas de cemento. Para conseguir la humectación de las partículas de cemento es preciso que la adsorción física o química entre el aditivo y las partículas sea tal que estas proporcione a estas un revestimiento exteriormente polar (hidrófilo), es decir, que se fije una capa monomolecular sobre las partículas sobre la adsorción de su extremo apolar, se induce así una humectación de las partículas, puesto que los grupos polares del aditivo, orientados hacia el agua tienden a situarse en el interior del líquido; ello provoca además una acción dispersante o defloculante, ya que las partículas de cemento poseen la misma polaridad superficial y se repelen entre sí evitando la formación de grumos (Domínguez, Pers, 1993).

#### **1.4 Importancia del uso de aditivos en bloques de hormigón.**

Actualmente los consumidores se enfocan principalmente en adquirir un producto de elevada calidad para lograr los objetivos deseados tras la aplicación del aditivo de la cual se obtiene una producción eficiente y a la vez económicamente factible. La utilización de estos productos es imprescindible en muchos casos debido a que se obtienen mejores propiedades y efectos; por lo que es necesario controlar la calidad de los aditivos en la producción de bloques de hormigón, dependiendo también de cada etapa del proceso de fabricación, fundamentalmente de la cuidadosa selección de los agregados, la correcta determinación de la dosificación, una perfecta elaboración en lo referente al mezclado, moldeo y compactación, y de un adecuado curado.

Las razones más comunes para usar aditivos en la producción de bloques de hormigón según plantea Jiménez (2006) son: acelerar la tasa de desarrollo de resistencia a edades tempranas, incrementar la resistencia, disminuir el costo total de los materiales usados.

Según Corradi, Khurana, Magarotto, (2004), recientes estudios indican que la industria productora de bloques de hormigón actualmente requiere como principal característica de los aditivos químicos: mejorar la rapidez de la hidratación del hormigón con el

objetivo de tener un rápido desarrollo de resistencia y así acelerar el proceso constructivo.

A continuación se exponen las principales ventajas de los aditivos plastificantes aceleradores de la resistencia para bloques de hormigón.

Estos aditivos son diseñados para la producción de productos de hormigón formados en máquinas como los bloques y otros elementos prefabricados. Su acción plastificante mejora la apariencia y amoldamiento, además sus propiedades como dispersante de cemento mejoran la utilización e hidratación del cemento y aumentan las resistencias a la compresión a edades tempranas del producto (Ortega, 2005).

Los aditivos plastificantes tienen una acción eminentemente física, aunque también pueden tener algunas reacciones químicas. Su acción física básica radica en ser selectivamente adsorbidos por las partículas de cemento, lo que tiene un efecto dispersante y con ello logra que las partículas se hidraten mejor. Esto a su vez mejora la laborabilidad de la mezcla y además se incrementa la resistencia mecánica en hormigones. Estos aditivos son capaces de reducir el agua de amasado necesaria en un 10 a un 12% para lograr la misma consistencia de la mezcla de hormigón (Howland, 2004).

En nuestro país las fábricas encargadas de la producción de bloques de hormigón actualmente no usan ningún tipo de aditivo durante el proceso productivo. Autores como Jiménez (2006) plantea que en las empresas productoras de bloques de hormigón del mundo se emplean los aditivos acelerantes y plastificantes con mucha frecuencia ya que estos permiten mejorar los tiempos de su ciclo de producción, incrementar la resistencia en edades tempranas y reducir en muchos casos los costos unitarios de la producción. Por otra parte la acción plastificante facilita el desmoldamiento, lo que permite incrementar la vida útil de los moldes y también posibilita la obtención de un bloque más denso y menos permeable.

### **1.5 Ventajas técnico-económicas que proporciona la aplicación de los bloques de hormigón.**

Las ventajas de los sistemas constructivos donde se emplean bloques de hormigón se pueden resumir en resistencia a esfuerzos mecánicos, durabilidad, economía y velocidad constructiva además de permitir una economía total, en materiales y mano de obra, la fabricación de piezas hasta su colocación, que difícilmente pueda alcanzarse con otros sistemas de construcción.

### **1.6 Ensayos de evaluación de las características de los aditivos.**

Para caracterizar el aditivo se realizan una serie de ensayos físicos - químicos al producto terminado, definiendo así sus características propias; es decir, los ensayos se aplican con el objetivo de aceptar o caracterizar el aditivo, la realización de cada ensayo depende de la aplicación específica para cada aditivo. Según plantea Téllez y Salgado (1989) estos ensayos nos dan la caracterización del aditivo, mediante ellos podemos determinar la eficiencia de sus componentes, de las adiciones y las impurezas, ya que verifican el contenido de los constituyentes principales y sus propiedades fundamentales. Los ensayos para la identificación de aditivos son: contenido de cloruro, contenido de cenizas, contenido de sólidos, contenido de azúcares, contenido de lignosulfonato, densidad, solubilidad, pH, tensión superficial, poder espumante, alcalinidad total, superficie específica, color, olor y análisis infrarrojo. A continuación se explican los ensayos para la caracterización de los aditivos según plantea la bibliografía consultada.

#### **❖ Contenido de sólidos totales.**

Se realiza en una estufa a partir de la evaporación del agua presente en las muestras y por la diferencia de pesadas iniciales y finales de las muestras se obtiene el valor de los sólidos totales según (NC 271-1: 2003). Este ensayo permite obtener la cantidad de ingrediente activo que se encuentra en el aditivo (Téllez y Salgado, 1989).

#### **❖ Determinación de la densidad.**

El ensayo de densidad en aditivos nos permite determinar con bastante exactitud la proporción de sólidos disueltos en el solvente adecuado (Téllez y Salgado, 1989). La determinación de la densidad se realiza en un picnómetro a partir de la diferencia de las

masas del instrumento vacío y el instrumento con el aditivo entre el volumen (NC 271-2: 2003).

❖ **Contenido de cloruros.**

Es de gran importancia determinar el contenido de cloruros debido a que estos originan efectos corrosivos en el hormigón y algunos aditivos lo presentan en su composición; por lo tanto es necesario determinar el porcentaje de cloruros y comprobar que se encuentre dentro los límites establecidos según la norma que se utiliza. Consiste en la realización de una titulación potenciométrica para determinar el porcentaje de iones cloruros (NC 271-3: 2003).

❖ **Determinación del pH.**

Es necesario conocer dentro de que rango se encuentra el pH de los aditivos debido a que estos actúan sobre el cemento, aunque las proporciones a utilizar por lo general son pequeñas los productos de hidratación del mismo son estables en medio alcalinos.

Se define el pH como el logaritmo negativo de la concentración hidrogeniónica. Un potenciómetro con un electrodo indicador de vidrio actúa como una semipila. Al contacto de este electrodo con una disolución que contenga una concentración hidrogeniónica diferente a la del electrodo de vidrio, se genera una diferencia de potencial que en el equipo se transforma en valores de pH (NC 271-4: 2003).

❖ **Contenido de cenizas.**

En los aditivos líquidos el agua se evapora a 100 °C y posteriormente se calcina la muestra a una temperatura de 1000 °C, quedando los residuos sólidos de diferente naturaleza, según sea el aditivo (NC 271-5: 2003).

❖ **Determinación de sustancias insolubles.**

Las sustancias insolubles presentes en un aditivo en estado líquido son retenidas en un filtro tarado y se obtiene el porcentaje de sólidos en suspensión conociendo la masa del aditivo utilizado; por lo que las partículas insolubles de los aditivos pueden estar referidas al agua destilada o al agua saturada de cal (NC 271-6: 2003).

Los aditivos pueden presentar la característica de ser parcialmente insolubles lo cual no es favorable para lograr la homogeneidad del producto esto trae como consecuencia que no se logra una eficiente dispersión del aditivo en las partículas de cemento; por lo tanto es necesario obtener la menor cantidad de partículas insolubles en los aditivos (Téllez, 1985).

#### ❖ **Determinación de la alcalinidad.**

La determinación de la alcalinidad nos brinda una valoración primaria para la aprobación o rechazo del aditivo debido a que uno de los pasos para la obtención de aditivos es neutralizar los ácidos que intervienen en la formulación de los productos.

Los iones hidroxilos, presentes en los aditivos alcalinos reaccionan con los hidrogeniones provenientes de una disolución de ácido fuerte de concentración conocida, de acuerdo con la siguiente reacción:  $(OH)^- + (H_3O)^+ \rightarrow 2H_2O$ .

Se recomienda la realización de una titulación potenciométrica para determinar la concentración de iones hidroxilos, presentes en el aditivo (NC 271-7: 2003).

### **1.7 Aditivo DISTIN 204 plastificante y acelerador de la resistencia.**

Esta investigación está centrada en el aditivo plastificante y acelerador de la resistencia DISTIN 204 que se utiliza en la producción de bloques de hormigón, producidos por el Centro de Estudio Anticorrosivo y Tensoactivo (CEAT) de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. Actualmente en nuestro país no existen producciones de aditivos plastificantes aceleradores de la resistencia; esto conlleva a importar los productos; por lo tanto, el CEAT tiene como objetivo disminuir importaciones obteniendo aditivos de calidad similares a los de importación. A continuación se expone una panorámica de las materias primas utilizadas para su obtención, así como la descripción del proceso productivo del aditivo a escala de planta piloto, y se describe sus principales ventajas tras su aplicación.

#### **1.7.1 Proceso de producción del aditivo DISTIN 204 a escala de planta piloto.**

Las materias primas utilizadas para su elaboración son:

- ❖ Urea [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ]: Cristales o polvo blanco, casi incoloro, sabor salino fresco, soluble en agua, alcohol y benceno, y ligeramente soluble en éter.
- ❖ Sulfito de sodio [ $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ]: Cristales o polvo blanco, sabor sulfuroso salino, soluble en agua, muy poco soluble en alcohol. Puede presentarse anhidro,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  o hidratado,  $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .
- ❖ Formaldehído [ $\text{CH}_2\text{O}$ ]: Sustancia gaseosa que se emplea en solución acuosa al 37%, siendo este un líquido claro, incoloro de olor penetrante, sofocante y venenoso.

Los aditivos plastificantes son conocidos internacionalmente por emplear resinas sintéticas de melamina, las cuales se han evaluado en investigaciones anteriores dando resultados satisfactorios, incluso en nuestro país. Para la obtención de este aditivo se emplea una resina aminoplástica, y teniendo en cuenta que las resinas de urea y melamina poseen propiedades similares, como por ejemplo los grupos terminales son iguales (ver figura 1.1), siendo las resina de urea menos costosa debido a que se obtiene por un procedimiento mucho más simple que la melamina, se emplea una resina de urea de carácter soluble similar a la resina de melamina.

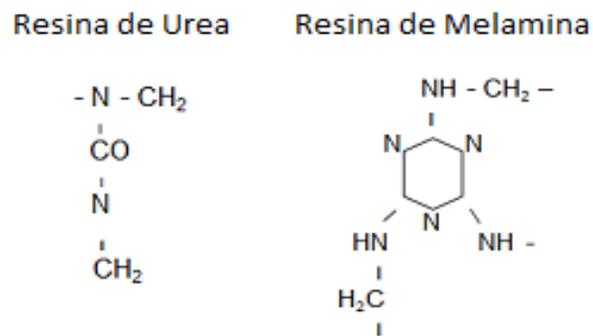


Figura 1.1 Materias primas empleadas en la producción de aditivos.

Una de las principales reacciones de formación del aditivo es la resina de urea al reaccionar con el formaldehído, que forma compuestos del tipo metilol mediante la llamada hidroximetilación:  $\text{R}-\text{NH}_2 + \text{CH}_2\text{O} \leftrightarrow \text{R}-\text{NH}-\text{CH}_2\text{O}$  (monometilolurea) (Domínguez, Pers, 1993).

A continuación se describe el proceso para la obtención del aditivo DISTIN 204 a escala de planta piloto el cual se divide en las siguientes etapas: preparación de las materias primas, condensación y envasado. El producto se prepara en un reactor de acero aleado de 0,8 m<sup>3</sup> de capacidad con sistema de calentamiento con vapor y enfriamiento por agua, dotado de un agitador con motor. Después de la preparación de las materias primas se carga el reactor con agua de proceso, posteriormente se conecta la agitación y se le incorpora la urea. Una vez disuelta toda la urea se le añade el sulfito de sodio y cuando éste se halla disuelto completamente se procede a la condensación suministrando el formaldehído al 37 % de concentración. Se conecta la calefacción con vapor para el calentamiento del sistema hasta lograr una temperatura de 100 °C y un tiempo de una hora de agitación mantenida. Finalmente se enfría el contenido del reactor utilizando el sistema de enfriamiento por agua y se desconecta la agitación. El producto líquido es separado y evacuado del reactor hacia los recipientes de envase. En el Anexo 11 se muestra el diagrama de bloque de la síntesis del aditivo 204 a escala planta piloto.

### **1.7.2 Características del aditivo DISTIN 204 plastificante y acelerador de la resistencia producido por el CEAT.**

El aditivo DISTIN 204 ha sido diseñado como plastificante y acelerador de la resistencia para mezclas de consistencia seca en el CEAT.

El producto DISTIN 204 es un aditivo con base de un condensado aminoplástico-sulfonado y se clasifica como reductor de agua, acelerador de la resistencia y plastificante. Para ser empleado fundamentalmente en bloques de hormigón, este proporciona notables mejoras en la laborabilidad, las resistencias mecánicas, resistencia ante los agentes agresivos así como en la durabilidad de las obras, puede además lograrse una importante economía del cemento de las pastas de hormigón. Con el empleo de este aditivo se logran importantes reducciones agua/cemento, además se puede poner rápidamente en servicio una estructura u obra.

### **1.8 Determinación de la plasticidad por el método del minicono en pastas de cemento.**

Este ensayo permite determinar el efecto del aditivo pues se observa el cambio reológico mediante esta técnica en pastas de cemento, conocido como el método del minicono (*mini-slump*). Es un método que se ha introducido con alta efectividad el cual presenta como ventajas la rapidez de su ejecución y empleo en pequeños volúmenes de muestras, de manera que es posible, con pocos recursos, realizar ensayos en el laboratorio en corto tiempo. Con este ensayo se puede verificar las propiedades plastificantes y reductoras de agua de los aditivos químicos, así como sus propiedades químicas y físico-mecánicas de las pastas, morteros y hormigones, además permite rechazar productos comerciales o experimentales que no cumplan los requisitos en las pastas de cemento, con lo que se evita la continuación innecesaria de los ensayos con mezclas de morteros y hormigones a nivel de laboratorio o en pruebas industriales. (Téllez, *et. al* 1998).

Para determinar el carácter plastificante se mantiene la misma relación agua/cemento variando solamente la dosis de aditivo y para determinar su carácter como reductor de agua se evalúa variando la relación agua/cemento para una dosis dada de aditivo hasta lograr la fluidez del patrón sin aditivo (Domínguez, Pers, 1993). La determinación de la plasticidad está basada en la medición del área de esparcimiento alcanzada (pastilla conformada) como consecuencia de las acciones de la fuerza de gravedad durante su estado fresco, para ello se utiliza un pequeño molde de forma troncocónica que está conformado de un material plástico termoestable y transparente, a través de la cual se puede observar el deslizamiento de la pasta así como tiene dimensiones específicas que está regulada en la Norma Cubana NC 235: 2005 (Téllez, *et. al* 1998).

### **1.9 Determinación de las propiedades físico-mecánicas de los bloques de hormigón.**

Según la Norma Cubana de bloques huecos de hormigón (NC 247: 2010) especifica como efectuar los ensayos de calidad en la producción de bloques de hormigón cumpliendo normativamente con sus propiedades físico-mecánicas a partir de la aplicación de aditivos. Estos ensayos son la determinación de la resistencia a la compresión, la comprobación de las dimensiones, la determinación de la absorción y

también se obtiene la densidad de los bloques de hormigón según la Norma Cubana NC 247: 2005. Para la realización de estos ensayos se deben obtener bloques de hormigón que cumplan con la calidad necesaria, esto depende principalmente de la correcta realización del proceso de producción. Primeramente antes de realizar los ensayos en los bloques, las muestras deben cumplir los siguientes requisitos: no deben presentar grietas visibles en las caras ni en los nervios, presentar sus aristas vivas, no deben presentar desconchados ni faltar las esquinas y tendrán sus caras aparentemente paralelas (NC 247: 2010). Existen otros ensayos que se realizan a los bloques de hormigón conocidos como ensayos que se ejecutan sobre muros de fábrica de bloques que tiene como principales objetivos determinar la resistencia en función de la esbeltez, el aislamiento térmico y la absorción acústica de los muros de bloques, así como la permeabilidad al agua y la resistencia al fuego (Vázquez, 2009).

### 1.9.1 Determinación de las dimensiones.

Los bloques de hormigón deben adaptarse preferentemente en sus dimensiones nominales y de fabricación a los valores establecidos en la tabla 1.1. Los bloques se clasifican por tipos en función de las dimensiones principales y el tipo de bloque está definido por el ancho de la base (NC 247: 2010). Las dimensiones nominales o de fabricación son las dimensiones teóricas del bloque especificadas en el diseño para su fabricación y las dimensiones efectivas son las obtenidas por medición directa sobre el bloque de hormigón (Jenaro, 1968).

Tabla 1.1 Dimensiones principales (mm).

Tipos de bloques	Longitud (l)	Base (b)	Altura (h)
I	495	200	195
	395		
II	495	150	
	395		
III	495	100	
	395		
IV	495	65	
	395		

Las tolerancias de las dimensiones efectivas obtenidas con relación a las de fabricación utilizada en la designación, serán las siguientes:

- Para los bloques cara vista: En ancho, largo y alto igual  $\pm 2$  mm.
- Para los bloques a revestir: En ancho, largo y alto igual a  $\pm 3$  mm.

Existen varios tipos de bloques de hormigón entre los que se encuentran los bloques cara vista y los bloques a revestir según plantea la Norma Cubana NC 247: 2010. Los bloques de cara vista son bloques con al menos una de las caras especialmente preparadas para no precisar revestimiento. Los bloques a revestir son aquellos que tienen una rugosidad suficiente para proporcionar una buena adherencia al revestimiento.

### **1.9.2 Determinación de la resistencia a la compresión.**

La resistencia a la compresión es la principal característica a evaluar en los bloques de hormigón ya que de esta depende la utilidad que se le dará al mismo en una estructura. Estos valores de resistencia estarán en función de la calidad de los áridos a utilizar, los aditivos a emplear y la relación agua/cemento principalmente. Con la utilización de este método se determina el valor de la resistencia media a la compresión de los bloques y su procedimiento se describe a continuación.

Cada bloque que constituye la muestra del ensayo es sometido a una carga de compresión en el sentido longitudinal de los huecos hasta la rotura, determinándose la resistencia a la compresión promedio. Antes de realizar el rompimiento de los bloques se debe realizar la preparación de las muestras a ensayar, como colocar una capa de pasta sobre la superficie de carga y apoyo de los bloques para así nivelarlas constituida por un mortero de cemento gris Portland 350 y yeso o de arena sílice en proporciones específicas y se adiciona agua hasta que adquiriera una consistencia pastosa capaz de asentar el bloque. Se observa que las capas de nivelación de los bloques no se dañen en la manipulación esperándose entre 24 horas y 72 horas para efectuar el ensayo.

Para efectuar el ensayo de la resistencia a la compresión cada bloque a ensayar se coloca suavemente sobre el plato inferior de la máquina de ensayos a compresión sin deslizarlo por este y sobre un área previamente determinada con un centro geométrico

conocido que coincide con el eje de carga de la máquina. Al poner en contacto la cara superior del bloque con el plato superior de la prensa se hará suavemente sin que se produzcan impactos sobre el bloque y que se garantice un buen contacto entre ambas superficies después se comienza a aplicar una carga a una velocidad constante de 5 kN/s para determinar el esfuerzo máximo hasta la rotura (NC 247: 2010).

Para evaluar la resistencia a compresión en cualquier elemento es necesario definir una serie de conceptos que ayudan a la comprensión del mismo:

- Resistencia a compresión: Es la relación entre la carga de rotura a compresión de un bloque y su sección bruta o neta.
- Resistencia a compresión nominal: Es aquel valor de referencia establecido en esta norma como resistencia a compresión referida a la sección bruta y utilizado en la designación del bloque.
- Sección bruta: Es la mayor área susceptible de ser obtenida en un plano paralelo al de asiento; es decir, es la superficie obtenida multiplicando las dos dimensiones efectivas anchura y longitud, medidas en una misma sección horizontal del bloque.
- Sección neta: Es la menor área susceptible de ser obtenida en un plano paralelo al de su asiento, al deducir de la sección bruta, la superficie correspondiente a las cavidades; es decir, es la superficie de hormigón en una sección horizontal y se obtiene de la sección bruta deduciendo la superficie correspondiente a los huecos (Jenaro, 1968 y NC 247: 2010).
- Coeficiente de variación: Es el cociente de la desviación típica de la resistencia a la compresión entre la resistencia a la compresión media (NC 247: 2010).

La Norma Cubana NC 247: 2010 según la resistencia media a la compresión ( $R_c$ ) de los bloques huecos de hormigón al cabo de los 7 y 28 días de elaborados los estipula de acuerdo al tipo de bloque:

Tabla 1.2 Índice mecánico.

<b>Tipos de bloques</b>	<b>Resistencia media a la compresión mínima a los 7 días (MPa)</b>	<b>Resistencia media a la compresión mínima a los 28 días (MPa)</b>
I	5,6	7,0
II	4,0	5,0

III	2,0	2,5
IV	2,0	2,5

Las cualidades de resistencia mecánica de los bloques de hormigón dependen en gran parte del curado del hormigón. Teniendo en cuenta la gran superficie de evaporación que presentan los bloques y la masa de hormigón de que está formado debe evitarse un secado demasiado rápido.

### 1.9.3 Determinación de la absorción.

Según plantea la Norma Cubana NC 247: 2010 este método se establece para determinar la capacidad que presentan los bloques para absorber una determinada cantidad de agua. Su procedimiento general consiste en que los bloques o una sección de estos se sumergen en agua para determinar el contenido de esta por diferencia de masa expresada en porciento.

Tabla 1.3 Índice físico.

<b>Tipos de bloques</b>	<b>Absorción máxima (%)</b>
I	9,0
II	10,0
III	-
IV	-

La absorción es la propiedad del hormigón para absorber agua hasta llegar al punto de saturación y está directamente relacionado con la permeabilidad de la unidad de bloque de hormigón o sea el paso del agua a través de sus paredes. Los límites para la absorción varían según el tipo de hormigón con que esté elaborado el bloque de hormigón (ver Tabla 1.3). Es importante tener los valores normados de absorción ya que a máxima absorción de agua de los bloques de hormigón, estos sustraen más agua del mortero de albañilería o estructural, reduciendo o anulando la hidratación del cemento en la superficie que los une, por tanto, se pierde adherencia y se originan fisuras. Por el contrario, los bloques totalmente impermeables evitan intercambio de humedad y la correlación de una superficie de adherencia, dando como resultado uniones de baja resistencia, que se manifiestan como fisuras y que son permeables al agua (Vázquez, 2009).

El procedimiento consiste en colocar los bloques o las porciones de estos (una de cada bloque) en la estufa, separadas entre sí y se secan hasta masa constante. Posteriormente se extraen y se dejan enfriar el tiempo necesario para que puedan manipularse sin uso de protección, realizándose dos o tres pesadas por intervalos de una hora si estas pesadas sucesivas no difieren del 1%, los bloques o las porciones estarán a masa constante; tomándose el valor de la última pesada como masa constante. Una vez concluido este proceso se colocan los bloques o las porciones dentro del estanque lleno de agua de forma que este los cubra totalmente. Se dejan en reposo sumergidas 24 horas posteriormente se extraen y se dejan escurrir sobre parrillas metálicas. El agua superficial se eliminará secándolas con un paño húmedo hasta que pierdan el brillo cuidando de no exponerlas al sol durante este proceso; se cubren y se llevan hasta la balanza y se pesan para así determinar la masa húmeda (NC 247: 2010).

#### **1.9.4 Determinación de la densidad.**

La densidad de los hormigones ligeros que son empleados en la construcción de bloques, está estrechamente vinculada con la de sus materiales constituyentes y la tecnología utilizada en su fabricación, y sus valores están comprendidos entre 1700 kg/m<sup>3</sup> y 2200kg/m<sup>3</sup>, según la Norma Cubana NC 247: 2005. Es necesario lograr las mayores densidades posibles haciendo uso de los materiales, dosificaciones y equipamientos adecuados, ya que de esta dependerá el resto de las propiedades que se evaluarán como la resistencia a la compresión, la absorción, la durabilidad y su capacidad de aislamiento térmico y acústico y las características de su superficie como la textura, el color, etc., garantizando además la posibilidad de ser maniobrables durante su traslado y colocación sin que se rompan o fisuren, haciéndolos más duraderos (Hernández, 2012).

#### **1.9.5 Determinación del aislamiento acústico.**

Debido a las perforaciones verticales de los bloques de hormigón, su área neta transversal varía de un 40% al 50% del área bruta, lo que proporciona cámaras aislantes que pueden ser reformadas en su función al rellenar con materiales como

espuma, fibra de vidrio, etc. La absorción del sonido se acentúa en los bloques de hormigón con textura abierta y disminuye hasta un 3%, cuando han sido recubiertos con acabados lisos que contribuyen a cerrar los poros. Los muros de mampostería arquitectónica de hormigón absorben entre el 18% y el 69% del sonido dependiendo de la textura del hormigón y el acabado de la superficie.

Después de chocar con un muro las ondas de sonido son parcialmente reflejadas, absorbidas y transmitidas en cantidades variables, dependiendo de la clase de superficie y la composición del muro. El estudio de estas características es de suma importancia en el diseño de teatros y auditorios, donde el sonido emitido en un punto, debido a una apropiada reflexión, debe ser audible a una distancia considerable, y al mismo tiempo el recinto debe estar aislado del ruido exterior (Vázquez, 2009).

#### **1.9.6 Determinación del aislamiento térmico.**

Las perforaciones de los bloques funcionan como cámaras aislantes pues el aire es menos conductor térmico que el hormigón. Al igual que en la acústica los huecos pueden ser rellenos con materiales que en general cumplen con dos funciones o se pueden aprovechar las celdas que se conforman en los muros de bloques para permitir la circulación de aire por su interior y aliviar la carga de almacenamiento térmico del muro (Vázquez, 2009).

#### **1.9.7 Determinación de la resistencia al fuego.**

La resistencia de un muro está relacionada con el diseño y dimensiones de las unidades de mampostería, con el tipo de agregados empleados en su fabricación, la relación cemento/agregados, el método de curado del hormigón y su resistencia. Para efectos comparativos, la resistencia al fuego se expresa en función del espesor del material sólido existente en dirección de flujo térmico. La resistencia al fuego corresponde al tiempo, en minutos, de duración de un ensayo de incendio normalizado, después del cual, el elemento de construcción ensayado pierde su capacidad resistente y funcional (Vázquez, 2009).

#### **1.10 Conclusiones parciales del Capítulo.**

El estudio de la bibliografía especializada, ha permitido arribar a las siguientes conclusiones:

1. Los aditivos más empleados en la producción de bloques de hormigón son los plastificantes y aceleradores de la resistencia, ya que aumentan la resistencia a edades tempranas y proporcionan un efectivo desmolde de los bloques, mejorando los tiempos de su ciclo de producción además de obtener ganancias económicas a la empresa productora.
2. En nuestro país no existen producciones nacionales de aditivos plastificantes, aceleradores de la resistencia para bloques, lo cual implica importar dicho producto generando un gran costo para las empresas, que puede ser reducido con la aplicación de los aditivos que se elaboran en el CEAT, es importante señalar que dichos aditivos poseen una calidad similar a los de importación.
3. Con el objetivo de obtener la efectividad del aditivo DISTIN 204 tras su aplicación en la producción de bloques de hormigón se realizan una serie de ensayos para determinar sus propiedades como son: la determinación de la resistencia a la compresión, la capacidad de los bloques para absorber una determinada cantidad de agua, la determinación de las dimensiones, entre otros, así como determinar su carácter plastificante en pastas de cemento empleando el método del minicono.

## CAPÍTULO 2

### **Materiales y Métodos.**

En este capítulo se describen los materiales y métodos utilizados en la presente investigación, con el objetivo de determinar la influencia del aditivo DISTIN 204 en la producción de bloques de hormigón a partir de las propiedades físico-mecánicas.

Se obtiene a escala de laboratorio el aditivo DISTIN 204 plastificante y acelerador de la resistencia, describiendo de forma general el proceso de obtención, así como, los aparatos y utensilios empleados. Se realiza la caracterización de los áridos, el cemento y el aditivo siendo los materiales empleados para la elaboración de los bloques de hormigón. Se describe el proceso tecnológico, los equipos utilizados y las dosificaciones empleadas para la obtención de los bloques de hormigón. Se realizan diseños de experimentos para los diferentes ensayos que se efectúan, se exponen los diferentes ensayos en bloques de hormigón como la determinación de la resistencia a la compresión con parámetros constantes y con reducción de cemento, la capacidad de los bloques para absorber una determinada cantidad de agua así como en pastas de cemento la determinación de la plasticidad a partir del método del minicono describiendo sus procedimientos.

#### **2.1 Síntesis del aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio.**

Se realiza una descripción del proceso de obtención del aditivo DISTIN 204 plastificante y acelerador de la resistencia a escala de laboratorio así como los aparatos y utensilios empleados.

##### **a) Aparatos y utensilios empleados para su obtención a escala de laboratorio:**

- Beaker con una capacidad de 5000ml.
- Balanza técnica de 0,001g de precisión.
- Agitador de vidrio.
- Campana de extracción.
- Termostato de aceite.
- Agitador de paletas.

- Termómetro de bulbo hasta 200°C con una precisión de 0,5°C.
- Probeta de vidrio de capacidad de 1000ml y probeta plástica de capacidad de 100ml.

### **b) Descripción general de la síntesis del aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio.**

Se añade agua a un beaker, se adiciona el sulfito de sodio ( $\text{NaSO}_3$ ) y se agita hasta disolver; posteriormente se añade la urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) agitándolo hasta disolverse. Cuando la mezcla se encuentre disuelta completamente se traslada hacia la campana de extracción para añadir el formaldehído ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) al 37% con agitación (proceso de condensación). Se introduce el beaker con la mezcla en un termostato que contiene aceite y está conectado a un agitador de paletas. Se regula la temperatura del termostato entre (110 a 130) °C hasta que la temperatura de la mezcla alcance (102-104) °C momento en el cual ocurre la reacción mostrando un cambio de coloración durante el cual mediante un procedimiento de laboratorio se refuerzan las propiedades tensoactivas manteniendo un tiempo de agitación continua de una hora aproximadamente. Finalmente se enfría el producto líquido a temperatura ambiente y es enviado a los recipientes de envase. La instalación de laboratorio para la síntesis del aditivo se muestra en el Anexo 1.

## **2.2 Ensayos de caracterización de las materias primas.**

Se realiza una descripción general de los materiales empleados para la elaboración de los bloques los cuales son: el cemento, los áridos y el aditivo.

### **2.2.1 Ensayos de caracterización del aditivo DISTIN 204.**

Se determina las características del aditivo DISTIN 204 de acuerdo a las normas cubanas consultadas (NC 271-1: 2003, NC 271-2: 2003, NC 271-3: 2003, NC 271-4: 2003 y NC 271-6: 2003) para determinar los sólidos totales, la densidad, el pH, el contenido de cloruros y la solubilidad en agua. Los ensayos de caracterización del aditivo se realizaron en los laboratorios del Centro de Estudios Anticorrosivo y Tensoactivos (CEAT) en la Universidad de Matanzas y en el Centro Técnico de Desarrollo de los Materiales de la Construcción (CTDMC) en la provincia de La Habana.

**a) Determinación de sólidos totales.**

Para este ensayo se utiliza la arena sílice procedente del yacimiento de Siguatepeque, Isla de la Juventud, con un contenido de sílice mayor del 98% en peso y una granulometría de (0,5-1,0) mm. Una vez establecida la granulometría se introducen de (20-30) g de arena sílice en una cápsula de Petri, seguidamente esta se coloca en la estufa durante 17 horas a  $105 \pm 2$  °C. Alcanzado el tiempo establecido en la estufa, se extrae y se introduce la cápsula de Petri en una desecadora enfriándolo hasta temperatura ambiente para determinar la masa de la arena sílice una vez extraída toda la humedad, utilizando una balanza analítica con una precisión de 0,001g. Posteriormente se toman 4 g del aditivo con una pipeta de (0-10) cm<sup>3</sup>, esparciéndolo de forma homogénea sobre la superficie de la arena sílice y se determina la masa del conjunto (arena y aditivo). Se coloca la cápsula de Petri con dicha muestra en la estufa a (105-110) °C por un tiempo aproximado de 2 horas, posteriormente, una vez enfriada la muestra se determina la masa del conjunto (arena y residuo), este procedimiento es replicado tres veces para comprobar la veracidad de la medición. La expresión 2.1 que se muestra a continuación es utilizada para determinar el porcentaje de sólidos totales.

$$\% \text{ de sólidos totales} = \frac{A}{M} \cdot 100 \quad \text{ec. [2.1]}$$

Dónde:

A: Masa del residuo seco (masa del frasco con arena y residuo menos la masa del frasco con arena) (g).

M: Masa de la muestra (masa del frasco con arena y aditivo menos la masa del frasco con arena) (g).

**b) Determinación de la densidad.**

Se pesa limpio y seco el picnómetro Gay Lussac de 50 cm<sup>3</sup> para determinar su masa pesándolo en balanza analítica de (0-200) g de capacidad con una precisión de 0,0001g, posteriormente se llena completamente el picnómetro de Gay Lussac con la muestra de aditivo y se coloca la tapa, teniendo especial cuidado de que la muestra suba hasta el extremo superior de ésta. Se deja en reposo el picnómetro con la muestra en el local donde se realizan las pesadas a una temperatura estable de los 25° C,

seguidamente se pesa el picnómetro con la muestra en la balanza analítica. Este procedimiento es replicado tres veces para comprobar la veracidad de la medición. Para obtener la densidad del aditivo se emplea la siguiente expresión:

$$d = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad \text{ec. [2.2]}$$

Dónde:

d: densidad (g/cm<sup>3</sup>).

m<sub>1</sub>: Masa del picnómetro seco (g).

m<sub>2</sub>: Masa del picnómetro con la muestra (g).

V: Volumen de muestra especificada por la capacidad del picnómetro (cm<sup>3</sup>).

### **c) Determinación de pH.**

Se emplea un medidor de pH con electrodo de vidrio y de calomel saturado y se calibra el mismo con una solución buffer de pH 9 para aditivos con pH mayor de 7. Se toman tres muestras de (30 a 40) cm<sup>3</sup> de aditivo en un vaso de precipitado de 50 cm<sup>3</sup>. Se introducen los electrodos del medidor de pH, se agita la solución para homogeneizarla convenientemente y se lee en la escala de pH, después de verificar una lectura estable. Los resultados medidos con la precisión del pH-metro se expresará con una cifra decimal, a 20 ±1°C. Los resultados son la media aritmética de las tres medidas realizadas, si ninguno de los tres valores se diferencia en más de 0,2 unidades de la media; en caso contrario, se repetirá la medición.

### **d) Determinación del contenido de cloruros.**

Se toman 10 g de aditivo pesado en balanza analítica de (0-200) g de capacidad con una precisión de 0,0001g en un vaso de precipitado de 150 ml y se añade 25 ml de agua destilada y 1 ml de ácido nítrico concentrado. Posteriormente se filtra con papel de filtro de porosidad media y se lava el residuo diez veces, con pequeñas porciones de agua destilada caliente, se ajusta el pH de la solución a un valor comprendido entre 2 y 3 con ácido nítrico concentrado empleando un electrodo de calomel saturado con nitrato de potasio como electrolito. Se adiciona con pipeta, 10 ml de NaCl y se introducen los electrodos en la disolución diluida. La muestra y los electrodos deben situarse en la

celda de titulación del medidor de pH y se agita permanentemente con un agitador magnético. Se titula lentamente con la disolución de  $\text{AgNO}_3$ , anotando después de cada adición el volumen añadido y los potenciales alcanzados (aumentos significativos del potencial), cuando la titulación está cerca del punto de equivalencia, se adiciona el  $\text{AgNO}_3$  en proporciones de 0,1 ml. Se continúa la titulación hasta un exceso de 1 a 2 ml de  $\text{AgNO}_3$ , después de producirse el salto de potencial que indica el punto final de la titulación. Seguidamente se adiciona 10 ml de disolución de  $\text{NaCl}$  en la celda de titulación y se continúa titulando el mismo procedimiento anterior. El porcentaje de iones cloruros presentes en la muestra de aditivo se determina utilizando la siguiente expresión:

$$\%Cl = \frac{3,546(V_1 - V_2)}{W(V_2 - V_1)} \quad \text{ec. [2.3]}$$

Dónde:

$V_1$ : Volumen de  $\text{AgNO}_3$  gastados en la valoración de la primera porción de  $\text{NaCl}$  (ml).

$V_2$ : Volumen de  $\text{AgNO}_3$  gastados en la valoración de la segunda adición de  $\text{NaCl}$  (ml).

3,546: Peso equivalente del ión cloruro dividido por 10.

W: Masa de la muestra seca (g)

**Nota:** La masa de la muestra seca para los aditivos líquidos se determina mediante la siguiente expresión:

$$W = \frac{(P.M.)(\%ST)}{100} \quad \text{ec. [2.4]}$$

Dónde:

P.M.: Masa de la muestra líquida utilizada en la titulación (g).

% ST: Porcentaje de sólidos totales.

Para la determinación de  $V_1$  y  $V_2$  se utiliza la curva de titulación (Potencial contra volumen de  $\text{AgNO}_3$ ), el método de la segunda derivada, o el método de Hal y Weilen que se describe a continuación:

$$V_1 = V_0 + \frac{\Delta V \cdot \Delta_2 E_1}{\Delta_2 E_1 + \Delta_2 E_2} \quad \text{ec. [2.5]}$$

Dónde:

$V_0$ : Volumen de  $\text{AgNO}_3$  gastado antes de producirse el salto de potencial, en la titulación de la primera porción de  $\text{NaCl}$  (ml).

$\Delta V$ : Incremento de volumen de  $\text{AgNO}_3$  añadido cerca del punto de equivalencia, siendo por este caso  $0,1 \text{ cm}^3$ .

$\Delta_2 E_1$ : Valor de la segunda diferencia entre el mayor potencial observado en la valoración y el valor que le precede (mV).

$\Delta_2 E_2$ : Valor de la segunda diferencia entre el mayor potencial observado en la valoración y el valor posterior de este (mV).

### e) Determinación de sustancias insolubles.

Se pesan 10 g de aditivo en una balanza analítica de (0-200) g de capacidad con una precisión de  $0,0001\text{g}$  y se traspasa a un vaso de precipitado de  $400 \text{ cm}^3$ . A la muestra se le añaden 200 ml de agua destilada a  $20^\circ\text{C}$  y se agita enérgicamente durante 10 min y seguidamente se deja reposar 30 min. Posteriormente se filtra la disolución utilizando un crisol filtrante tarado, se lava tres veces con agua destilada y se seca el crisol a  $100^\circ\text{C}$  durante 60 min, y posteriormente se enfría. Para determinar las sustancias insolubles en agua de cal se sigue el mismo procedimiento descrito anteriormente pero se sustituye los 200 ml de agua destilada por agua saturada de cal ( $1,65 \text{ g}$  de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en  $100\text{g}$  de agua). El por ciento en masa de las sustancias insolubles en agua destilada o en agua saturada de cal se determina según la expresión:

$$\% \text{ sust. insolubles} = \frac{Pr}{Pi} \cdot 100 \quad \text{ec. [2.6]}$$

Dónde:

Pi: Masa del aditivo (g).

Pr: Masa del residuo (g).

### 2.2.2 Caracterización del árido fino.

Se emplearon dos áridos finos de tipo artificial para la elaboración de los bloques de hormigón: la arena proveniente de la cantera "Anafe" y el polvo de piedra procedente de la cantera "La Molina" ambos de la provincia de Artemisa. Estos áridos se

caracterizaron en el Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción empleando el siguiente soporte normativo:

- NC 178: 2002. Áridos. Análisis Granulométrico.
- NC 184: 2005. Arena. Determinación de la humedad superficial. Método de ensayo.
- NC 186:2002. Arena. Peso Específico y Absorción de Agua. Método de ensayo.
- NC 251:2005. Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos.

En el Anexo 2 se muestra la caracterización de los áridos finos, el cual demuestra que la arena está sobredimensionada (en la granulometría), según las especificaciones de la Norma Cubana NC 251: 2005, debido a que incumple con cinco de los siete tamices, pasando un menor porcentaje del material comparado con lo especificado, lo que quiere decir que el tamaño de los granos es mayor que lo establecido por la norma, pero se decide continuar la investigación debido a que el objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento del aditivo DISNTIN 204. En el caso del polvo de piedra si cumple con la granulometría especificada según la Norma Cubana NC 251: 2005.

### **2.2.3 Caracterización del árido grueso.**

El árido grueso utilizado para la elaboración de los bloques de hormigón es el granito procedente de la cantera “La Molina” de la provincia de Artemisa. Para su caracterización el Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción se encargó de realizar los ensayos físicos según las especificaciones de las siguientes normas:

- NC 178: 2002. Áridos. Análisis Granulométrico.
- NC 184: 2005. Arena. Determinación de la humedad superficial. Método de ensayo.
- NC 187: 2002. Árido grueso. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.
- NC 251: 2005 Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos.

Se observa en el Anexo 3 la caracterización del árido grueso el cual muestra como resultado que está sobredimensionado (en la granulometría), según las especificaciones de la Norma Cubana NC 251: 2005, debido a que incumple con dos de los siete tamices según la norma.

### **2.2.4 Caracterización del cemento.**

Para la fabricación de los bloques de hormigón se utilizó el cemento Portland P-350 procedente de la fábrica “René Arcay” del Mariel de la provincia de Artemisa, al cual se realiza los ensayos físicos, químicos y físico - mecánicos según la especificación que establece la Normas Cubanas NC 100: 2001 Cemento de alta resistencia inicial. Especificaciones y NC 95: 2001 Cemento Portland. Especificaciones, el cual fue caracterizado por el Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción dando como resultado según se muestra en el Anexo 4 que cumple con todas las especificaciones y pruebas a que fue sometido.

### **2.3 Descripción del proceso tecnológico de la planta productora de bloques de hormigón.**

El procedimiento para la elaboración de los bloques de hormigón es a partir de una mezcla homogénea de cemento, árido fino, árido grueso o árido integral y algún aditivo si fuera necesario, conformados por medio de la vibración y prensados simultáneamente, que después de pasar por el proceso de curado, fraguado y endurecimiento adquiere determinadas características.

En la actualidad en el occidente del país la tecnología que emplean las plantas productoras de bloques de hormigón son las POYATOS que posee la planta productora de Punta Brava “Secundino Guerra” situada en la provincia de Artemisa la cual se rige por la normativa NE 1324.003: 2010. Esta investigación está centrada en los ensayos físico-mecánicos realizados a los bloques de hormigón, los cuales se realizan a escala industrial en la planta productora de Punta Brava “Secundino Guerra”. A continuación se realiza una descripción del proceso tecnológico de la empresa donde se elaboraron las muestras de bloques de hormigón. El diagrama tecnológico del proceso se muestra en los Anexo 7 y 8.

El proceso tecnológico se divide tres etapas fundamentales, estas son:

Etapas 1: Elaboración de la mezcla de hormigón.

Etapas 2: Elaboración del producto.

Etapas 3: Curado y almacenamiento del producto terminado.

Etapas 1: Elaboración de la mezcla de hormigón.

La primera etapa tiene como objetivo mezclar las materias primas en forma homogénea para obtener el hormigón que será utilizado en la fabricación del producto.

Las operaciones tecnológicas de la etapa son:

a) Dosificación de las materias primas: Esta operación tiene como objetivo obtener la dosificación óptima del hormigón.

Equipos instalados y equipamientos utilizados:

- Equipo dosificador de áridos: Se emplea una tolva metálica de dosificación triple de 20m<sup>3</sup> cada una con una banda transportadora.

- Equipo dosificador de agua: Se utiliza un sistema automático por contador de agua, emisor de impulsos y electro válvulas. Cuando los áridos y el cemento, son vertidos en la mezcladora el agua se suministra a ésta automáticamente.

- Dosificador de cemento: La capacidad es de 300 kg con compuerta interior para la descarga, accionada mediante un sistema hidráulico.

- Materiales auxiliares: Sinfín de cemento, y silos metálicos con plataforma inferior de unión entre silos.

b) Mezclado del hormigón: Esta operación tiene como objetivo mezclar el cemento, los áridos y el agua hasta obtener la máxima homogeneidad del hormigón.

Equipos instalados y equipamientos utilizados:

- Mezcladora modelo T-6750: Este equipo es el encargado de mezclar los áridos, el cemento y el agua en un tiempo no menos de 2 minutos hasta lograr la homogeneidad requerida para obtener una adecuada laborabilidad del hormigón.

### Etapas 2: Elaboración del producto.

Esta etapa tiene como objetivo la conformación de los productos premoldeados de hormigón en los moldes metálicos, mediante la aplicación del vibro prensado, lo que permite una máxima conformidad del hormigón en el producto premoldeado.

Operaciones tecnológicas de la etapa:

a) Vibro prensado del elemento: Esta operación tiene como objetivo aplicarle al producto el vibro prensado con el tiempo establecido para poder desmoldar.

Equipos instalados: Prensa con sistema de vibro compresión automática, transportador, ascensor, carro multitorca y carro transportador.

Materiales auxiliares: Banda transportadora, tolva receptora y cepillo barredor.

Procedimiento de trabajo: El hormigón recién elaborado se vierte en los moldes de la máquina para elaborar los elementos por medio del vibro prensado unidireccional. La prensa es accionada hidráulicamente y está compensada de tal forma que su movimiento será paralelo al molde, lográndose una presión uniforme sobre cada uno de los elementos, asegurándose además que todos tengan la misma altura. Los movimientos del molde para el desmoldeo, se hacen hidráulicamente y están compensados de forma tal, que el desplazamiento de estos sea siempre paralelos y suaves, posteriormente los elementos pasan por el cepillo para eliminar cualquier residuo de hormigón en su superficie. La alimentación y extracción de bandejas es simultánea y está accionada hidráulicamente. En el transportador se desplazarán las bandejas por medio de un sinfín de forma suave hasta el ascensor que tiene 10 pisos, y dos bandejas. El transportador multitorca, toma las bandejas las cuales son llevadas hasta la cámara de curado.

### Etapa 3: Curado y almacenamiento del producto terminado.

La tercera etapa tiene como objetivo que el producto sea sometido al curado por microclima húmedo, esto permite que reaccione químicamente a plena capacidad en las primeras horas de producción, aquí permanecerá todo el tiempo que se estime necesario.

Operaciones tecnológicas de la etapa:

a) Curado del producto: Esta operación tiene como objetivo aplicar el curado al producto para que el cemento reaccione químicamente a plena capacidad.

Equipos instalados:

- Celdas de curado: Las celdas de curado constan de 10 niveles, donde se depositan los tableros con el producto fresco. Estas celdas son túneles estrechos y profundos. Los tableros con los productos frescos son introducidos en las celdas de curado por microclima húmedo y cerrado con la lona para lograr que no se escape el vapor producido en el proceso.

b) Almacenamiento del producto terminado: Esta operación tiene como objetivo almacenar el producto con el fin de que alcance su resistencia óptima y poder realizar seguidamente los ensayos físico-mecánicos correspondientes.

Equipos instalados:

- Montacargas: Este equipo es el encargado de realizar el traslado de la carga de los elementos para llevarlos al área de almacenamiento y de la carga para el camión que lo transportará.

## **2.4 Dosificación de las mezclas de hormigón para la elaboración de los bloques.**

La realización de los ensayos físico-mecánicos en los bloques de hormigón se efectúan a escala industrial, por lo tanto, las dosificaciones empleadas en el diseño de las muestras son las que se utilizan actualmente en la planta productora de bloques “Secundino Guerra” de Punta Brava situada en la provincia de Artemisa, por lo que no es necesario diseñarlas; primero se obtuvo la mezcla patrón y después las mezclas que contienen la dosis de aditivo con parámetros constantes de agua y cemento, y con reducción de cemento.

### **2.4.1 Dosificación de la mezcla de hormigón patrón para la elaboración de los bloques.**

La obtención de la mezcla patrón para la muestra de los bloques está dada por la siguiente dosificación realizada por la planta productora de bloques “Secundino Guerra” de Punta Brava. En la tabla 2.1 se observan las cantidades de materiales para una amasada que contiene 1 m<sup>3</sup> de materiales el cual tiene como norma la producción de 42 bloques de tamaño nominal 150x195x495mm.

*Tabla 2.1 Dosificación de materiales para la mezcla patrón.*

Material	Cantidad
Cemento (kg)	82
Arena (kg)	186
Polvo de piedra (kg)	147
Granito (kg)	157
Agua (l)	16
Relación agua/cemento	0,19
Rendimiento	1,95

#### 2.4.2 Dosificación de la mezcla de hormigón con aditivo DISTIN 204 para la elaboración de los bloques de hormigón a parámetros constantes.

Para la dosificación de la mezcla de hormigón con adición del aditivo DISTIN 204 a parámetros constantes de agua y cemento se emplea la misma cantidad de áridos y cemento que la mezcla patrón, además se realizan dos variantes; la primera añadiendo una determinada cantidad de aditivo de 1,2% (sin reducir el agua de amasado) en función del peso de cemento y la segunda variante se le adiciona la misma cantidad de aditivo pero reduciendo el agua de amasado debido a que el aditivo incorpora agua a la mezcla y por lo tanto no se debe añadir al producto más agua de la necesaria debido a que los bloques son materiales de consistencia seca. A continuación se exponen estas variantes.

Para determinar la cantidad de aditivo que se le añade a una amasada para la dosis de aditivo en función del peso del cemento se emplea la ecuación siguiente:

$$Cant.aditivo = \frac{\%aditivo \cdot contenido.cemento}{concentrac.sólidos \cdot densidad} \quad \text{ec. [2.7]}$$

Dónde:

% aditivo: dosis de aditivo empleada (%) = 1,2%

Contenido de cemento: cantidad de cemento empleada en cada amasada (kg) = 82 kg.

Concentración de sólidos: porcentaje de sólidos totales del aditivo (%) = 43,11%

Densidad: consistencia del aditivo (kg/l) = 1,2016 kg/l

Para determinar la cantidad de agua que se le añade a la amasada cuando se adiciona el aditivo a la mezcla de hormigón se emplean las ecuaciones siguientes:

$$Cant.sólidos = cant.aditivo \cdot \% sólidos \quad \text{ec. [2.8]}$$

$$Cant.agua.en.aditivo = cant.aditivo - cant.sólidos \quad \text{ec. [2.9]}$$

$$Cant.agua.a.añadir = cant.agua.de.amasada + cant.agua.en.aditivo \quad \text{ec. [2.10]}$$

Dónde:

% sólidos: porciento de sólidos totales del aditivo empleado (%)

Cantidad de agua en una amasada = 16 litros.

Empleando las ecuaciones anteriores se determina la cantidad de agua que tiene el aditivo el cual incorpora a la mezcla es 1,14 litros, por lo tanto la cantidad de agua utilizada en la mezcla de hormigón es 17,14 litros de agua. A continuación se muestra en la tabla 2.2 la dosificación de materiales para la mezcla de hormigón con aditivo DISTIN 204 a parámetros constantes.

*Tabla 2.2 Dosificación de materiales para la mezcla con aditivo DISTIN 204 a parámetros constantes (sin reducción de agua de amasado).*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
Cemento (kg)	82
Arena (kg)	186
Polvo de piedra (kg)	147
Granito (kg)	157
Agua (l)	17,14
Aditivo (l)	2
Relación agua/cemento	0,21
Rendimiento	1,95

Se emplean las ecuaciones 2.8, 2.9 y en la ecuación 2.10 es la diferencia entre la cantidad de agua de amasado y la cantidad de agua en aditivo, por lo tanto se le añaden 14,86 litros de agua a la mezcla de hormigón y sumando los 1,14 litros de agua que contiene el aditivo la mezcla de hormigón tiene un total de agua de amasado igual a 16 litros. A continuación se muestra en la tabla 2.3 la dosificación de materiales para la mezcla de hormigón con aditivo DISTIN 204 a parámetros constantes.

Tabla 2.3 Dosificación de materiales para la mezcla de aditivo DISTIN 204 a parámetros constantes (con reducción de agua de amasado).

Material	Cantidad
Cemento (kg)	82
Arena (kg)	186
Polvo de piedra (kg)	147
Granito (kg)	157
Agua (l)	16
Aditivo (l)	2
Relación agua/cemento	0,19
Rendimiento	1,95

#### 2.4.3 Dosificación de la mezcla de hormigón con aditivo DISTIN 204 para la elaboración de los bloques con reducción de cemento.

La dosificación para la mezcla de hormigón con adición del aditivo DISTIN 204 se emplea la misma cantidad de áridos, aditivo y agua que la mezcla de la tabla 2.3, para este caso se utiliza una reducción de un 10% de cemento de la mezcla. A continuación se muestra en la tabla 2.4 la dosificación de materiales para la mezcla de hormigón con aditivo DISTIN 204 con reducción de cemento.

Tabla 2.4 Dosificación de materiales para la mezcla de aditivo DISTIN 204 con reducción de cemento.

Material	Cantidad
Cemento (kg)	74
Arena (kg)	186
Polvo de piedra (kg)	147
Granito (kg)	157
Agua (l)	16
Aditivo (l)	2
Relación agua/cemento	0,21
Rendimiento	1,76

#### 2.5 Diseño experimental.

Se realizan diseños experimentales con el objetivo primeramente de determinar la plasticidad en pastas de cemento para obtener la dosis efectiva de aditivo, determinar la

resistencia a la compresión con parámetros constantes y con reducción de cemento, así como determinar la absorción a parámetros constantes y con reducción de cemento.

### 2.5.1 Determinación de la plasticidad en pastas de cemento.

Para determinar la fluidez de la pasta de cemento por el método del minicono se emplea el tipo de diseño de experimento factorial completo, con un factor (variable independiente) el cual se corresponde con la dosis de aditivo y cinco niveles y como variable de respuesta (variable dependiente) se toma el área de la pastilla de cemento. En la tabla 2.5 se muestra los parámetros del diseño experimental donde se realizan cinco series de pastas de cemento para el aditivo DISTIN 204: una sin aditivo para establecer un patrón de referencia y cuatro con aditivo, con los parámetros constantes de agua y cemento. Para las series con aditivo se emplearon las dosis 0,6%, 0,8%, 1,0% y 1,2% de aditivo con relación a la cantidad de cemento que establece la mezcla para conformar las pastas de cemento. También se realizan cinco series de pastas de cemento con la misma dosis anteriormente mencionada, para el aditivo Silicon NS de procedencia brasileña para determinar el comportamiento de ambos aditivos en pastas de cemento. En la tabla 2.6 se muestra la matriz experimental que especifica el orden de la corrida del experimento para el ensayo del minicono.

Tabla 2.5 Parámetros del diseño experimental para el ensayo del minicono.

Factor	Niveles					Respuesta
	Patrón	Bajo	Medio	Alto	Muy alto	
Dosis de aditivo (%)	0,0	0,6	0,8	1,0	1,2	Área de la pastilla de cemento (mm <sup>2</sup> )

Tabla 2.6 Matriz experimental para el ensayo del minicono.

Corridas Exp.	Factor 1
	Dosis Ad. (%)
1	Bajo
2	Muy Alto
3	Alto
4	Bajo
5	Medio

6	Patrón
7	Patrón
8	Alto
9	Medio
10	Muy Alto

### 2.5.2 Determinación de la resistencia a la compresión en bloques de hormigón.

Para la evaluación del aditivo DISTIN 204 en bloques de hormigón es necesario determinar la resistencia a la compresión, donde se analiza el comportamiento del mismo variando las edades a partir de la dosis más efectiva de aditivo con relación a la cantidad de cemento, primeramente se analiza manteniendo los parámetros constantes de agua y cemento, y seguidamente con una reducción de un 10 % de cemento.

#### a) Resistencia a la compresión a parámetros constantes.

Para determinar la resistencia a la compresión en bloques de hormigón a parámetros constantes se emplea un diseño de experimento de tipo factorial completo con dos factores (variables independientes) que son: la dosis de aditivo y las edades a ensayar; donde el primer factor tiene dos niveles (patrón y alto) y el segundo factor tiene tres niveles (bajo, medio, alto), y como variable de respuesta (variable dependiente) se toma la resistencia a la compresión. En la tabla 2.7 se muestra los parámetros del diseño experimental.

Tabla 2.7 Parámetros del diseño experimental para la resistencia a la compresión a parámetros constantes.

Factores	Niveles			Respuesta
	Dosis de aditivo (%)	Patrón 0,0	Alto 1,2	
Tiempo (días)	Bajo 3	Medio 7	Alto 28	Resistencia a la compresión (MPa)

Se realizan dos series de mezclas: una sin aditivo para establecer un patrón de referencia y otra con aditivo, manteniendo los parámetros constantes de agua y cemento. Para la serie con aditivo se emplea la dosis 1,2% de aditivo con relación a la cantidad de cemento que establece la mezcla para conformar los bloques de hormigón.

Las edades a ensayar de las muestras son: 3 días, 7 días y 28 días. Para cada edad se toman 3 muestras por cada serie, dando un total de 6 muestras por serie; por tanto se obtiene un total de 18 puntos experimentales. La matriz experimental para este caso se muestra en la tabla 2.8 que especifica el orden de la corrida del experimento para el ensayo de resistencia a la compresión con parámetros constantes.

*Tabla 2.8 Matriz experimental para la resistencia a la compresión a parámetros constantes.*

Corridas Exp.	Factor 1	Factor 2
	Dosis Ad. (%)	Tiempo (días)
1	Alto	Medio
2	Patrón	Medio
3	Patrón	Alto
4	Alto	Bajo
5	Alto	Bajo
6	Alto	Bajo
7	Alto	Alto
8	Patrón	Alto
9	Patrón	Bajo
10	Alto	Alto
11	Patrón	Medio
12	Patrón	Bajo
13	Alto	Medio
14	Patrón	Alto
15	Alto	Medio
16	Patrón	Medio
17	Alto	Alto
18	Patrón	Bajo

**b) Resistencia a la compresión con reducción de cemento.**

Para determinar la resistencia a la compresión en bloques de hormigón con un 10 % de reducción de cemento se emplea un diseño de experimento de tipo factorial completo con tres niveles y dos factores (variables independientes) que son: la dosis de aditivo con relación a la cantidad de cemento y las edades a ensayar las muestras; donde el primer factor tiene dos niveles (patrón y alto) y el segundo factor tiene tres niveles (bajo,

medio, alto), y como variable de respuesta (variable dependiente) se toma la resistencia a la compresión tal como se muestra en la tabla 2.7. Se realizan dos series de mezclas: una sin aditivo para establecer un patrón de referencia y otra con aditivo, con una reducción de cemento de un 10%. Para la serie con aditivo se emplea la dosis de 1,2% de aditivo con relación a la cantidad de cemento que establece la mezcla para conformar los bloques de hormigón. Las edades a ensayar de las muestras son: 3 días, 7 días y 28 días. Para cada edad se toman 3 muestras por cada serie, dando un total de 6 muestras por serie; por lo tanto se obtiene un total de 18 puntos experimentales. La matriz experimental que especifica el orden de la corrida del experimento para este ensayo se muestra en la tabla 2.8, correspondiéndose tanto para este caso como para determinar la resistencia a la compresión con parámetros constantes.

### 2.5.3 Determinación de la absorción en bloques de hormigón.

Para la evaluación del aditivo DISTIN 204 en bloques de hormigón es necesario determinar también el comportamiento de los mismos teniendo en cuenta la absorción, donde se analiza la capacidad que tienen los bloques de absorber una determinada cantidad de agua, este ensayo se realiza a los 28 días y con la dosis efectiva de aditivo con relación a la cantidad de cemento (1,2%), primeramente se analiza manteniendo los parámetros constantes de agua y cemento, y seguidamente con una reducción de un 10 % de cemento.

#### a) Absorción con parámetros constantes.

Para evaluar la influencia del aditivo DISTIN 204 en el poder absorbente de los bloques de hormigón a parámetros constantes se emplea un diseño de experimento de tipo factorial completo con dos niveles (patrón y alto) y un factor (variable independiente) siendo este la dosis de aditivo, y como variable de respuesta del diseño experimental (variable dependiente) se tiene el poder absorbente de los bloques. En la tabla 2.9 se muestra los parámetros del diseño experimental.

*Tabla 2.9 Parámetros del diseño experimental para la absorción con parámetros constantes.*

Factor	Niveles	Respuesta
--------	---------	-----------

Dosis de aditivo (%)	Patrón	Alto	Absorción (%)
	0,0	1,2	

Se realizan dos series de mezclas: una sin aditivo para establecer un patrón de referencia y otra con aditivo, con los parámetros constantes de agua y cemento. Para la serie con aditivo se emplea la dosis 1,2% de aditivo con relación a la cantidad de cemento que establece la mezcla para conformar los bloques de hormigón. Se toman 3 muestras por cada serie; por tanto se obtiene un total de 6 puntos experimentales. La matriz experimental utilizada para este caso se muestra en la tabla 2.10, que especifica el orden de la corrida del experimento para el ensayo de absorción a parámetros constantes.

*Tabla 2.10 Matriz experimental para la absorción a parámetros constantes.*

Corridas Exp.	Factor 1
	Dosis Ad. (%)
1	Patrón
2	Alto
3	Alto
4	Alto
5	Patrón
6	Patrón

**b) Absorción con reducción de cemento.**

Para evaluar la influencia del aditivo DISTIN 204 en el poder absorbente de los bloques de hormigón con un 10% de reducción de cemento, se emplea un diseño de experimento de tipo factorial completo con dos niveles (patrón y alto) y un factor (variable independiente) siendo este la dosis de aditivo, y como variable de respuesta del diseño experimental (variable dependiente) se tiene el poder absorbente de los bloques tal como se muestra en la tabla 2.9. Se realizan dos series de mezclas: una sin aditivo para establecer un patrón de referencia y otra con aditivo, con un 10% de reducción de cemento. Para la serie con aditivo se emplea la dosis 1,2% de aditivo con relación a la cantidad de cemento que establece la mezcla para conformar los bloques de hormigón. Se toman 3 muestras por cada serie; por tanto se obtiene un total de 6

puntos experimentales. La matriz experimental que especifica el orden de la corrida del experimento para el ensayo de absorción con reducción de cemento se muestra en la tabla 2.10, correspondiéndose tanto para este caso como para determinar la absorción con parámetros constantes.

## **2.6 Ensayos experimentales.**

A continuación se muestran los diferentes ensayos experimentales que se utilizan en esta investigación, explicando de forma general su procedimiento y las ecuaciones empleadas.

### **2.6.1 Determinación de la plasticidad por el método del minicono.**

Para obtener la plasticidad de cada muestra a ensayar se hace referencia a la NC 235:2005 la cual plantea utilizar la siguiente metodología.

Se pesa 100 g de cemento y se vierte en un beaker o recipiente cilíndrico e inmediatamente se añade la cantidad de agua correspondiente para la relación agua/cemento establecida, para la mezcla patrón (sin aditivo) y las restantes con aditivo. Se agita la mezcla con un movimiento a velocidad constante de 250 r.p.m. durante dos minutos. Se detiene el mezclado, se tapa el recipiente con el plástico ranurado para evitar la evaporación de la mezcla y se deja reposar durante un tiempo de tres minutos. Finalmente se pone nuevamente en movimiento la mezcladora durante un tiempo de dos minutos. Se coloca el minicono sobre el disco de polietileno de 150 mm de diámetro, encima del acrílico o cristal, se vierte la pasta con la ayuda de la varilla dentro del minicono, se enrasa con la espátula y se elimina el exceso de pasta en el extremo superior y lateral del minicono. Se mantiene en reposo el minicono durante un tiempo de un minuto y se levanta verticalmente con movimiento rápido dejando caer la pasta hasta que la superficie interior del minicono quede completamente limpia. La pasta formará una pastilla circular que se mantiene en reposo durante un tiempo de 24 horas como mínimo hasta su total endurecimiento. Pasado este tiempo se retira la pastilla del acrílico o cristal, se traza la silueta del perímetro de la pastilla y se calcula el área de la pastilla determinando así como varía el área de la pastilla del minicono ( $\text{mm}^2$ )

en función de la dosis de aditivo (%) con respecto al patrón (sin aditivo). También se determina el índice de plasticidad utilizando la siguiente ecuación:

$$I_p = \frac{A_p - A_o}{A_o} \cdot 100 \quad \text{ec. [2.11]}$$

Dónde:

$I_p$ : índice de plasticidad (%)

$A_p$ : área de la pastilla con aditivo (mm<sup>2</sup>).

$A_o$ : es el área de la pastilla sin aditivo (mm<sup>2</sup>).

### 2.6.2 Determinación de la resistencia a la compresión.

Para obtener la resistencia a la compresión de cada muestra a ensayar se hace referencia a la NC 247:2010 la cual plantea utilizar la siguientes expresiones de cálculo. La resistencia a la compresión de cada bloque ( $R'_{i}$ ) se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$R'_{i} = \frac{F_j}{a_j} \quad \text{ec. [2.12]}$$

Dónde:

$R'_{i}$ : Resistencia a la compresión de cada bloque (MPa).

$F_j$ : Carga de rotura (kN).

$a_j$ : Área de la sección bruta del bloque (mm<sup>2</sup>).

La resistencia a la compresión media ( $R'_{m}$ ) se calcula mediante la expresión siguiente:

$$R'_{m} = \frac{\sum_{i=1}^n R'_{i}}{n} \quad \text{ec. [2.13]}$$

Dónde:

$R'_{m}$ : Resistencia a la compresión media (MPa).

$R'_{i}$ : Resistencia a la compresión de cada bloque (MPa).

$n$ : Tamaño de la muestra de ensayo.

### 2.6.3 Determinación de la absorción.

Para el cálculo de la absorción de cada muestra se hace referencia a la NC 247:2010 la cual plantea utilizar las siguientes expresiones de cálculo.

La absorción de cada muestra ( $A_i$ ) se calcula por la fórmula siguiente:

$$A_i = \frac{M_{hi} - M_{si}}{M_{si}} \cdot 100 \quad \text{ec. [2.14]}$$

Dónde:

$A_i$ : absorción de la muestra (%).

$M_{hi}$ : masa húmeda de cada unidad de la muestra (kg).

$M_{si}$ : masa seca de cada unidad de la muestra (kg).

La absorción promedio ( $A_m$ ) se calcula por la fórmula siguiente:

$$A_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} \quad \text{ec. [2.15]}$$

Dónde:

$A_i$ : absorción de cada unidad de la muestra de ensayo (%).

$A_m$ : absorción promedio (%).

$n$ : número de bloques de la muestra de ensayo.

## 2.7 Conclusiones parciales del Capítulo.

1. Se describe el proceso de obtención del aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio y los aparatos y utensilios empleados así como se realiza su caracterización de acuerdo a los ensayos físico-químicos de las normativas estudiadas.
2. Se caracterizan las materias primas para la obtención de los bloques de hormigón, además se describe el proceso tecnológico, los equipos y las dosificaciones que emplea la planta de bloques de hormigón de Punta Brava "Secundino Guerra" ubicada en la provincia de Artemisa.
3. Se realizan los diseños de experimentos para los diferentes ensayos así como se describen los ensayos físico-mecánicos que se ejecutan a los bloques de hormigón describiendo sus procedimientos.

## CAPÍTULO 3

### Caso de Estudio y Análisis de los Resultados.

#### 3.1 Análisis de los resultados de la caracterización del aditivo DISTIN 204.

De acuerdo a las normativas empleadas para la caracterización del aditivo DISTIN 204 según el procedimiento planteado en el capítulo 2 se muestran los resultados de caracterización en la tabla 3.1.

*Tabla 3.1 Caracterización del aditivo.*

<b>Identificación</b>	DISTIN 204
<b>Tipo de producto</b>	Resina aminoplástica
<b>Composición</b>	A base de un condensado de urea- formaldehído
<b>Color</b>	Castaño oscuro
<b>Olor</b>	Penetrante
<b>Sólidos totales</b>	43,11%±1,0
<b>Densidad a 28°C</b>	1,12016 g/ml
<b>pH a 28°C</b>	9,86±0,1
<b>Solubilidad en agua destilada a 28°C</b>	96,5%
<b>Contenido de cloruros</b>	0,07%
<b>Efecto espumante</b>	Ausencia
<b>Efecto tóxico</b>	No es tóxico, pero no debe inhalarse los vapores del producto concentrado y evitar el contacto prolongado con la piel.
<b>Efecto corrosivo</b>	Evitar el almacenamiento o contacto con materiales de cobre o sus aleaciones y galvanizado.
<b>Estabilidad de almacenamiento</b>	1 año

En función de los resultados obtenidos se plantea que el aditivo DISTIN 204 reúne los requisitos de calidad que se exigen a nivel internacional para su comercialización en comparación con los productos de importación que se emplean para bloques de

hormigón como los aditivos Silicon NS y el Fast Block (ver Anexo 5) caracterizados también por el Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción según Téllez (2013).

### 3.2 Análisis del carácter plastificante del aditivo DISTIN 204 en pastas de cemento.

A continuación se muestran los resultados del área en pastas de cemento y los índices de plasticidad para las diferentes dosis de los aditivos utilizados (DISTIN 204 y Silicon NS) a partir del empleo del método del minicono para determinar su plasticidad (ver Anexo 6).

Tabla 3.2 Área de la pastilla de cemento con respecto a la dosis de aditivo (mm<sup>2</sup>).

Dosis de aditivo (%)	Cemento P-350		Cemento PP-350
	DISTIN 204	Silicon NS	DISTIN 204
	Área (mm <sup>2</sup> )	Área (mm <sup>2</sup> )	Área (mm <sup>2</sup> )
0,0	3163,93	3263,40	2464,77
0,6	4526,91	2908,11	3963,65
0,8	4924,03	4208,35	4685,70
1,0	5777,78	7247,28	4865,75
1,2	6392,86	7496,85	5489,12

El resultado del estudio del carácter plastificante de los aditivos DISTIN 204 y el Silicon NS se realizan para una relación agua/cemento de 0,4, donde en la tabla 3.2 se muestra como varía el área de la pastilla en función de la dosis de aditivo utilizando dos tipos de cemento: el P-350 y el PP-350. Para el tipo de cemento P-350 el aditivo Silicon NS se observa que en la dosis de 0,6% existe una disminución del área de la pastilla de cemento con respecto al patrón lo cual puede haber sido provocado por una mala manipulación del molde del minicono; mientras que en las siguientes dosis de aditivo el área de la pastilla de cemento tiene un comportamiento creciente; en el caso del aditivo DISTIN 204 se muestra un incremento progresivo del efecto plastificante al aumentar el área de la pastilla de cemento con respecto a la dosis de aditivo. Para el tipo de cemento PP-350 se muestra que el área de la pastilla de cemento del aditivo DISTIN 204 aumenta con respecto a la dosis de aditivo, pero en comparación con el tipo de

cemento P-350 el área de la pastilla de cemento del aditivo DISTIN 204 es mayor para cada dosis. Se llega a la conclusión que el aditivo DISTIN 204 se clasifica como un producto moderadamente plastificante porque logra aumentar su plasticidad con respecto al patrón.

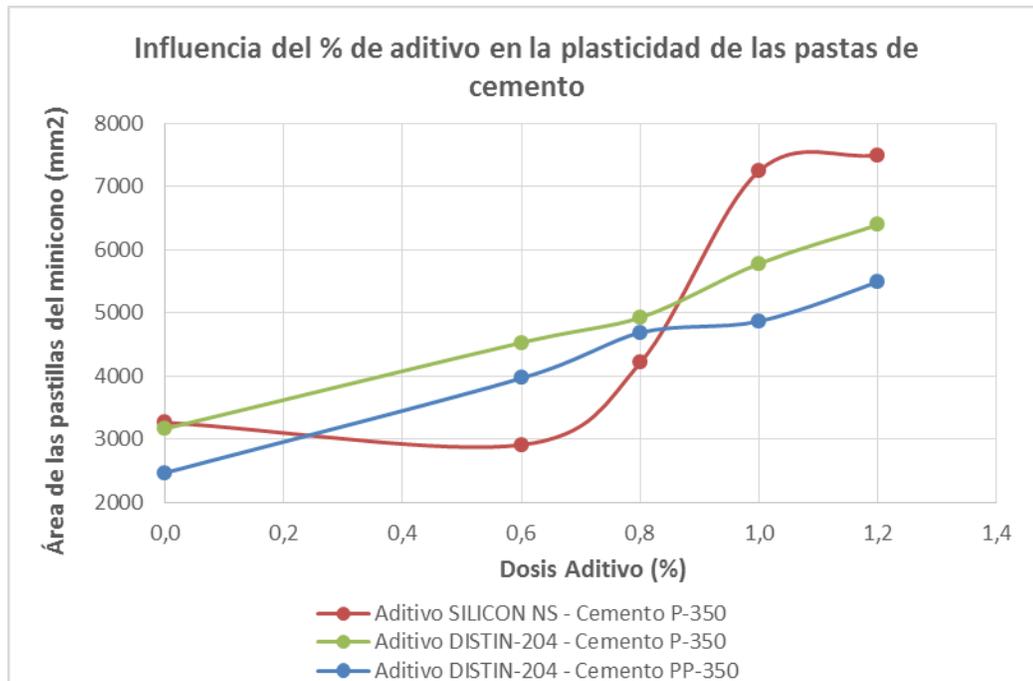


Gráfico 3.1 Influencia del % de aditivo en la plasticidad de las pastas de cemento.

En el gráfico 3.1 se realiza una comparación de ambos aditivos donde se observa que el aditivo Silicon NS alcanza una mayor plasticidad ya que aumenta el área de la pastilla de cemento en las dosis 1% y 1,2% en comparación con el aditivo DISTIN 204; el aditivo DISTIN 204 tiene un comportamiento más uniforme con respecto al aditivo de procedencia brasileña, lo cual se demuestra que tiene un efecto humectante a medida que aumenta la dosis y según los resultados experimentales de ensayo de minicono se puede plantear que la dosis de mayor efectividad para el aditivo DISTIN 204 se corresponde cuando alcanza un mayor nivel de plasticidad, es decir, cuando la dosis del mismo es 1,2%. Además del aditivo DISTIN 204 y el Silicon NS con el tipo de cemento P-350, se grafica el aditivo DISTIN 204 con el cemento PP-350 para determinar si influye el empleo de dos tipos de cemento en el área de la pastilla conformada, demostrándose así que utilizando el tipo de cemento PP-350 se obtiene

una menor área de la pastilla de cemento con respecto al tipo de cemento P-350 por lo tanto para obtener una mayor fluidez de la pasta de cemento es más factible utilizar el tipo de cemento P-350.

A continuación se muestran los resultados del índice de plasticidad para las diferentes dosis con aditivo de DISTIN 204 y Silicon NS para el tipo de cemento P-350.

*Tabla 3.3 Índice de plasticidad del aditivo DISTIN 204 y Silicon NS para el tipo de cemento P-350.*

Dosis de aditivo (%)	Cemento P-350	
	Índice plasticidad (%)	
	DISTIN 204	Silicon NS
0,6	43,08	-10,89
0,8	55,63	28,96
1,0	82,61	122,08
1,2	102,05	129,72

El índice de plasticidad del aditivo DISTIN 204 tiene un comportamiento creciente para todas las dosis ensayadas lo cual demuestra que aumenta su carácter plastificante a medida que aumenta la dosis de aditivo. Para el aditivo Silicon NS se observa que en la dosis 0,6% tiene un resultado negativo lo cual puede haber sido provocado por una mala manipulación del molde del minicono como se explica anteriormente, y en las siguientes dosis tiene un aumento progresivo igual que el aditivo DISTIN 204, demostrando que crece su carácter plastificante a medida que aumenta la dosis de aditivo y en las dosis 1,0% y 1,2 % del aditivo Silicon NS es mayor que el aditivo DISTIN 204.

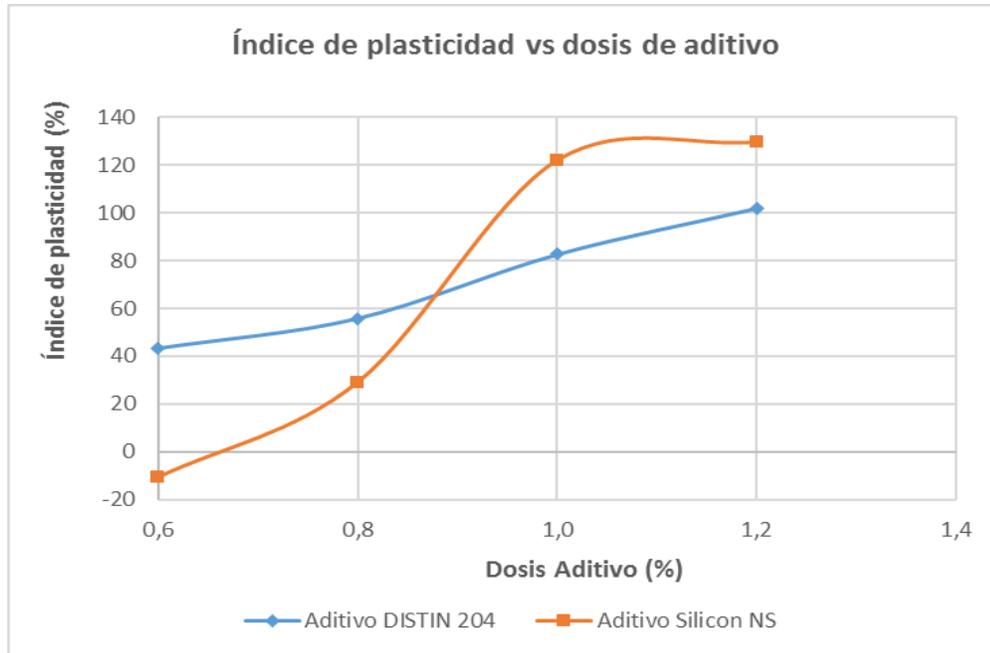


Gráfico 3.2 Índice de plasticidad para las diferentes dosis de los aditivos DISTIN 204 y Silicon NS.

En el gráfico 3.2 se observa que para las dosis menores del 0,8% el aditivo DISTIN 204 alcanza un mayor índice de plasticidad con respecto al aditivo Silicon NS, sin embargo para las dosis mayores del 1% el aditivo Silicon NS incrementa su índice plasticidad con relación al aditivo DISTIN 204, por lo tanto si se desea obtener un índice de plasticidad menor del 60% es más eficiente emplear el aditivo DISTIN 204 que el aditivo de procedencia brasileña y a la vez más económico ya que el Silicon NS es un producto importación, mientras que el DISTIN 204 es de producción nacional siendo menos costoso para el proceso de producción de bloques de hormigón.

### 3.3 Análisis de la influencia del aditivo DISTIN 204 en los ensayos de resistencia a la compresión en bloques de hormigón.

Después de emplear las fórmulas para determinar la resistencia a la compresión mediante las ecuaciones establecidas en el capítulo anterior, se procede a tabular los resultados de la resistencia a la compresión para la dosis óptima de aditivo DISTIN 204 empleada con respecto al patrón para las diferentes edades ensayadas a parámetros constantes de agua y cemento y con reducción de cemento. En los Anexos 9 y 10 se

muestra la preparación superficial realizada a las muestras, así como las características de la prensa empleada e imágenes de la rotura de los bloques.

### 3.3.1 Resultados de la resistencia a la compresión a parámetros constantes.

Se determina la resistencia a la compresión a parámetros constantes de agua y cemento donde se toman tres muestras de cada amasada para realizar los tres diseños de mezcla que se elaboraron variando las relaciones de agua/cemento (patrón  $a/c=0,19$ , con 1,2% de aditivo DISTIN 204  $a/c=0,19$  y con 1,2% de aditivo DISTIN 204  $a/c=0,21$ ) para ensayar a las edades de 3, 7 y 28 días respectivamente. En la dosis de aditivo de 1,2% de relación  $a/c = 0,19$  se disminuye el agua de amasado debido a que el aditivo en su composición contiene agua, por lo tanto esta debe tener una determinada cantidad de agua en relación al peso del cemento debido a que los bloques de hormigón son mezclas secas. También se realiza otra amasada con la misma dosis de aditivo con una relación de  $a/c=0,21$ , pero esta vez se incrementa el agua de amasado debido a que no se reduce el agua de la mezcla de hormigón; se realizan estas dos variantes para determinar cómo influye el agua de amasado en la resistencia a la compresión de las muestras ensayadas.

Los valores de las resistencia media a la compresión se muestran en la tabla 3.4 para las edades de 3, 7 y 28 días. En el gráfico 3.3 se muestra la variación de la resistencia media a la compresión a las edades ensayadas.

Tabla 3.4 Resistencia media a la compresión a los 3, 7 y 28 días (MPa).

Dosis de aditivo (%)	3 días	7 días	28 días
Patrón ( $a/c=0,19$ )	4,13	5,03	7,60
1,2 ( $a/c=0,19$ )	3,93	7,40	7,50
1,2 ( $a/c=0,21$ )	7,30	7,65	7,90

La resistencia media a la compresión a la edad ensayada de 3 días a parámetros constantes indica que un aumento de la relación agua/cemento dado por el agua que incorpora el aditivo, favorece al proceso lográndose un aumento de la resistencia a la compresión sobrepasando el valor que expresa la NC 247: 2010 planteando que para los bloques de tipo II (150x195x495) mm para los 7 días la resistencia media a la compresión como mínimo debe alcanzar 4 MPa e incluso supera el valor de resistencia

media a la compresión para los 28 días de 5 MPa, según plantea la norma anteriormente mencionada, demostrándose así el comportamiento del aditivo DISTIN 204 como acelerador de la resistencia a edades tempranas. Para los 7 días la resistencia media a la compresión se verifica una vez más la propiedad del aditivo como acelerador de la resistencia alcanzando resultados de las muestras aditivadas mayores que lo que plantea la norma estudiada. Los resultados de la resistencia media a la compresión a los 28 días de la muestra con aditivo al 1,2% de relación  $a/c=0,21$  es mayor que la muestra patrón sin embargo la muestra con aditivo al 1,2% de relación  $a/c=0,19$  es menor con respecto a la muestra patrón, pero supera el valor normado; por lo tanto, se cumple el objetivo del aditivo DISTIN 204 que tiene como propiedad incrementar la resistencia inicial a edades tempranas sin aumentar resistencias a edades finales que es característico de este tipo de aditivo debido a su carácter dispersante de las partículas de cemento lográndose una mayor hidratación del mismo.

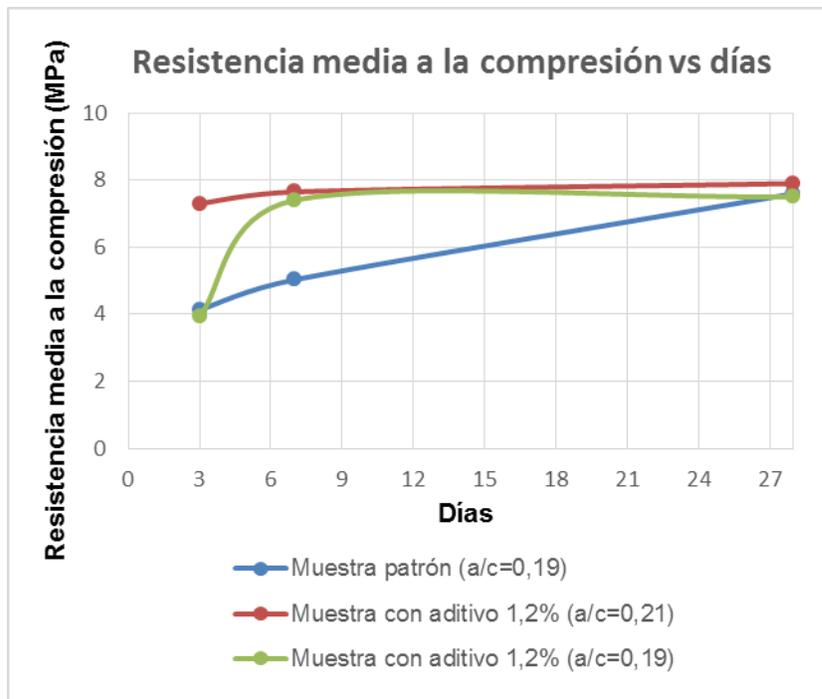


Gráfico 3.3 Variación de la resistencia media a la compresión a las edades ensayadas a parámetros constantes.

Se observa en el gráfico 3.3 que la muestra patrón aumenta su resistencia con el tiempo, mientras que la muestra con aditivo de relación  $a/c=0,19$  alcanza su resistencia

máxima a los 7 días, y a los 28 días su resistencia es similar a la edad anteriormente ensayada. La muestra con aditivo de relación  $a/c=0,21$  alcanza una resistencia inicial y luego se mantiene casi constante la resistencia a las edades ensayadas de 7 y 28 días; aunque estas dos variantes cumplen con la Norma Cubana NC 247: 2010 demuestran que para obtener una mayor resistencia inicial se debe añadir el aditivo con la misma cantidad de agua de amasado ya que se logra una mejor dispersión de las partículas de cemento para la formación de la mezcla de hormigón, por lo tanto se comprueba que el aditivo DISTIN 204 alcanza una resistencia inicial superior a lo establecido por la norma comprobando su propiedad de acelerador de la resistencia a edades tempranas.

### 3.3.2 Resultados de la resistencia a la compresión con reducción de cemento.

Se determina la resistencia a la compresión con reducción de cemento donde se toman tres muestras de cada amasada para realizar los dos diseños de mezcla (patrón  $a/c=0,19$  y con 1,2% de aditivo DISTIN 204  $a/c=0,21$ ) para ensayar a las edades de 3, 7 y 28 días respectivamente.

Los valores de las resistencia media a la compresión se muestran en la tabla 3.5 para las edades de 3,7 y 28 días. En el gráfico 3.4 se muestra la variación de la resistencia media a la compresión a las edades ensayadas.

Tabla 3.5 Resistencia media a la compresión a los 3, 7 y 28 días (MPa).

Dosis de aditivo (%)	3 días	7 días	28 días
Patrón ( $a/c=0,19$ )	4,13	5,03	7,60
1,2 ( $a/c=0,21$ )	4,87	4,90	5,93

La resistencia media a la compresión a la edad ensayada de 3 días con reducción de cemento indica que la muestra con aditivo con un resultado de 4,87 MPa es mayor a la muestra patrón con un valor de 4,13 MPa, lográndose un aumento de la resistencia media a la compresión comprobándose que se puede reducir cemento debido a que cumplen con la normativa anteriormente mencionada, demostrando su función de acelerador de la resistencia. Para los 7 días de ensayo se observa que ocurre un ligero incremento de la resistencia media a la compresión de la muestra aditivada con respecto a la muestra con aditivo ensayada a los 3 días, siendo superior al valor

normalizado de los 7 días. Los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días para la muestra con aditivo cumple con el valor normado y se logra alcanzar las resistencias iniciales a edades tempranas que es el objetivo del aditivo DISTIN 204; por lo tanto se demuestra la posibilidad del uso de este aditivo para la reducción de cemento de un 10%.

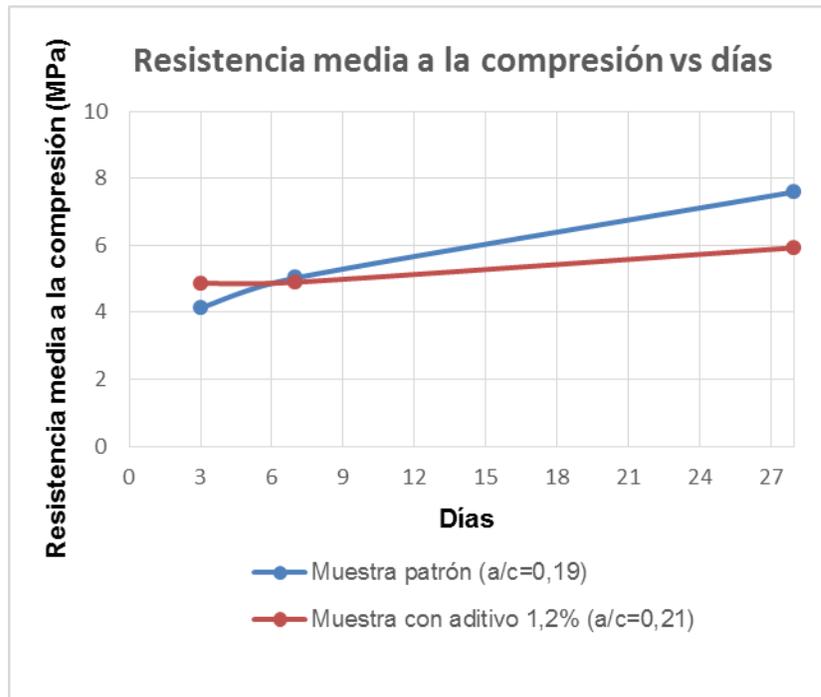


Gráfico 3.4 Variación de la resistencia media a la compresión a las edades ensayadas con reducción de cemento.

Se observa en el gráfico 3.4 que la muestra patrón aumenta su resistencia con el tiempo, mientras que la muestra con aditivo de relación  $a/c=0,21$  alcanza una resistencia inicial y luego se mantiene casi constante la resistencia a las edades ensayadas de 7 y 28 días. Aunque la resistencia media a la compresión de la muestra aditivada a las edades de 7 y 28 días sea menor que la muestra patrón cumple con la Norma Cubana NC 247: 2010, además se cumple el objetivo del aditivo DISTIN 204 como acelerador de la resistencia a edades tempranas.

### 3.4 Análisis de la influencia del aditivo DISTIN 204 en los ensayos de absorción en bloques de hormigón.

Después de emplear las fórmulas para determinar la absorción mediante las ecuaciones expuestas en el capítulo anterior, se procede a tabular los resultados de la absorción para la dosis más efectiva de aditivo DISTIN 204 empleada con respecto al patrón para la edad ensayada a parámetros constantes de agua y cemento y con un 10% de reducción de cemento.

### 3.4.1 Resultados de la absorción a parámetros constantes.

Se determina la absorción a parámetros constantes de agua y cemento donde se toman tres muestras de cada amasada para realizar los tres diseños de mezcla que se elaboraron variando las relaciones de agua/cemento (patrón  $a/c=0,19$ , con 1,2% de aditivo DISTIN 204  $a/c=0,19$  y con 1,2% de aditivo DISTIN 204  $a/c=0,21$ ) para ensayar a la edad de 28 días. Los valores promedio de absorción se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Absorción promedio a los 28 días (%).

Dosis de aditivo (%)	28 días
Patrón ( $a/c=0,19$ )	4,2
1,2 ( $a/c=0,19$ )	3,5
1,2 ( $a/c=0,21$ )	3,3

Se observa que todas las muestras de los bloques de hormigón tienen una absorción menor que lo especificado según la Norma Cubana NC 247: 2010 que plantea para los bloques de tipo II de (150x195x495)mm, donde la absorción máxima que debe alcanzar es un 10%, por lo tanto cumple con la normativa y las muestras con aditivo presentan un menor porcentaje de absorción con respecto a la muestra patrón demostrando que la adición de aditivo logra una defloculación de las partículas de cemento logrando un mejor aprovechamiento del contenido de cemento. Se observa que la muestra con la dosis de aditivo de 1,2% de relación  $a/c=0,21$  obtiene un menor porcentaje de absorción (3,3%), esta es la mezcla de hormigón que no se le reduce el agua; esto indica que las muestras de bloques de hormigón presentan un menor contenido de agua para lograr una mejor dispersión de las partículas de cemento.

### 3.4.2 Resultados de la absorción con reducción de cemento.

Se determina la absorción con un 10% de reducción de cemento donde se toman tres muestras de cada amasada para realizar los dos diseños de mezcla que se elaboraron variando las relaciones de agua/cemento (mezcla patrón  $a/c=0,19$  y mezcla con 1,2% de aditivo DISTIN 204  $a/c=0,21$ ) a la edad ensayada de 28 días. Los valores promedio de absorción se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Absorción promedio a los 28 días (%).

Dosis de aditivo (%)	28 días
Patrón ( $a/c=0,19$ )	4,2
1,2 ( $a/c=0,21$ )	4,1

Se observa que la muestra con la dosis de aditivo de 1,2% de relación  $a/c=0,21$  tiene una absorción menor que lo especificado según la Norma Cubana NC 247: 2010 anteriormente mencionada, sin embargo es superior a las muestras con aditivo a parámetros constantes que se muestran en la tabla 3.6, debido a que la muestra tiene una cantidad de áridos superior al contenido de cemento para la elaboración de los bloques de hormigón en comparación con las muestras a parámetros constantes, por lo tanto la mezcla de hormigón con los áridos, el cemento y el agua forman conductos capilares debido a que con un menor contenido de cemento no se logra una mejor hidratación del cemento; por lo tanto, la mezcla de hormigón queda microfisurada y permite mayor absorción de agua. Se demuestra que todas las muestras con aditivo a parámetros constantes y con reducción de cemento cumplen con la norma mencionada anteriormente.

### 3.5 Análisis Económico.

Una vez analizadas las propiedades aportadas por el aditivo DISTIN 204 a los bloques de hormigón, se realiza una valoración económica del mismo para determinar si es factible económicamente insertar este producto en el plan de producción de los bloques de hormigón. Esta valoración económica se realiza en función del costo de producción de las materias primas empleadas para elaborar los bloques de hormigón en la planta de Punta Brava “Secundino Guerra” ubicada en la provincia de Artemisa, para la variante de reducción de un 10% de cemento con adición del aditivo DISTIN 204.

Es necesario una reducción del cemento en la mezcla de hormigón debido a que es el material más costoso para la elaboración de los bloques de hormigón y con una disminución del mismo se puede destinar para otras necesidades del país. Además las fábricas productoras de cemento se encuentran entre las industrias de mayor consumo energético del país, por lo tanto una reducción de cemento implica una menor demanda y a su vez una disminución del consumo de energía eléctrica trayendo consigo un ahorro del consumo de combustible a la planta.

Para realizar el análisis económico que implica la inserción del aditivo DISTIN 204 se tiene en cuenta el costo unitario de las materias primas para fabricar los bloques de hormigón por el volumen de producción según plantea la siguiente ecuación:

$$CP = cup \cdot N \quad \text{ec. [3.1]}$$

Dónde:

CP: Costo de producción (\$/año).

cup: Costo unitario del producto (\$/m<sup>3</sup>).

N: Volumen de producción (m<sup>3</sup>/año).

En la fábrica productora de bloques se obtienen de cada amasada 42 bloques, realizándose 3080 bloques diarios y trabajan 30 días al mes y 10 meses al año por lo tanto la cantidad de bloques por año es 924000. En el Anexo 13 se muestran los costos unitarios y el volumen/amasada de las materias primas empleadas para el cálculo del costo de producción en la elaboración de la mezcla de hormigón. A continuación se muestran los costos de producción anualmente sin adición de aditivo y con adición de aditivo y un 10% de reducción de cemento en CUP y CUC.

Tabla 3.8 Costo de producción de los bloques de hormigón sin adición de aditivo (CUP).

<b>Materias Primas</b>	<b>Costo unitario producto (\$/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen de producción (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Costo de producción (\$/año)</b>
Cemento	68,26	572,00	39 044,72
Arena	13,14	2 943,60	38 678,90
Granito	14,74	2 635,60	38 848,74
Total			116 572,36

Tabla 3.9 Costo de producción de los bloques de hormigón sin adición de aditivo (CUC).

<b>Materias Primas</b>	<b>Costo unitario producto (\$/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen de producción (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Costo de producción (\$/año)</b>
Cemento	166,95	572,00	95 495,40
Arena	-	-	-
Granito	-	-	-
Total			95 495,40

Tabla 3.10 Costo de producción de los bloques de hormigón con adición de aditivo y un 10% de reducción de cemento (CUP).

<b>Materias Primas</b>	<b>Costo unitario producto (\$/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen de producción (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Costo de producción (\$/año)</b>
Cemento	68,26	506,00	34 539,56
Arena	13,14	2 943,60	38 678,90
Granito	14,74	2 635,60	38 848,74
Aditivo	180,00	44,00	7 920,00
Total			119 987,20

Tabla 3.11 Costo de producción de los bloques de hormigón con adición de aditivo y un 10% de reducción de cemento (CUC).

<b>Materias Primas</b>	<b>Costo unitario producto (\$/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen de producción (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Costo de producción (\$/año)</b>
Cemento	166,95	506,00	84 476,70
Arena	-	-	-
Granito	-	-	-
Aditivo	900,00	44,00	39 600,00
Total			124 076,70

Se observa que el costo de producción anual para la elaboración de los bloques de hormigón con una reducción del 10% de cemento por el empleo del aditivo DISTIN 204 al 1,2% respecto al peso de cemento es superior al costo de producción actual que tiene la fábrica sin adición de aditivo, esto se debe a que el precio del cemento es mucho menor que el costo del aditivo y la dosis de aditivo que se emplea es alta, pero aun así por las propiedades físico - mecánicas que le confiere el aditivo a los bloques de hormigón (resistencia a edades tempranas) justifican su empleo ya que se puede

reducir las pérdidas por roturas durante la manipulación, pérdidas económicas por no conformidad para la comercialización y un incremento en la producción en algunas plantas productoras de bloques que tengan gran demanda de este producto con una zona de almacenamiento pequeña ya que logra disminuir el tiempo de estadía de los bloques de hormigón en el área de almacenamiento debido a que los valores de resistencia media a la compresión de los 3 días de edad sobrepasan el valor mínimo de resistencia requerida a los 7 días según la Norma Cubana NC 247: 2010, siendo este la referencia para su traslado.

### **3.6 Conclusiones parciales del Capítulo.**

1. El aditivo DISTIN 204 cumple con los requerimientos de calidad que se exigen a nivel internacional para su comercialización.
2. A partir del ensayo del minicono según las dosis ensayadas se determina el porcentaje más efectivo del aditivo DISTIN 204 dando como resultado el 1,2% ya que con esta dosis se alcanza la mayor plasticidad de la pastilla de cemento y se clasifica como un aditivo moderadamente plastificante.
3. Se evidencia que las muestras con aditivo DISTIN 204 a las edades ensayadas (3, 7 y 28 días) presentan resultados mayores de resistencia media a la compresión que los valores normados y alcanza a los tres días la resistencia media a la compresión mínima requerida a los siete días, lo que permite plantear que este aditivo cumple con la propiedad de acelerador de la resistencia a edades tempranas.
4. A partir del ensayo para determinar el poder absorbente de los bloques de hormigón se demuestra que ambas muestras (sin aditivo y con aditivo) cumplen con los valores normados según plantea la Norma Cubana NC 247: 2010; sin embargo las muestras con aditivo presentan un menor porcentaje de absorción con respecto a la muestra patrón.
5. Se realiza un análisis económico demostrando que el costo de producción con el empleo del aditivo DISTIN 204 se incrementa en comparación al costo de producción sin aditivo; sin embargo se puede utilizar este aditivo debido a que mejora las propiedades físico-mecánicas de los bloques de hormigón, además logra un aumento

de la producción en aquellas fábricas de bloques de hormigón que tengan gran demanda debido a que logra una reducción del tiempo de almacenamiento de los bloques en el patio ya que el aditivo DISTIN 204 alcanza un incremento de la resistencia a edades tempranas.

## CONCLUSIONES

1. Se realiza la caracterización del aditivo DISTIN 204 demostrándose que cumple con los requerimientos de calidad que se exigen a nivel internacional para su comercialización.
2. Del ensayo realizado con el minicono se comprueba que el área de la pastilla de cemento a medida que aumenta la dosis del aditivo DISTIN 204 se incrementa de manera constante siendo la dosis más efectiva 1,2% y se clasifica como un aditivo moderadamente plastificante.
3. La evaluación preliminar a escala industrial del aditivo DISTIN 204 en la producción de bloques de hormigón demuestra que se comporta como acelerador de la resistencia a edades tempranas (3 días) debido a que se logra alcanzar la resistencia media a compresión mínima requerida para los 7 días que es el tiempo mínimo que requiere un bloque para su traslado y posterior comercialización, así como se puede reducir cemento a la mezcla de hormigón ya que cumplen con los valores normados.
4. La realización del ensayo de absorción demuestra que los bloques de hormigón de las muestras con aditivo presentan un menor porcentaje de absorción con respecto a la mezcla patrón, por lo tanto ambas muestras cumplen con la especificación de la Norma Cubana NC 247: 2010.
5. A partir del análisis económico se demuestra que reduciendo un 10% de cemento al incorporar el aditivo DISTIN 204 en la mezcla de hormigón para la elaboración de los bloques de hormigón se incrementa el costo de producción con respecto a la producción sin aditivo, pero aun así se justifica el empleo del mismo por las propiedades que le confiere a los bloques de hormigón; además este aditivo se puede emplear para disminuir el tiempo de almacenamiento de los bloques en el patio logrando un incremento de la producción en aquellas plantas que tengan gran demanda debido a que el aditivo DISTIN 204 alcanza un incremento de la resistencia a edades tempranas.

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar el aditivo DISTIN 204 en bloques de hormigón para determinar la dosis óptima de aditivo.
2. Realizar estudios con varios porcentos de reducción de cemento en la mezcla de hormigón para bloques empleando el aditivo DISTIN 204 el cual permita determinar la reducción óptima de contenido de cemento sin afectar las resistencias mecánicas.
3. Evaluar el aditivo DISTIN 204 para varias relaciones agua/cemento para comprobar como varía la resistencia a la compresión con el objetivo de obtener la proporción óptima de agua y cemento.
4. Realizar un estudio más riguroso del análisis económico que permita evaluar la inserción del aditivo DISTIN 204 en la producción de bloques de hormigón a nivel nacional.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Contreras, E., 2010. Evaluación de la tecnología en los bloques de hormigón. La Habana. Tesis en opción al título de Ingeniero Civil. Instituto Superior Politécnico ``José Antonio Echeverría``.
2. Corradi, M., Khurana, R. Y., Magarotto, R., 2004. Controlling Performance in Ready Mix Concrete, *Concrete International*, Vol. 26, No. 8, p. 123.
3. Hernández, P., 2012. Evaluación de las propiedades de los bloques de hormigón fabricados con la máquina ponedora Maxim. La Habana. Tesis en opción al título de Ingeniero Civil. Instituto Superior Politécnico ``José Antonio Echeverría``.
4. Howland, J., 2004. Tecnología del Hormigón. Ministerio de la Construcción. Cuba.
5. Jenaro, J. M., 1968. Manuales y Normas del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y el cemento: Reglas de calidad de bloques prefabricados de hormigón. Madrid.
6. Jiménez, A., 2006. "Los aditivos para hormigón en seis pasos". Consultado en enero 20, 2014 disponible en Internet en <http://www.imcyc.com/revistact06/julio06/TECNOLOGIA.pdf>
7. Norma Cubana 95: 2001. Cemento Portland. Especificaciones. Vig. Marzo 2001.
8. Norma Cubana 100: 2001. Cemento Portland de alta resistencia inicial. Especificaciones. Vig. Marzo 2001.
9. Norma Cubana 178: 2002. Áridos. Análisis granulométrico. Vig. Abril 2002.
10. Norma Cubana 184: 2005. Arena. Determinación de la humedad superficial. Método de ensayo. Vig. Abril 2005.
11. Norma Cubana 186: 2002. Arena. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo. Vig. Abril 2002.
12. Norma Cubana 187: 2002. Árido grueso. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo. Vig. Abril 2002.

13. Norma Cubana 228-1: 2005. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 1: aditivos para hormigón. Requisitos. Vig. Junio 2005.
14. Norma Cubana 235: 2005. Pastas de cemento. Determinación de la plasticidad y su variación en el tiempo por el método del minicono. Vig. Abril 2005.
15. Norma Cubana 247: 2005. Bloques huecos de hormigón. Especificaciones. Vig. Mayo 2005.
16. Norma Cubana 247: 2010. Bloques huecos de hormigón. Especificaciones. Vig. Marzo 2010.
17. Norma Cubana 251: 2005. Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos. Vig. Mayo 2005.
18. Norma Cubana 271-1: 2003. Aditivos químicos para pastas, morteros y hormigones. Métodos de ensayo. Parte 1: Determinación de sólidos totales. Vig. Septiembre 2003.
19. Norma Cubana 271-2: 2003. Aditivos químicos para pastas, morteros y hormigones. Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación de la densidad. Vig. Septiembre 2003.
20. Norma Cubana 271-3: 2003. Aditivos químicos para pastas, morteros y hormigones. Métodos de ensayo. Parte 3: Determinación de iones cloruros. Vig. Septiembre 2003.
21. Norma Cubana 271-4: 2003. Aditivos químicos para pastas, morteros y hormigones. Métodos de ensayo. Parte 4: Determinación de pH. Vig. Septiembre 2003.
22. Norma Cubana 271-5: 2003. Aditivos químicos para pastas, morteros y hormigones. Métodos de ensayo. Parte 5: Determinación del contenido de cenizas. Vig. Septiembre 2003.
23. Norma Cubana 271-6: 2003. Aditivos químicos para pastas, morteros y hormigones. Métodos de ensayo. Parte 6: Determinación de sustancias insolubles en agua destilada. Vig. Septiembre 2003.

24. Norma Cubana 271-7: 2003. Aditivos químicos para pastas, morteros y hormigones. Métodos de ensayo. Parte 7: Determinación de la alcalinidad. Vig. Septiembre 2003.
25. Norma Norteamericana ASTM C-494: Specifications for chemicals admixtures for concrete.
26. Ortega, S., 2005. "Aditivos para hormigón". Consultado en enero 27, 2014 disponible en Internet en [http://www.hormigononline.com/pdf/06aditivos/art\\_tec/AditivosMF.pdf](http://www.hormigononline.com/pdf/06aditivos/art_tec/AditivosMF.pdf)
27. Roncero J., Magarotto R., 2010. "Los aditivos para el hormigón". Consultado en enero 15, 2014 disponible en Internet en <http://boletin-iccy.com/files/files/260.pdf>
28. Ruiz, E., 2009. "Aditivos del Hormigón". Consultado en enero 15, 2014 disponible en Internet en [http://www.asocem.org.pe/scmroot/bva/f\\_doc/hormigon/aditivos/MGC19\\_aditivos\\_hormigon.pdf](http://www.asocem.org.pe/scmroot/bva/f_doc/hormigon/aditivos/MGC19_aditivos_hormigon.pdf)
29. Santiago, E., 2011. "Diferentes tipos de aditivos para el hormigón". Consultado en enero 12, 2014 disponible en Internet en <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30367/1/SantiagoPatricio.pdf>
30. Téllez, *et. al*, 1998. Materiales – Construcción. La Habana, Publicación trimestral. Vol 1, p 18-26.
31. Téllez, E., Salgado, N., 1989. Métodos de ensayos para evaluar aditivos. Curso de Postgrado. La Habana.
32. Téllez, E., 2013. Informe de las pruebas con aditivo Fast-Block y Silicon NS. La Habana.
33. Vázquez, E., 2009. Estudio de diagnóstico para proponer dosificaciones para bloques de hormigón. La Habana. Tesis en opción al título de Ingeniero Civil. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría".

## ANEXOS

### Anexo 1 - Instalación de laboratorio para la síntesis del aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio.

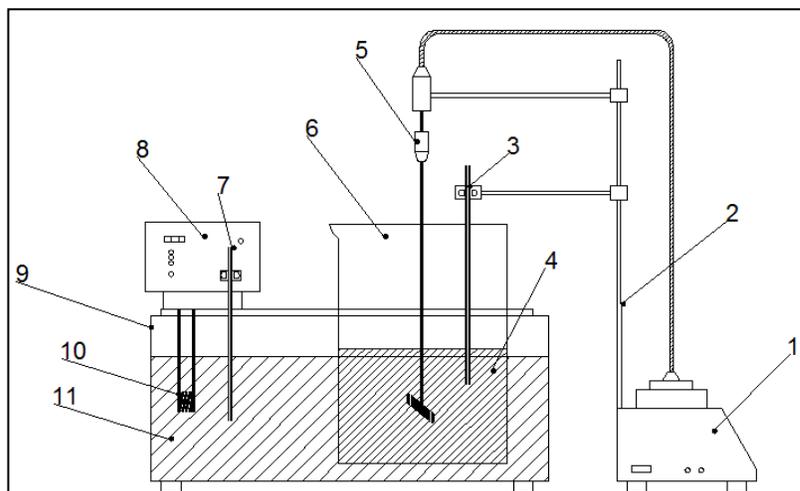


Figura A.1.1 Instalación de laboratorio del producto DISTIN 204.

#### Leyenda:

1. Motor del agitador.
2. Soporte del agitador.
3. Termómetro.
4. Aditivo.
5. Agitador de paletas.
6. Beaker.
7. Termómetro.
8. Termostato.
9. Cuerpo contenedor de aceite.
10. Resistencia eléctrica.
11. Aceite para calentar la mezcla.



Figura A.1.2 Instalación de laboratorio y producto terminado DISTIN 204.

## Anexo 2 - Caracterización del árido fino.

Tabla A.2.1 Análisis granulométrico de los áridos finos.

Tamiz (mm)	% Pasado		% Pasado según NC 251: 2005
	Arena	Polvo de piedra	
9.52	100	100	100
4.76	81	97	90-100
2.38	52	76	70-100
1.19	26	49	45-80
0.595	18	27	25-60
0.297	11	12	10-30
0.149	8	5	2-10

Tabla A.2.2 Propiedades físicas de los áridos finos.

Propiedades	Arena	Polvo de piedra
Peso Específico Corriente ( $\text{g/cm}^3$ )	2,61	2,63
Peso Específico Saturado ( $\text{g/cm}^3$ )	2,64	2,66
Peso Específico Aparente ( $\text{g/cm}^3$ )	2,63	2,71
Absorción (%)	1,00	1,12
Humedad (%)	9,00	2,90

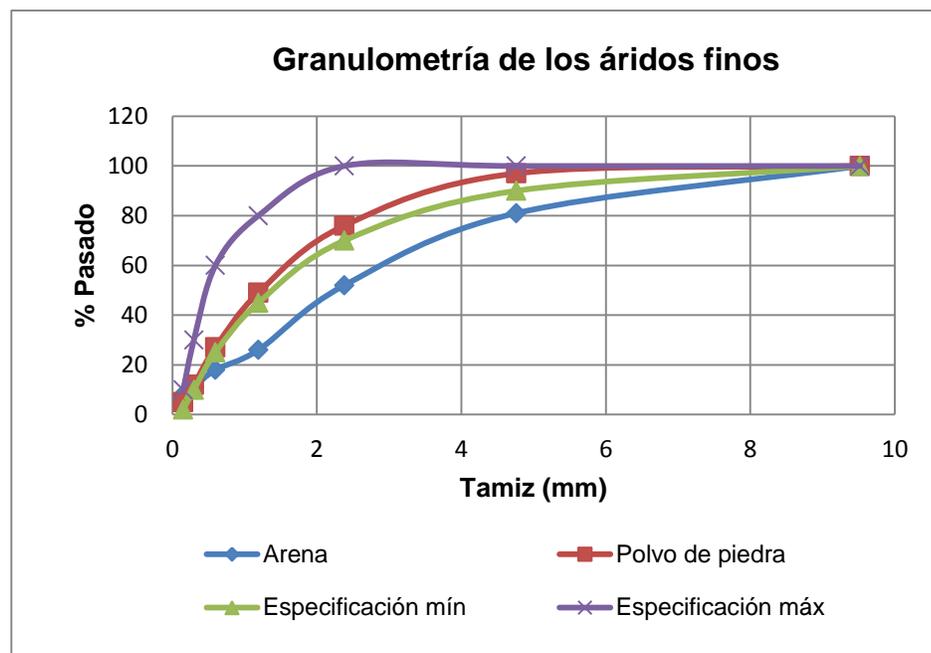


Gráfico A.2.1 Granulometría de los áridos finos.

### Anexo 3 - Caracterización del árido grueso.

Tabla A.3.1 Análisis granulométrico del árido grueso.

Tamiz (mm)	% Pasado	% Pasado según NC 251: 2005
12.7	100	100
9.52	84	85-100
4.76	6	15-35
2.38	1	0-10
1.19	1	0-5

Tabla A.3.2 Propiedades físicas del árido grueso.

Propiedades	Resultado
Peso Específico Corriente ( $\text{g/cm}^3$ )	2,63
Peso Específico Saturado ( $\text{g/cm}^3$ )	2,65
Peso Específico Aparente ( $\text{g/cm}^3$ )	2,70
Absorción (%)	0,94
Humedad (%)	2,40

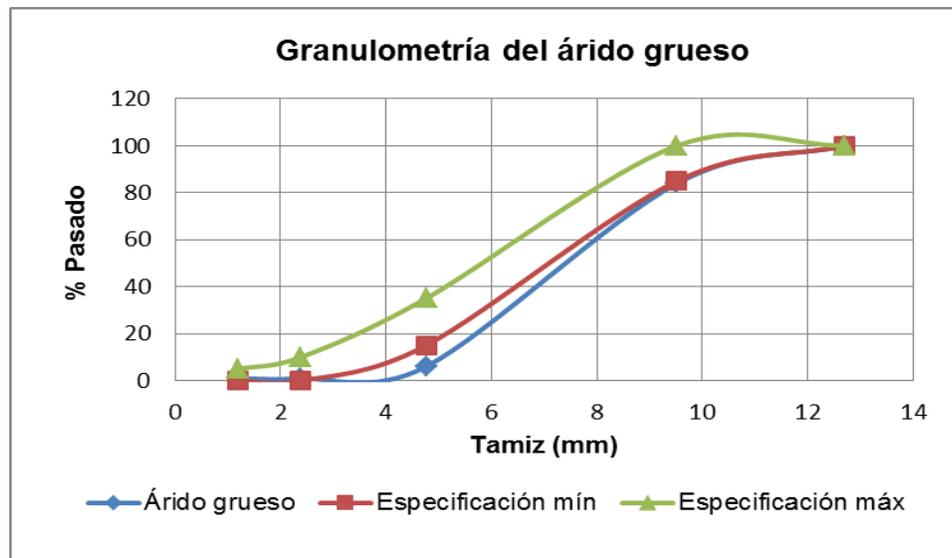


Gráfico A.3.1 Granulometría del árido grueso.

**Anexo 4 - Caracterización del cemento.***Tabla A.4.1 Ensayos químicos del cemento.*

<b>Ensayos</b>	<b>U / M</b>	<b>Valor</b>	<b>Según NC 100: 2001</b>
Dióxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> )	%	20,91	-
Óxido Férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	3,75	-
Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	5,01	-
Óxido de Calcio (CaO)	%	59,9	-
Óxido de Magnesio (MgO)	%	2,07	5,0 (máx)
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	%	2,20	3,5 (máx)
Pérdida por Ignición (PPI)	%	3,02	4,0 (máx)
Residuo Insoluble (RI)	%	1,01	4,0 (máx)
Cal libre	%	0,84	-
Silicato tricálcico (C <sub>3</sub> S)	%	46,75	-
Silicato dicálcico (C <sub>2</sub> S)	%	23,80	-
Aluminato tricálcico (C <sub>3</sub> A)	%	5,91	-
Ferrito Aluminato tricálcico (C <sub>4</sub> AF)	%	11,44	-

*Tabla A.4.2 Ensayos físicos del cemento.*

<b>Ensayos</b>	<b>Valor</b>	<b>Según NC 95: 2001</b>
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	3,15	-
Superficie Específica (cm <sup>2</sup> /g)	3352,3	2800 (mín)
Retenido en el tamiz 4900 (%)	1,80	10,0 (máx)

*Tabla A.4.3 Ensayos físico-mecánicos del cemento.*

<b>Ensayos</b>	<b>3 días</b>	<b>7 días</b>	<b>28 días</b>
Resistencia a flexión (MPa)	3,7	5,4	7,9
Según NC 95: 2001 (MPa)	3,0 (mín)	4,0 (mín)	6,0 (mín)
Resistencia a compresión (MPa)	18,3	25,0	37,9
Según NC 95: 2001 (MPa)	17 (mín)	25 (mín)	35 (mín)

**Anexo 5 - Tabla comparativa de algunas propiedades de los aditivos comerciales Fast Block y Silicon NS empleados para la producción de bloques de hormigón.**

*Tabla A.5.1 Comparación de algunas propiedades de los aditivos comerciales Fast Block y Silicon NS empleados para la producción de bloques de hormigón.*

<b>Características</b>	<b>Fast Block</b>	<b>Silicon NS</b>
Color	Carmelita claro	Carmelita claro
Sólidos totales (%)	9,85	27,70
Densidad(g/ml)	1,03	1,21
pH	11,25	11,25
Contenido de cloruros (%)	0,094	0,094
Solubilidad (%)	99,90	99,90

**Anexo 6 - Ensayo del minicono en pastas de cemento.**



Figura A.6.1 Mezclado y reposo de la pasta de cemento.



Figura A.6.2 Colocación de la pasta de cemento en el minicono.



Figura A.6.3 Pastilla de cemento patrón y con aditivo.



Figura A.6.4 Pastilla de cemento patrón y con varias dosis de aditivo.



**Anexo 7 - Diagrama de flujo del proceso tecnológico de bloques de hormigón en la planta automática de Punta Brava “Secundino Guerra” de la provincia de Artemisa.**



*Figura A.7.1 Diagrama de flujo del proceso tecnológico de bloques de hormigón en la planta automática de Punta Brava “Secundino Guerra” de la provincia de Artemisa.*

**Anexo 8 - Proceso tecnológico de bloques de hormigón en la planta automática de Punta Brava “Secundino Guerra” de la provincia de Artemisa.**



*Figura A.8.1 Tolvas de recepción de los áridos finos y gruesos.*



*Figura A.8.2 Tolvas de recepción del agua y el cemento.*



*Figura A.8.3 Mezcladora de las materias primas para la confección de la mezcla de hormigón.*



*Figura A.8.4 Cinta transportadora de la mezcla de hormigón hacia la vibrocompactadora.*



*Figura A.8.5 Equipo vibrocompactador.*



*Figura A.8.6 Cinta transportadora de los bloques hacia los elevadores.*



*Figura A.8.7 Elevador de bloques enviados hacia el cuarto de curado.*



*Figura A.8.8 Recepción de los bloques en el patio.*

**Anexo 9 - Capping de las muestras de bloques de hormigón para el ensayo de la resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días.**



Figura A.9.1 Capping de las muestras de bloques de hormigón patrón y con aditivo.

**Anexo 10 - Características de la prensa marca CONTROLS empleada para el ensayo de resistencia a la compresión de los bloques de hormigón.**

*Tabla A.10.1 Características de la prensa marca CONTROLS empleada para el ensayo de resistencia a la compresión de los bloques de hormigón.*

<b>Prueba de máquina</b>	Cat 04413
<b>Serie</b>	09002340
<b>Capacidad</b>	2000 kg
<b>Escala</b>	0/ 2000kg
<b>Categoría</b>	1
<b>Piston stroke Carrera del pistón</b>	50 mm
<b>Año de producción</b>	2009
<b>Peso de la máquina</b>	560 kg
<b>Temperatura de operación</b>	5/45 °C
<b>Aceite hidráulico</b>	ISO VG 32/68
<b>Área del pistón</b>	314x159 cm <sup>2</sup>
<b>Energía elástica</b>	2100 J
<b>Producido por</b>	Milano - Italy



*Figura A.10.1 Prensa digital empleada para el ensayo de resistencia a la compresión de los bloques de hormigón.*

Anexo 11 - Diagrama de bloque de la síntesis del aditivo DISTIN 204 a escala de planta piloto.

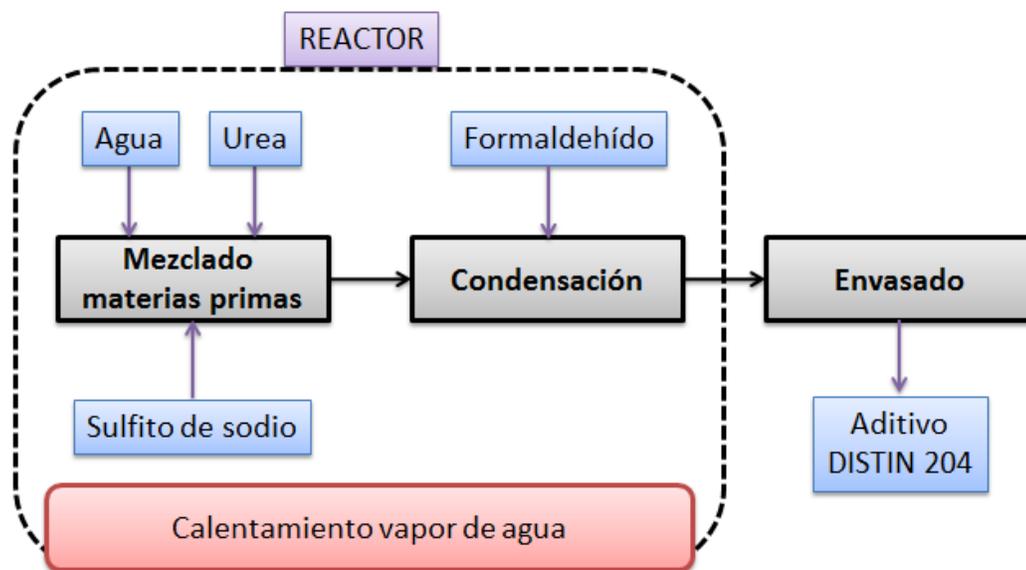


Figura A.11.1 Síntesis del aditivo DISTIN 204 a escala de planta piloto.

**Anexo 12 - Costo unitario y volumen/amasada de las materias primas para la elaboración de la mezcla de hormigón.**

*Tabla A.12.1 Costo unitario de las materias primas.*

<b>Materias Primas</b>	<b>(CUP)</b>	<b>(CUC)</b>
Cemento (\$/ton)	21,67	53,08
Arena (\$/m <sup>3</sup> )	13,14	-
Granito (\$/m <sup>3</sup> )	14,74	-
Aditivo (\$/l)	0,18	0,90

*Tabla A.12.2 Volumen/amasada de las materias primas.*

<b>Materias Primas</b>		<b>Volumen/amasada</b>
Cemento (kg)	Mezcla sin adición de aditivo	82
	Mezcla con adición de aditivo y un 10% de reducción de cemento	74
Arena (m <sup>3</sup> )		0,1338
Granito (m <sup>3</sup> )		0,1198
Aditivo (l)		2