

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



Trabajo de Diploma

Título: Efecto del aditivo DISTIN 204 en las propiedades del hormigón
vibrocompactado.

Autora: Yanaisy Renova Díaz
Tutor(es): Ing. Elena Téllez Girón.
Ing. Diana Rosa Rodríguez Vega.

Matanzas, Cuba
Junio, 2016

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma y autorizo a la Universidad de Matanzas Sede "Camilo Cienfuegos", al Centro de Estudios Anticorrosivos y Tensoactivos y a mis tutores a hacer uso del mismo con los fines que estimen convenientes.

Yanaisy Renova Díaz

PENSAMIENTO

"El futuro está en las grandes innovaciones técnicas, que constantemente van cambiando el aspecto del mundo. El futuro está en el desarrollo de la química, de manera de asegurar las grandes producciones en masa al alcance de todo el mundo."

Ernesto Che Guevara.



DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a personas que me ayudaron incondicionalmente para hacer realidad este sueño. Personas muy especiales en mi vida, que me guían y me avivan a seguir adelante y que a pesar de todas las vicisitudes estaban convencidas que culminaría con éxito mi tesis de diploma.

A mis padres Eva Díaz Martínez y Pedro Renova Sierra por apoyarme siempre y esforzarse tanto por mí,

A mis hermanos Yosdani y Yosley por haberme ayudado cuando más lo necesitaba,

A mi novio Richard por su cariño, paciencia y apoyo incondicional,

A toda mi familia por ser tan especial y preocupada,

A los amigos y compañeros de clase que compartieron conmigo estos años de estudio y sacrificio en especial Lismary y Lupe María.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco desde lo más profundo de mi corazón:

A mi papá y mi mamá por encaminarme hacia el estudio y facilitarme dentro de sus posibilidades las cosas y que no me dijeron no nunca, y a mis hermanos Yosley y Yosdani por el apoyo que siempre me dieron.

A mi novio Richard por no permitir que me rindiera nunca, por ser mi amigo y mi cómplice en todo momento.

A mi tutores Elena Téllez Girón, Diana Rosa Rodríguez Vega y Medardo Domínguez Limia que estimo y aprecio por su dedicación e interés en la realización de este trabajo investigativo.

A mis amigos y compañeros de clase en especial a Lismary, Lupe María, Dainerys y Lucy, gracias por su amistad.

A toda mi familia en especial mis tías Miriam, Beatriz, Olga e Iraida y mi primo Alexito, por haber estado al tanto de todo lo que acontece conmigo.

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

A los trabajadores del Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción de La Habana y en especial a Alexander Sardiñas, Adrián León, Marisol, Carlos Alberto Hernández y Rafael Chapotín por su 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.

En fin muchísimas gracias a todos los que de una forma u otra han contribuido en mi formación profesional.

MUCHAS GRACIAS...

RESUMEN

Este trabajo investigativo tiene como finalidad estudiar el efecto del aditivo DISTIN 204 creado por el laboratorio del Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT) de la Universidad de Matanzas para elementos de consistencia seca vibrocompactadas, específicamente los bloques de hormigón. Se realizaron pruebas a nivel industrial 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 y 15 % respectivamente. Además, se realizan ensayos físico – mecánicos con el objetivo de conocer su comportamiento en cuanto a resistencia a la compresión a diferentes edades (7 y 14 días), se determina su carácter plastificante por el método del minicono y el tiempo de fraguado en pastas de cemento. Se efectúa la valoración económica del empleo del aditivo a nivel industrial, lo cual demuestra la factibilidad del aditivo DISTIN 204 para ser insertado en las producciones nacionales de bloques de hormigón.

SUMMARY

This investigative work has as purpose to study the effect of the additive DISTIN 204 created by the laboratory of the Center of Studies of Anticorrosive and Tensioactives (CEAT) of the University of Matanzas for elements of consistency dry vibro-compression, specifically the concrete blocks. They were carried out tests at industrial level comparing samples of blocks pattern (without additive addition) with regard to samples of blocks with an additive dose for constant parameters of water and cement and with reduction of cement of the 10 and 15% respectively. Also, they are carried out rehearsals physique - mechanics with the objective of knowing their behavior as for resistance to the compression to different ages (7 and 14 days), their plasticizer character is determined by the minicone method and the time of having forged in cement pastas. The economic valuation of the employment is made from the additive to industrial level, that which demonstrates the feasibility of the additive DISTIN 204 to be inserted in the national productions of concrete blocks.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	1
Capítulo 1. Análisis bibliográfico	5
1.1. Generalidades de los aditivos para bloques de hormigón.	5
1.1.1. Antecedentes.	5
1.1.2. Definición de los aditivos.....	8
1.1.3. Clasificación de los aditivos.	9
1.1.4. Mecanismo de acción de los aditivos.....	10
1.1.5. Ensayos de evaluación de las características de los aditivos.	11
1.1.6. Características de aditivos que se emplean en Cuba y el mundo.....	14
1.2. Influencia de los aditivos sobre la consistencia de la mezcla de hormigón.....	17
1.2.1. Importancia y aplicaciones de los aditivos en bloques de hormigón.....	19
1.3. Ventajas técnico – económicas que proporciona la aplicación de los bloques de hormigón.....	21
1.4. Aditivo DISTIN 204 plastificante y acelerador de la resistencia.	22
1.4.1. Síntesis de aditivo según Patente 142/94.....	23
1.4.2. Proceso de producción del aditivo DISTIN 204 a escala de planta piloto.....	23
1.4.3. Características del aditivo DISTIN 204 plastificante y acelerador de la resistencia producido por el CEAT.	25
1.5. Propiedades físico – mecánicas de los bloques de hormigón según normas internacionales.	26
1.5.1. Determinación de las propiedades físico-mecánicas de los bloques de hormigón.....	27
1.6. Ensayos en pastas de cemento.....	32
1.6.1. Determinación de la plasticidad por el método del minicono.	32
1.6.2. Determinación del tiempo de fraguado.	33

1.7.	Conclusiones parciales del Capítulo.....	33
Capítulo 2.	Materiales y Métodos.	34
2.1.	Obtención del aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio.	34
2.2.	Ensayos de caracterización de las materias primas.....	36
2.2.1.	Métodos de ensayos de caracterización para el aditivo DISTIN 204.	36
2.2.2.	Caracterización del árido fino.....	44
2.2.3.	Caracterización del árido grueso.	45
2.2.4.	Caracterización del cemento.....	46
2.3.	Descripción del proceso tecnológico de la planta productora de bloques de hormigón.	46
2.4.	Dosificación de las mezclas de hormigón para la elaboración de los bloques.....	50
2.4.1.	Dosificación de la mezcla de hormigón patrón.....	51
2.4.2.	Dosificación de la mezcla de hormigón con adición de aditivo DISTIN 204.....	51
2.4.3.	Dosificación de la mezcla de hormigón con adición de aditivo DISTIN 204 y reducción de cemento 10%.	53
2.4.4.	Dosificación de la mezcla de hormigón con adición de aditivo DISTIN 204 y reducción de cemento 15%.	54
2.5.	Diseños experimentales en pastas de cemento	54
2.5.1.	Determinación de la plasticidad	55
2.5.2.	Determinación del tiempo de fraguado	55
2.5.3.	Determinación de la resistencia a la compresión en bloques de hormigón.....	56
2.6.	Ensayos experimentales.....	58
2.6.1.	Determinación de la plasticidad por el método del minicono.	58
2.6.2.	Determinación de la resistencia a la compresión.....	59
2.6.3.	Determinación del tiempo de fraguado	61
2.7.	Conclusiones parciales del Capítulo.....	62
Capítulo 3.	Análisis de los Resultados.....	63

3.1.	Análisis de los resultados de la caracterización del aditivo DISTIN 204.....	63
3.2.	Análisis de los ensayos realizados en pastas de cemento.....	64
3.2.1.	Análisis del carácter plastificante del aditivo DISTIN 204	64
3.2.2.	Análisis de la influencia del aditivo DISTIN 204 en el ensayo del tiempo de fraguado	65
3.3.	Análisis de la influencia del aditivo DISTIN 204 en los ensayos de resistencia a la compresión en bloques de hormigón.....	66
3.3.1.	Resultados de la resistencia a la compresión.....	67
3.4.	Análisis Económico.....	69
3.5.	Conclusiones parciales del Capítulo.....	71
	Conclusiones.....	73
	Recomendaciones.....	74
	Bibliografía	75
	Anexos	80

Introducción

En la actualidad los aditivos químicos han pasado a ser un ingrediente más de los hormigones premezclados, prefabricados y vibrocompactados, conjuntamente con el cemento, árido y agua. Es muy difícil que se elabore un hormigón sin que se haga uso de un aditivo y que a la vez no se obtengan grandes beneficios técnicos - económicos.

En el sector de la construcción que es el principal cliente de los resultados de la presente investigación, el término aditivo es empleado para identificar productos que modifican en sentido favorable o confieren propiedades, para mejor comportamiento del hormigón mediante efectos químicos y/o químico-físicos en las condiciones particulares de servicio.

La misión de un aditivo es corregir posibles defectos, mejorar o incrementar las buenas cualidades y fortalecer al hormigón fresco como el endurecido en todos los aspectos. (Téllez, 1985).

Actualmente con una diversidad de aditivos químicos el estado fresco del hormigón puede aumentar o disminuir la velocidad de endurecimiento, aumentar la viscosidad de la mezcla, darle mayor fluidez sin la necesidad de agregarle agua, aumentarle la cohesividad, corregir la falta de finos en la mezcla, incorporar aire para aumentarle la durabilidad e impermeabilidad, disminuir la exudación y segregación, controlar la densidad del hormigón, en estado endurecido ayuda en el incremento de las resistencias iniciales y finales, en los esfuerzos a la flexión, compresión, tracción, al corte, en fin una amplia gama de aplicaciones y de aditivos químicos se comercializan hoy en todo el mundo.

La necesidad de mejorar la calidad de los bloques y agilizar su proceso de producción ha conllevado en muchas industrias del mundo a emplear aditivos en las mezclas de hormigón para bloques.

En la actualidad algunas industrias productoras de bloques en el mundo emplean aditivos aceleradores de la resistencia con el objetivo de optimizar el tiempo y el proceso de producción, que es casi tan importante como la optimización de los materiales y costos. Esto ha generado que varias compañías productoras de materiales de construcción en el mundo realicen aditivos para emplearlos en los elementos prefabricados y en bloques. Ejemplo de ello son los aditivos RHEOMIX-235 y BLOKAST comercializados y empleados en muchos países de América Latina. (Bolaños, 2012).

En nuestro país en particular los aditivos son empleados fundamentalmente para aumentar la laborabilidad de la mezcla de hormigón, acelerar o retardar el fraguado de las mezclas y dependiendo de las características del aditivo permiten mejorar la calidad y resistencia del hormigón.

Estos 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 Sede “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 así como aceleradores de la resistencia de calidad similares a los productos de importación.

Los aditivos de que trata la presente investigación, pertenecen a los condensados de Urea – Formaldehído – Sulfonado (UFS), que pertenecen al mismo grupo de los condensados de Melanina – Formaldehído – Sulfonato (MFS). Estos polímeros de melanina sulfonada constituyen parte de la segunda generación de aditivos superplastificantes para el hormigón y vieron la luz en la década de 1980. Como características principales hay que indicar que sus tiempos de acción también son cortos especialmente cuando se trabaja con relaciones Agua/Cemento bajas y en climas cálidos. (Hernández, 1995).

Problema de la investigación: Necesidad de emplear aditivo DISTIN 204 para mejorar el efecto en las propiedades físico- mecánicas de los hormigones vibrocompactados a edades tempranas y disminuir la cantidad de cemento que se usa en la producción.

Hipótesis: Si se emplea el aditivo DISTIN 204 se podrá mejorar el efecto en las propiedades físico-mecánicas de los hormigones vibrocompactados a edades tempranas logrando un ahorro de cemento.

Objetivo general: Determinar el efecto del aditivo DISTIN 204 en las propiedades físico-mecánicas de los hormigones vibrocompactados a edades tempranas y con una disminución del contenido de cemento.

Objetivos específicos:

1. Obtener y caracterizar el aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio.
2. Realizar pruebas industriales en planta de hormigones vibrocompactados.

3. Realizar ensayos en pastas de cemento con el empleo del aditivo DISTIN 204.
4. Realizar evaluaciones de resistencia a la compresión en los hormigones vibrocompactados con el aditivo DISTIN 204.
5. Realizar análisis técnico - económico en la producción de bloques de hormigón con el empleo del aditivo DISTIN 204.

Capítulo 1. Análisis bibliográfico

1.1. Generalidades de los aditivos para bloques de hormigón.

Este capítulo tiene como objetivo profundizar en el estado del arte de los aditivos químicos, así como sus características, además de ahondar en las ventajas e influencia de las aplicaciones de los aditivos en la producción de bloques de hormigón.

1.1.1. Antecedentes.

En 1824, el inglés J. Aspin, elaboró y patentó un producto similar al cemento, obtenido mediante la cocción de una mezcla de calcáreos y arcilla finamente molida. Este ligante permitiría confeccionar un hormigón similar al obtenido con la piedra Portland (calcáreo muy resistente de la isla Portland) comúnmente utilizado en Inglaterra para la construcción. De aquí la denominación de Cemento Portland. (Neville, 2000). Poco tiempo después, y con el fin de obtener fraguados más regulares, se utilizó el yeso crudo o cloruro cálcico, que se agregaba al cemento al fabricarlo o al hormigón en el momento de su preparación, el yeso se añadía al agua de amasado para retardar el fraguado, el cloruro cálcico podía ser utilizado como aditivo retardador o acelerador, según la dosis empleada. La incorporación de esos productos se remonta a los años 1875-1890.

En 1895, Dickrehof en Alemania, practicó adiciones de cal grasa para mejorar la plasticidad, poco tiempo después, en 1906, en los Estados Unidos hicieron lo mismo para la construcción de un depósito impermeable. Para mejorar la impermeabilidad se ensayó la introducción de silicato de sodio y de diversos jabones. (Venuat, 2000). Según Hernández (1995) los Lignosulfonatos Modificados (LM), constituyen la primera generación de los aditivos superplastificantes que vió la luz en la década de 1930. La lignina es un polímero natural de elevada masa molecular y junto con la

celulosa es un ingrediente principal de la madera. Es un subproducto de la producción de pulpa de papel, altamente contaminante del medio ambiente, por lo que su utilización en la producción de hormigones es uno de los importantes aportes de la Industria del hormigón al entorno medio ambiental. Como aditivo superplastificante es capaz de lograr reducciones del agua de amasado en la mezcla de hormigón de hasta el 15%. Como una característica especial vale indicar que a dosis bajas es efectivo como reductor del agua de amasado y a altas dosis actúa también como retardador del fraguado.

Los Naftalenos Formaldehídos Sulfonatos (NFS), constituyen la segunda generación de los aditivos superplastificantes, que vio la luz en la década de 1970. Su aparición causó un verdadero impacto en la industria del hormigón por su elevado poder reductor del agua de amasado. Es un derivado de la destilación en seco del carbón mineral, aunque también es posible obtener nafta como derivado de la destilación del petróleo. Como aditivo superplastificante es capaz de lograr reducciones en el agua de amasado en la mezcla de hormigón de hasta el 25%. Como características especiales hay que indicar que si bien porta una alta laborabilidad en la mezcla de hormigón, sus tiempos de acción son muy cortos, del orden de los 30 minutos, por lo que resultan adecuados para la producción de prefabricados, pero son muy limitados para la producción de hormigones premezclados. (Hernández, 1995).

Según Hernández (1995) las Melaminas Formaldehídos Sulfonatos (MFS), los polímeros de melamina sulfonada constituyen también parte de la segunda generación de aditivos superplastificantes para el hormigón y vieron la luz en la década de 1980. Están basados en Urea y Formaldehídos. Como aditivo superplastificante es capaz de lograr reducciones del agua de amasado de hasta

un 25 %. Como características principales hay que indicar que sus tiempos de acción también son cortos especialmente cuando se trabaja con relaciones Agua/Cemento bajas y en climas cálidos.

Según Toroyas (2011) en nuestro país los aditivos también han jugado un papel importante en el campo de la construcción, ya que han sido empleados en diferentes obras. Una de ellas fue el edificio FOCSA en la década de los 50. Para lograr cierta economía, en el costo del hormigón sin afectar la resistencia ni la laborabilidad, así como aumentar la densidad haciéndolo más compacto, se dosificaron las mezclas teniendo en cuenta la adición de plastificante de la Sika. La cantidad de hormigón utilizada fue de 35000 m³.

En estas experiencias se deben incluir también, después del año 1975, la introducción en Cuba de los aditivos químicos superplastificantes, en la producción de traviesas de hormigón pretensados, de alta resistencia mayor de 55 MPa. (Gayoso, 2006).

Como parte de la estrategia elaborada por el Ministerio de la Construcción (MICONS) para dar soluciones a algunas deficiencias que arrastraba nuestro país en la década de los 90, se constituye la empresa Tecnologías Internacionales para la Construcción. SA (TICSA), donde para cumplir con su objeto social se le otorgaron funciones nunca antes desagregadas a este nivel en nuestro país, donde una de ellas fue: producir y comercializar los elementos prefabricados necesarios al sistema EPS, los aditivos y productos de acabado, así como la elaboración de acero. (Toroyas, 2011).

1.1.2. Definición de los aditivos.

Aditivo es el producto que modifica en sentido favorable o confiere propiedades para mejor comportamiento del hormigón mediante efectos químicos y/o químico-físicos en las condiciones particulares de servicio. La misión de un aditivo es corregir posibles defectos, mejorar o incrementar las buenas cualidades y fortalecer al hormigón fresco como el endurecido en todos los aspectos. (Téllez, 1985).

Los aditivos se definen según plantea Venuat (2000) como productos que agregados en menos del 5 % del peso del cemento antes, durante o después del amasado de los morteros y hormigones, mejoran algunas de sus propiedades modificando ciertas características de los mismos por acciones químicas y/o físicos-químicas.

Otros autores como Roncero y Magarotto (2010) 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.

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.

1.1.3. Clasificación de los aditivos.

Según Venuat (1972) los aditivos podrían clasificarse de acuerdo con las modificaciones que aportan al hormigón a que son incorporados: aditivos que modifican las propiedades físicas, las propiedades químicas o las propiedades físico –mecánicas. Podría hacerse una distinción según su composición química, su aspecto (líquido, pastoso o en polvo).

Un ejemplo clásico de clasificación internacional, que es de las más empleadas en el mundo, especialmente en las fichas técnicas de los productos comerciales de las más importantes empresas productoras de aditivos, es la clasificación establecida en la Norma Norteamericana ASTM C 494-M y que divide los aditivos en 7 tipos:

- 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:

- Aditivos plastificantes/reductor de agua.
- Aditivos superplastificante/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.

Para este trabajo de investigación se usará la primera clasificación.

1.1.4. 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 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).

1.1.5. Ensayos de evaluación de las características de los aditivos.

Para evaluar 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.

- **Determinación de sólidos totales. Método gravimétrico.**

La determinación de sólidos totales es un procedimiento habitualmente asociado a la evaporación del agua presente en las muestras mediante la desecación en la estufa y por diferencia de las pesadas iniciales y finales se determina el valor de estos. (NC 271-1: 2003).

- **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).

- **Determinación de iones cloruros. Método potenciométrico.**

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 de pH. Método potenciométrico.**

Se define 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).

- **Determinación del contenido de cenizas. Método gravimétrico.**

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 en agua destilada.**

La cantidad de sólidos en suspensión o de partículas insolubles presentes en un aditivo en estado líquido son retenidas en un filtro tarado. Si se conoce la masa del aditivo utilizado se determina el porcentaje de sustancias insolubles en este. La cantidad de sustancia insoluble de un aditivo puede estar referida al agua destilada o al agua saturada de cal. (NC 271-6: 2003)

- **Determinación de la alcalinidad. Método potenciométrico.**

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:



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

1.1.6. Características de aditivos que se emplean en Cuba y el mundo.

Los aditivos plastificantes y superplastificantes, los aceleradores del fraguado, del endurecimiento y reductores de agua son empleados con mucha frecuencia por las empresas y compañías productoras de bloques de hormigón de Cuba y el mundo debido a que les permite 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. A continuación se muestran algunos ejemplos de estos aditivos que se producen en diferentes países:

➤ **Aditivos plastificantes y superplastificantes.**

- El aditivo plastificante para productos de mampostería de concreto EUCONBP de procedencia mexicana, es producido fundamentalmente para ser empleado en la producción de bloques, tejas, ladrillos, adoquines y sistemas por segmentos de muros de contención de hormigón. (The Euclid Chemical Company Mexico, 2011).

- El aditivo plastificante para bloques de concreto EUCOLITH“R” producido también por México no es más que sulfanato de etanol amoniado diseñado para ayudar a la producción de elementos de hormigón formados en máquinas. Sus principales aplicaciones son: en la producción de tejas, bloques, tubos y elementos prefabricados de hormigón. (The Euclid Chemical Company Mexico, 2012).

- Master Rheobuild 2100 es un aditivo superplastificante incoloro de procedencia española, que actúa simultáneamente como acelerante de endurecimiento. Puede ser empleado en hormigón arquitectónico, fabricación de hormigón de altas resistencias, preparación de morteros y prefabricados de yeso y escayola. (BASF Construction Chemicals, 2014).

➤ **Aditivos aceleradores y reductores de agua.**

- Otro aditivo con características similares a los anteriores y recomendado para ser empleado en la fabricación de bloques es el aditivo acelerante y reductor de agua ACCELGUARDHE de procedencia mexicana, este es un material de base cloruros producto de una combinación de acelerante y reductor de agua que mejora las propiedades plásticas y de endurecimiento del hormigón tales como la trabajabilidad y la resistencia a compresión y flexión de los elementos. Sus principales aplicaciones son en el hormigón estructural, bloques de hormigón y elementos prefabricados. (THE EUCLID CHEMICAL COMPANY MEXICO, 2010).

- El MasterX-Seed130 y el MasterX-Seed100 son aditivos de procedencia española, especialmente diseñados para potenciar el proceso de hidratación del cemento a edades tempranas y favorecer la consecución de resistencias iniciales del hormigón a cualquier temperatura incluso con curado térmico.

La tecnología de estos aditivos permite el desarrollo de cristales entre las partículas de cemento, mejorando el desarrollo de resistencias iniciales sin afectar a las resistencias finales o incluso mejorándolas y construyendo una microestructura más cerrada que favorece la durabilidad del hormigón.

Están recomendados para cualquier tipo de hormigón y especialmente para elementos estructurales donde se precisen altas resistencias iniciales. (BASF Construction Chemicals, 2014).

➤ **Aditivos aceleradores del fraguado y endurecimiento.**

- Master SetAC 553 es un aditivo proveniente de España, el cual actúa como acelerante de fraguado y endurecimiento para hormigón en masa. Activa y favorece el proceso de fraguado y endurecimiento del hormigón, aumentando las resistencias iniciales y en consecuencia permitiendo desencofrar rápidamente. Ideal para hormigonado en tiempo frío y para compensar la acción de cementos lentos. Se emplea exclusivamente en aplicaciones con hormigón en masa, por ejemplo en la elaboración o prefabricación de tubos, bloques, bordillos, losetas, etc. (BASF Construction Chemicals, 2014).
- Sika 3 es un aditivo de origen colombiano, acelerante y controlador del fraguado del cemento. Es aplicado en la confección de pastas, morteros u hormigones no armados donde se requiera alcanzar rápido fraguado o elevadas resistencias mecánicas en corto tiempo. Las mezclas con Sika 3 fraguan rápidamente, con lo cual se disminuyen los tiempos de trabajo y puesta en servicio, fácil de usar ya que es totalmente soluble y se mezcla fácilmente con el agua de amasado. Permite ajustar la dosis de acuerdo a los requerimientos de la obra y en función de la temperatura ambiente. (Sika S.A.Colombia, 2014).

Los aditivos antes mencionados son productos que se han aplicado ya en la fabricación de bloques a nivel mundial, todos con características similares: líquido, color ámbar, plastificantes, reductores de agua y con los mismos objetivos: elevar la resistencia a edades tempranas, agilizar el ciclo de producción y lograr un bloque con mayor calidad.

En Cuba no existen producciones nacionales de aditivos plastificantes y aceleradores de la resistencia para ser utilizados en la elaboración de bloques de hormigón, 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 Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensioactivos (CEAT) de la Universidad de Matanzas, donde es importante señalar que dichos aditivos poseen una calidad similar a los de importación. Uno de los productos que se elabora en el CEAT es el aditivo DISTIN 204 que actúa como reductor de agua, acelerador de la resistencia y plastificante, el cual se emplea fundamentalmente en bloques de hormigón, además dicho aditivo proporciona diversas ventajas a estos materiales de la construcción por lo que se puede calificar como un producto que presenta resultados similares a los aditivos que se utilizan a nivel mundial. (Rodríguez, 2014).

1.2. Influencia de los aditivos sobre la consistencia de la mezcla de hormigón.

Estos aditivos 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, neutralizando su carga eléctrica molecular, 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 incrementan las resistencias mecánicas de los hormigones. (Téllez, 1989).

Los aditivos plastificantes (reductores del agua de amasado) según plantea Téllez (1989): 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 y se adicionan frecuentemente en dosis del 0,2 al 0,5% en peso del cemento de la mezcla.

Son los más utilizados y permiten que la laborabilidad del hormigón fresco mejore considerablemente. Pueden conseguir que manteniendo la laborabilidad de un

hormigón normal, se reduzca la cantidad de agua de amasado mejorando con ello la resistencia del hormigón. (Neville, 2000).

Los aditivos superplastificantes (reductores del agua de amasado de alto rango) según plantea Téllez (1989): son capaces de reducir el agua necesaria entre un 12 a un 40% o más, para lograr la misma consistencia de la mezcla de hormigón y se adicionan frecuentemente en dosis del 0,5 al 2% en peso del cemento de la mezcla. Los superplastificantes convierten a un hormigón normal en un hormigón fluido, que no requiere de vibración para llenar todos los espacios de las formaletas, inclusive en sitios de difícil acceso. Así mismo, a laborabilidad normal, permiten la reducción de la relación agua/cemento hasta valores cercanos a 0,30, consiguiéndose hormigones de mediana resistencia (entre 350 Kg/cm² y 420 Kg/cm²) y hormigones de alta resistencia (mayores a 420 Kg/cm²). Esos aditivos de carácter marcadamente humectante, son productos orgánicos constituidos por tensoactivos de carácter aniónico y elevada masa molecular extremadamente complejos. (Neville, 2000).

Los aditivos aceleradores introducidos al hormigón son útiles para (Pérez, 2011):

1. Desencofrado rápido, por lo tanto, mayor capacidad de utilización de los moldes.
2. Acelera el proceso en constancias “in situ” cuando el hormigón o la mezcla se realizan a bajas temperaturas.
3. Se reduce el período de curado y protección.
4. Para acelerar el hormigonado en condiciones especiales, tales como hormigonado bajo agua y túneles.

1.2.1. Importancia y aplicaciones de los 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 y 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.

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 de 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.

Los aditivos plastificantes y superplastificantes se utilizan para (Ortega, 2013):

- Hormigones que hayan de someterse a duras pruebas (hormigón armado y pretensado)
- Hormigones con gran densidad de armaduras de refuerzo.
- Hormigones manufacturados (piedra artificial, por y para la prefabricación)
- En la construcción de grandes edificios, en obras públicas (autopistas, obras marítimas, etc.)

- En ciertos trabajos especiales: inyección, hormigonado con moldes deslizantes.

1.3. 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.

El comportamiento y las propiedades del hormigón en el estado fresco o endurecido, suelen estar influidas y modificadas por diversos factores intrínsecos y extrínsecos. Los intrínsecos se relacionan esencialmente con las características de los componentes y sus proporciones en la elaboración del hormigón, mientras que los extrínsecos se refieren principalmente a las condiciones ambientales presentes durante su elaboración y colocación, las prácticas constructivas que se emplean en el proceso de su elaboración hasta el curado, y las condiciones de servicio de la estructura de hormigón. Algunos de estos factores pueden ser objeto de modificación por parte del usuario, pero otros no, pues los aditivos no salvan una mezcla mal preparada o diseñada. (Hernández, 1995).

Sobre la base de este planteamiento (Hernández, 1995) para influir en las propiedades del hormigón, con vista a adaptarlos en las condiciones externas, se disponen principalmente de dos recursos:

- 1) Selección y uso de componentes idóneos y combinados en las proporciones adecuadas para la elaboración de hormigones.

2) Empleo de equipos, procedimientos y prácticas constructivas en general, de eficacia comprobada de acorde con la obra que se construye.

El uso de los aditivos queda comprendido dentro del primer grupo. El empleo de estos puede impartir ciertas características deseables que no se pueden tener por otros medios, al menos no de forma económica, y en dependencia del efecto que se persiga se utilizan con los propósitos de:

- Incrementar la laborabilidad sin aumentar el contenido de agua o para disminuir el contenido de agua a igual laborabilidad.
- Para acelerar o retardar el fraguado inicial.
- Para acelerar o retardar la evolución de calor durante el endurecimiento inicial.
- Para incrementar la durabilidad o resistencia a condiciones severas de exposición.
- Para disminuir la permeabilidad a los líquidos y reducir la segregación de los agregados.
- Para inhibir la corrosión en el hormigón armado y mejorar su actitud para el bombeo.
- Para producir hormigones o morteros con propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas.
- Para disminuir el costo unitario del hormigón. (ACI212. 2R, 1986).

1.4. 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,

producido por el Centro de Estudio Anticorrosivo y Tensoactivo (CEAT) de la Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos” (Rodríguez, 2014).

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 la síntesis del aditivo según la Patente 142/94, 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.

1.4.1. Síntesis de aditivo según Patente 142/94.

A través del empleo de sulfamatos alcalinos o alcalino-térreos en solución acuosa, los cuales son condensados para formar grupos metiloles con el empleo de la formalina (formol) mediante calentamiento y agitación prolongada.

Se realiza con una disolución en ácido sulfúrico fumante de la urea en una relación molar de 1:(0.8 - 1.5) con agitación y posterior neutralización con solución de hidróxido de sodio, potasio, amonio o calcio, o mezcla de algunos de los mismos. Posteriormente, realizar la condensación empleando la solución de formalina al 37% con una relación molar de 1:(0.1 - 0.35), efectuando seguidamente un calentamiento prolongado durante 2 - 4 horas a una temperatura comprendida entre los 80 a 120°C con agitación, la solución acuosa obtenida alcanza un 40-60% de sólidos disueltos. (Patente No CU 22444 A1: 1994).

1.4.2. Proceso de producción del aditivo DISTIN 204 a escala de planta piloto.

Las materias primas utilizadas para su elaboración son:

- Urea [CO (NH₂)₂]: Cristales o polvo blanco, casi incoloro, sabor salino fresco, soluble en agua, alcohol y benceno, y ligeramente soluble en éter.
- Sulfito de sodio [Na₂SO₃]: Cristales o polvo blanco, sabor sulfuroso salino, soluble en agua, muy poco soluble en alcohol. Puede presentarse anhidro, Na₂SO₃ o hidratado, Na₂SO₃•7H₂O.
- Formaldehído [CH₂O]: 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 siendo la 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.

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: $R-NH_2 + CH_2O \leftrightarrow R-NH-CH_2O$ (monometilolurea) (Domínguez, Pers, 1993).

El proceso para la obtención del aditivo DISTIN 204 a escala de planta piloto 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 0,8m³ 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 2 se muestra el diagrama de bloque de la síntesis del aditivo 204 a escala planta piloto. (Rodríguez, 2014).

1.4.3. 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.

Según Rodríguez (2014) 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 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.

1.5. Propiedades físico – mecánicas de los bloques de hormigón según normas internacionales.

A nivel mundial existe una gran diversidad de normas para la evaluación y caracterización de los bloques de hormigón. A continuación se ejemplificarán algunas de estas normas:

- La norma IRAM 11561-3 (incisos 3.2.1.- 3.2.2.- 3.3) evalúa los bloques de hormigón a través de estos ensayos: dimensiones y tolerancias, peso de unidades producidas, resistencia a la compresión, resistencia a la abrasión, densidad y absorción.

- La Normativa Española UNE 41166 que clasifica por el tipo, categoría, grado y uso, designa y fija las prescripciones que deben tener los bloques de hormigón. Además, especifica los ensayos a realizar a los bloques de hormigón los cuales son: determinación de las dimensiones, absorción máxima, resistencia a compresión, y las Normas UNE 41167- 41172 que la complementan describe los métodos de ensayos a seguir para su caracterización.

- 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. Estos ensayos son la determinación de la resistencia a la compresión, la comprobación de las dimensiones, la determinación de la absorción, la determinación del aislamiento acústico y térmico, la determinación de la resistencia

al fuego, y también se obtiene la densidad de los bloques de hormigón según la Norma Cubana NC 247:2005.

Cada una de las prescripciones de estas normas responde a las necesidades específicas de cada país y relacionándolas entre sí, se evidencian patrones comunes entre ellas como por ejemplo la determinación de la resistencia a la compresión, la determinación de las dimensiones y la absorción.

1.5.1. Determinación de las propiedades físico-mecánicas de los bloques de hormigón.

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 del aislamiento acústico y térmico, la determinación de la resistencia al fuego, 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 tienen 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).

A continuación se explican algunos ensayos necesarios para la determinación de las propiedades de los bloques de hormigón:

➤ **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 ± 2 mm.
- Para los bloques a revestir: En ancho, largo y alto igual a ± 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.

➤ **Ensayo 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.

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 utilizada 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.

Tipos de bloques	Resistencia media a la compresión mínima a los 7 días (MPa)	Resistencia media a la compresión mínima a los 28 días (MPa)
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.

➤ **Ensayo 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.

Tipos de bloques	Absorción máxima (%)
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).

1.6. Ensayos en pastas de cemento.

Es necesario efectuar varios ensayos en pastas de cemento para conocer el comportamiento del aditivo DISTIN 204 en cuanto a su carácter plastificante y el tiempo de fraguado final, para así determinar su efecto en los bloques de hormigón.

1.6.1. Determinación de la plasticidad por el método del minicono.

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).

1.6.2. Determinación del tiempo de fraguado.

La Norma NC 524:2007 especifica el método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado inicial y final del cemento hidráulico mediante la aguja de Vicat. Para determinar el tiempo de fraguado de la mezcla se mantiene la misma relación agua/cemento variando solamente la dosis de aditivo y se efectúa el ensayo hasta lograr el tiempo final del fraguado en las pastas de cemento.

1.7. Conclusiones parciales del Capítulo.

1. Según la bibliografía consultada los aditivos plastificantes y aceleradores de la resistencia son los más utilizados en la producción de bloques de hormigón, ya que incrementan la resistencia a edades tempranas, proporcionan un efectivo desmolde de los bloques y reducen los costos unitarios de la producción además de obtener ganancias económicas a la empresa productora.
2. Con la aplicación de los aditivos elaborados en el CEAT se reducen grandes costos a las empresas productoras de bloques de hormigón, las cuales tienen que importar estos aditivos porque en nuestro país no existen producciones nacionales de aditivos plastificantes y aceleradores de la resistencia para estos elementos.
3. Tras la aplicación del aditivo DISTIN 204 en la producción de bloques de hormigón es necesario conocer su efectividad mediante una serie de ensayos como son: la determinación de la resistencia a la compresión, el carácter plastificante en pastas de cemento empleando el método del minicono y el tiempo de fraguado.

Capítulo 2. Materiales y Métodos.

Este capítulo describe de manera general la parte experimental de la presente investigación, basada en la fabricación de bloques con adición de aditivo, en función de la cantidad de cemento de la mezcla de hormigón producido a escala industrial, de modo que las características y propiedades de estos bloques puedan ser comparados con los resultados experimentales de los bloques sin adición de aditivo. Se realizará la caracterización de los materiales empleados, árido, cemento y aditivo, así como de los ensayos efectuados sobre una población determinada de bloques. También se describirá el proceso tecnológico, los equipos utilizados y las dosificaciones empleadas para la obtención de los bloques de hormigón. Se realizarán 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, se determinará la plasticidad en pastas de cemento a partir del método del minicono describiendo sus procedimientos así como el tiempo de fraguado según las especificaciones de la norma correspondiente.

2.1. Obtención del aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio.

➤ Materiales y reactivos químicos.

Las materias primas que se utilizan para la producción del aditivo DISTIN 204 se relacionan a continuación:

- Sulfito de sodio: Cristales o polvo de color blanco, soluble en agua, muy poco soluble en alcohol. Puede presentarse hidratado, $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ o anhidro, Na_2SO_3 .
- Formaldehído: sustancia gaseosa que corresponde a la fórmula CH_2O que se emplea en solución acuosa al 37%, siendo esta un líquido claro, incoloro, de olor penetrante, sofocante y venenoso.

Calidad: Comercial.

Especificaciones:

Densidad: 1,75-1,08 g/cm³

Punto de ebullición de la solución al 37%: 98°C.

Precauciones: Evítese la inhalación de sus vapores y el contacto con la piel, causa irritación.

- Urea: cristales o polvo blanco, casi inodoro, sabor salino fresco que corresponde a la fórmula $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, soluble en agua, alcohol y benceno, ligeramente soluble en éter.

Calidad: Comercial.

Especificaciones:

Peso específico: 1.335 g/cm³

Punto de fusión: 132.70°C (se descompone).

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

- Beaker con una capacidad de 5000 ml.
- 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.

➤ **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 (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 (CH_2O) 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 -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 del laboratorio para la síntesis del aditivo se muestra en el Anexo 1. (Rodríguez, 2014)

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. Métodos de ensayos de caracterización para el aditivo DISTIN 204.

Los métodos de ensayos para la caracterización del aditivo DISTIN 204 se obtienen a partir de 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).

Estos ensayos se realizaron en los laboratorios del Centro de Estudios Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT) en la Universidad de Matanzas y en el Centro

de Investigación y Desarrollo de la Construcción (CIDC) en la provincia de La Habana.

a) Determinación de sólidos totales.

La presente norma establece el método para la determinación cuantitativa del contenido de sólidos totales en los aditivos químicos líquidos para hormigones.

La esencia del método consiste en la evaporación del agua presente en las muestras mediante el calentamiento en la estufa hasta la desecación del producto y por diferencia de las pesadas iniciales y finales se determina el valor de los sólidos totales. (NC. 271-1: 2003).

✓ Materiales, utensilios y medios de medición.

Arena sílice del yacimiento de Sigüanea, Isla de la Juventud, Cuba, de un contenido de sílice mayor del 98% en peso, del tamaño de 0,5-1,0 mm que pasa por el tamiz 1.19 mm y es retenido en el tamiz 0,59 mm

Cápsula Petri o pesafiltro de 60 mm de diámetro.

Pipeta de 0-10 cm³.

Estufa de 0-200°C de circulación forzada.

Balanza analítica de 0,001 g de precisión.

✓ Procedimiento.

- Se introducen 20-30 g de arena sílice en un pesafiltro o cápsula Petri.

- Se coloca el pesafiltro o cápsula Petri en estufa durante 17h a $105 \pm 2^\circ\text{C}$.

- Se introduce el pesafiltro en una desecadora, se enfría hasta temperatura ambiente y se determina su masa con una aproximación de 0,001 g.

- Se toman aproximadamente 4 g del aditivo, con una precisión de 0,001 g utilizando una pipeta, expandiéndolo lentamente en forma homogénea sobre la superficie de la arena.

- Se determina la masa del conjunto con una aproximación de 0,001 g, se coloca el pesa filtro con la muestra en estufa a 105 -110°C por un tiempo suficiente como para que después de enfriada y pesada, se obtengan pesadas constantes.

✓ Expresión de los resultados.

Método de cálculo. El contenido de sólidos totales se determina aplicando la siguiente expresión:

$$\% \text{ Sólidos Totales} = A/M \cdot 100 \quad \text{ec. [2.1]}$$

Dónde:

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

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

b) Determinación de la densidad.

La presente norma establece el método para la determinación de la densidad, de los aditivos químicos líquidos utilizados en la elaboración de pastas, morteros y hormigones.

Este método consiste en la determinación de la masa de un aditivo líquido por unidad de volumen en condiciones adecuadas. (NC. 271-2: 2003).

✓ Aparatos, utensilios y medios de medición.

- Balanza analítica de 0-200 g de capacidad y sensibilidad de 0,0001 g
- Picnómetro de Gay Lussac de 50 cm³.

✓ Procedimiento.

- Se pesa limpio y seco el picnómetro de Gay Lussac para determinar su masa.
- Se llena completamente el picnómetro de Gay Lussac con la muestra de aditivo.

- Se coloca la tapa, teniendo especial cuidado de que la muestra suba hasta el extremo superior del capilar de esta.
- Se deja en reposo el picnómetro con la muestra en el local donde se realizan las pesadas, a una temperatura estable sin diferir en 1°C a la del ambiente.
- Se pesa el picnómetro con la muestra en la balanza analítica.
- ✓ Expresión de los resultados.

Método de cálculo. La densidad del aditivo se determina mediante la siguiente expresión:

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

Dónde:

d: densidad (g/cm³).

m₁: Masa del picnómetro seco (g).

m₂: Masa del picnómetro con la muestra (g).

V: Volumen de la muestra especificada por la capacidad del picnómetro (cm³).

c) Determinación de pH.

Esta norma establece el método de ensayo para la determinación del pH para todo tipo de aditivos químicos líquidos o sólidos utilizados en la elaboración de hormigones. (NC. 271-4: 2003).

El método consiste en que el pH-metro lee la diferencia de potencial que se produce al contacto del electrodo con una disolución que contenga una concentración hidrogeniónica diferente a la del electrodo y esta diferencia de potencial se transforma en el equipo en valores de pH.

- ✓ Reactivos.
- Solución buffer de pH 4, 7 y 9.

- Utensilios e instrumentos de medición.
- Medidor de pH con electrodo de vidrio combinado.
- Probeta de 50 ml.
- Papel indicador de pH universal.
- Agua destilada.
- ✓ Procedimiento.
- Se calibra el medidor de pH utilizando una solución buffer de pH 7,00 a temperatura ambiente.
- Cuando los aditivos posean un pH menor de 7 la calibración se realiza con una solución buffer de pH 4,00, para los pH mayores de 7 la calibración se realiza con una solución buffer de pH 9,00.
- Se toman 3 muestra de 30 a 40 ml de aditivo líquido, en un vaso de precipitado de 50 ml. Se introduce el electrodo del medidor de pH, se agita la solución para homogenizarla convenientemente y se lee en la escala de pH el valor.
- ✓ Expresión de los resultados.

Los resultados medidos con la precisión del pH-metro se expresará con una cifra decimal, los resultados son la media aritmética de las 3 medidas realizadas, si ninguno de los 3 valores se diferencian en más de 0,2 unidades de la media. En caso contrario, se repetirán las mediciones.

d) Determinación del contenido de cloruros.

Esta norma establece el método de ensayo para la determinación del contenido de cloruros solubles en agua, presentes en todo tipo de aditivos químicos líquidos o sólidos utilizados en la elaboración de hormigones. (NC. 271-3: 2003).

- ✓ Reactivos.
- Ácido nítrico concentrado (65-68 %).

- Cloruro de sodio 0,1 N.
- Nitrato de plata 0,1 N.
- Nitrato de potasio en disolución saturada.
- ✓ Aparatos, utensilios y medios de medición.
- Potenciómetro o medidor de pH con escala en mV.
- Electrodo indicador de plata y uno de referencia de Calomel saturado, con nitrato de potasio como electrolito.
- Balanza analítica con una precisión mínima de 0,001 g.
- Agitador magnético.
- Bureta de 25 cm³ con una precisión de 0,1 cm³.
- Pipeta de 1 y 10 cm³.
- ✓ Procedimiento.
- Se toman 10 g de aditivo, con una precisión de 0,001 g en forma líquida, en un vaso de precipitado de 150 cm³.
- Se añade 25 ml de agua destilada y 1 ml de ácido nítrico concentrado.
- Se filtra con papel de filtro de porosidad media y se lava el residuo 10 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.
- Se adiciona con pipeta 10 ml de NaCl a 0,1 N y se introducen los electrodos en la disolución diluida y se agita permanentemente con un agitador magnético.
- Se titula lentamente con la disolución de AgNO₃ a 0,1 N, anotando después de cada adición el volumen añadido y los potenciales alcanzados (aumentos significativos de potencial).
- Cuando la titulación está cerca del punto de equivalencia, se adiciona el AgNO₃ en proporciones de 0,1 ml.

- Se continúa la titulación hasta un exceso de 1 a 2 ml de AgNO_3 , después de producirse el salto de potencial indica el fin de la titulación.
 - Se adiciona con pipeta 10 ml de disolución de NaCl a 0,1 N en la celda de titulación y se continúa titulando con el mismo procedimiento anterior.
- ✓ Expresión de los resultados.

Método de cálculo. El porcentaje de iones cloruros presentes en la muestra de aditivo se determina mediante la siguiente expresión:

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

Dónde:

V_1 : Volumen de AgNO_3 a 0.1 N gastados en la titulación de la primera porción de NaCl a 0.1 N (ml).

V_2 : Volumen de AgNO_3 a 0.1 N gastados en la titulación de la segunda porción de NaCl a 0,1 N (ml).

3,546: Peso 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.

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

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 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 AgNO_3 a 0.1N gastado antes de producirse el salto de potencial, en la titulación de la primera porción de NaCl a 0,1 N (ml).

ΔV : Incremento de volumen de AgNO_3 añadido cerca del punto de equivalencia, es decir 0,1 ml.

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

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

e) Determinación de sustancias insolubles.

Esta norma establece el método de ensayo para la determinación de sustancias insolubles para todo tipo de aditivos químicos líquidos o sólidos utilizados en la elaboración de hormigones. (NC. 271-6: 2003).

✓ Aparatos, utensilios y medios de medición.

- Balanza analítica de 0-200 g de capacidad y sensibilidad de 0,001 g.
- Estufa de 0-200°C de circulación forzada.
- Crisol filtrante de porosidad fina.
- Pipeta de 10 ml.
- Probeta de 250 ml.

- Probeta de 500 ml.
- ✓ Procedimiento.
- Se pesan 4 g del producto sólido o 10 g si es líquido con una precisión de 0,001 g trasvasando a un vaso de precipitado de 400 ml con ayuda de un frasco lavador.
- Se añaden 200 ml de agua destilada a 20°C.
- Se agita enérgicamente durante 10 min y se deja reposar 30 min.
- Se filtra utilizando un crisol filtrante tarado.
- Se lava 3 veces con agua destilada.
- Se seca el crisol a 100°C durante 60 min, se enfría y se determina su masa.

Para la determinación de las sustancias insolubles en cal se pesa la misma cantidad de muestra indicada, se añaden 200 ml de agua saturada de cal (1,65 g de Ca (OH)₂ en 100 ml de agua) y se continúa el mismo procedimiento anterior.

✓ Expresión de los resultados.

Método de cálculo. El por ciento en masa de sustancias insolubles en agua destilada o en agua saturada de cal se determina mediante la siguiente expresión:

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

Dónde:

Pr: Masa del residuo (g).

Pi: Masa del aditivo (g).

2.2.2. Caracterización del árido fino.

El tipo de árido fino empleado para la producción de bloques es arena de tipo artificial procedente de la cantera “La Molina” de la provincia de Artemisa. Este tipo

de árido se caracterizó en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Construcción empleando el siguiente soporte normativo:

-NC178:2002. Áridos. Análisis Granulométrico.

-NC182:2002.Áridos.Determinación del material más fino que el tamiz 0,0074 mm (No. 200)

-NC186:2002. Arena. Peso Específico y Absorción de Agua. Método de ensayo.

-NC 251:2005. Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos.

La caracterización del árido fino demuestra que la arena está sobredimensionada (en la granulometría), según las especificaciones de la Norma Cubana NC 178: 2002, debido a que incumple con tres 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 DISTIN 204. En el ensayo para determinación del material más fino que el tamiz de 0,0074mm (No. 200) no se encuentra dentro del valor normado pero esto no representa un impedimento para la realización del ensayo. Todos los demás ensayos cumplen las especificaciones establecidas por las normas. Los resultados de todos estos ensayos se muestran en los Anexos 3.

2.2.3. Caracterización del árido grueso.

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

- NC178:2002. Áridos. Análisis Granulométrico.
- NC182:2002.Áridos.Determinación del material más fino que el tamiz 0,0074 mm (No. 200)
- 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 4 la caracterización del árido grueso el cual muestra como resultado que cumple con todos los requisitos según las especificaciones de la Norma Cubana NC 251: 2005, por lo que se define como un árido de excelente calidad para la producción.

2.2.4. Caracterización del cemento.

Se utilizó un Cemento Portland P-350, procedente de la fábrica “René Arcay” del Mariel de la provincia de Artemisa. Dicho cemento fue caracterizado por el Centro de Investigación y Desarrollo de la Construcción, lo cual demuestra que cumple con las especificaciones de las Normas Cubanas NC100: 2001 Cemento de alta resistencia inicial. Especificaciones y NC 95: 2001 Cemento Portland. Especificaciones. En el Anexo 5 se ejemplifica las pruebas a que fue sometido.

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

Para la elaboración de los bloques de hormigón es necesario 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 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 Hidalgo” situada en la provincia de Artemisa, la cual se rige por la normativa NE1324.003:2010. Esta investigación está basada 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 Hidalgo”. A continuación se realiza una descripción del proceso tecnológico de la fábrica donde se elaboraron las muestras de bloques de hormigón. El diagrama tecnológico del proceso se muestra en los Anexo 8 y 9. (UEB Fábrica de producción de bloques).

➤ **Etapas fundamentales del proceso tecnológico:**

Etapa 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

20 m³ 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.

Etapa 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.

Las operaciones tecnológicas de la etapa son:

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 multiforca 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 multiforca, 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.

Las operaciones tecnológicas de la etapa son:

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. (Rodríguez, 2014)

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

Los ensayos físico - mecánicos realizados a las muestras de bloques de hormigón se realizan a escala industrial y para ello se toman las dosificaciones empleadas por la fábrica “Secundino Guerra Hidalgo” 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

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 Hidalgo” de Punta Brava. En la tabla 2.1 se observan las cantidades de materiales para una amasada que contiene 1m^3 de materiales el cual tiene como norma la producción de 42 bloques de tamaño nominal $150 \times 195 \times 495\text{mm}$ de tipo II según la norma cubana NC : 247-2010.

Tabla 2.1 Dosificación de materiales para la mezcla patrón.

Material	Cantidad
Cemento(kg)	86
Arena(kg)	213
Granito(kg)	167
Agua(l)	29
Relación agua/cemento	0,34

2.4.2. Dosificación de la mezcla de hormigón con adición de aditivo **DISTIN 204**

Para la dosificación de la mezcla de hormigón con adición del aditivo **DISTIN 204** se emplea la misma cantidad de áridos y cemento que la mezcla patrón, pero se añade una determinada cantidad de aditivo de 0,6% 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 pero destacar que esto se realiza también para mantener constante la relación agua/cemento. A continuación se expone esta variante.

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:

$$\text{Cantidad de aditivo} = \frac{\% \text{ Aditivo} \cdot \text{Contenido de cemento}}{\text{Densidad} \cdot \text{Concentración de sólidos}} \quad \text{ec. [2.7]}$$

Dónde:

% Aditivo: dosis de aditivo empleada (%)= 0,6%

Contenido de cemento: cantidad de cemento empleada encada amasada = 86 kg.

Concentración de sólidos: porciento de sólidos totales del aditivo (%)= 30,48 %

Densidad: consistencia del aditivo (kg/l)= 1,15 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:

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

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

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

Dónde:

% sólidos: porciento de sólidos totales del aditivo empleado (%) = 30,48%

Cantidad de agua en una amasada = 29 litros.

Empleando las ecuaciones anteriores se determina la cantidad de agua que tiene el aditivo el cual incorpora a la mezcla 2 litros, por lo tanto la cantidad de agua utilizada en la mezcla de hormigón es 27 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.

Tabla 2.2 Dosificación de materiales para la mezcla con aditivo DISTIN 204 (con reducción de agua de amasado).

Material	Cantidad
Cemento(kg)	86
Arena(kg)	213
Granito(kg)	167
Agua(l)	27
Aditivo(l)	1,47
Relación agua/cemento	0,31

2.4.3. Dosificación de la mezcla de hormigón con adición de aditivo DISTIN 204 y reducción de cemento 10%.

Para la mezcla de hormigón con adición del aditivo DISTIN 204 se emplea la misma cantidad de áridos que la mezcla patrón, pero en este caso se utiliza una reducción de un 10% de cemento de la mezcla y se determina la cantidad de agua a añadir a partir de la relación agua/cemento, la cual será constante para todas las variantes. A continuación se muestra en la tabla 2.3 la dosificación de materiales para la mezcla de hormigón con aditivo DISTIN 204 con reducción de cemento 10%.

Tabla 2.3 Dosificación de materiales para la mezcla de aditivo DISTIN 204 con reducción de cemento 10%

Material	Cantidad
Cemento(kg)	77
Arena(kg)	213
Granito(kg)	167
Agua(l)	24
Aditivo(l)	1,32
Relación agua/cemento	0,31

2.4.4. Dosificación de la mezcla de hormigón con adición de aditivo DISTIN 204 y reducción de cemento 15%.

Para la dosificación de la mezcla de hormigón con adición del aditivo DISTIN 204 se emplea la misma cantidad de áridos que la mezcla patrón, pero en este caso se utiliza una reducción de un 15% de cemento de la mezcla manteniéndose constante la relación agua/cemento. 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 15%.

Tabla 2.4 Dosificación de materiales para la mezcla de aditivo DISTIN 204 con reducción de cemento 15%.

Material	Cantidad
Cemento(kg)	73
Arena(kg)	213
Granito(kg)	167
Agua(l)	23
Aditivo(l)	1,25
Relación agua/cemento	0,31

2.5. Diseños experimentales en pastas de cemento

Se realizan ensayos experimentales con el objetivo primeramente de determinar la plasticidad en pastas de cemento para obtenerla dosis efectiva de aditivo y el tiempo de fraguado en pastas de cemento. En estos casos no se realizan réplicas de cada experimento debido a que no se disponían de suficientes materiales e instrumentación para realizar estos ensayos. Para el caso de resistencia a la compresión se efectuaron diseños de experimentos a parámetros constantes y con reducción de cemento de 10 y 15% respectivamente.

2.5.1. Determinación de la plasticidad

Este experimento se realiza a escala de laboratorio según plantea las especificaciones de la norma correspondiente (NC 235:2007). Para este caso se determina la fluidez del aditivo DISTIN 204 con diferentes dosis del mismo (0,6%, 0,8%, 1,0%) y se compara los resultados obtenidos con una muestra patrón sin adición de aditivo, manteniendo constante en todos los casos la relación agua/cemento con un valor de 0,34. A continuación se muestra en la tabla 2.5 la distribución de los ensayos realizados.

Tabla 2.5 Distribución de los ensayos de plasticidad en pastas de cemento.

Dosis de aditivo (%)	Cantidad de muestras	Resultado
0	1	Área de la pastilla de cemento (cm ²)
0,6	1	
0,8	1	
1,0	1	

2.5.2. Determinación del tiempo de fraguado

Para la determinación del tiempo de fraguado se tiene en cuenta los procedimientos establecidos por la norma correspondiente (NC 524:2007). Para ello se realizan mediciones en las pastas de cemento mediante la aguja de Vicat y se toman lecturas de la penetración de la aguja en intervalos de 15 min. De esta manera se obtiene el tiempo de fraguado final de la mezcla. Se efectúa estos experimentos variando la dosis de aditivo y se compara la lectura final con la muestra patrón. A continuación se muestra en la tabla 2.6 la distribución de los ensayos realizados.

Tabla 2.6 Distribución de los ensayos del tiempo de fraguado en pastas de cemento.

Dosis de aditivo (%)	Cantidad de muestras	Resultado
0	1	Tiempo de fraguado final (horas)
0,6	1	
0,8	1	
1,0	1	

2.5.3. Determinación de la resistencia a la compresión en bloques de hormigón.

Es necesario determinar la resistencia a la compresión para la evaluación del aditivo DISTIN 204 en bloques de hormigón, ya que de esta manera se analiza el comportamiento del mismo variando las edades a partir de la dosis de aditivo con relación a la cantidad de cemento. Primero se analiza manteniendo los parámetros constantes de agua y cemento, y después con una disminución de la dosis de agua ya que estos bloques contienen aditivo y por último con una reducción de un 10% y un 15% de cemento respectivamente.

Para determinar la resistencia a la compresión en bloques de hormigón 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 cuatro niveles (nivel 1, nivel 2, nivel 3 y nivel 4) y el segundo factor tiene dos niveles (bajo y 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 (%)	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Resistencia a la compresión (MPa)
	0,0	0,6	0,8	1,0	
Tiempo(días)	Bajo		Alto		
	7		14		

Se realizan cuatro series de mezclas: una sin aditivo para establecer un patrón de referencia, otra con aditivo, y la tercera y cuarta serie con aditivo y con reducción de cemento del 10% y 15% respectivamente, aclarando que todas las series mantienen la relación de agua/cemento constante.

Para todas las series se emplea la dosis 0,6% de aditivo con relación a la cantidad de cemento que establece la mezcla para conformar los bloques de hormigón.

Las edades a ensayar para todas las muestras son 7 días y 14 días. Para cada edad se toman 3 muestras por cada serie, dando un total de 12 muestras por edad; por tanto se obtiene un total de 24 puntos experimentales. La matriz experimental se muestra en la tabla 2.8 que especifica la cantidad de experimentos para el ensayo de resistencia a la compresión.

Tabla 2.8 Matriz experimental para la resistencia a la compresión.

Corridas Exp.	Factor 1	Factor 2
	Dosis Ad. (%)	Tiempo (días)
1	Nivel 3	Bajo
2	Nivel 2	Alto
3	Nivel 4	Bajo
4	Nivel 4	Alto
5	Nivel 4	Alto
6	Nivel 1	Alto

7	Nivel 2	Bajo
8	Nivel 2	Alto
9	Nivel 2	Bajo
10	Nivel 1	Bajo
11	Nivel 4	Alto
12	Nivel 3	Bajo
13	Nivel 4	Bajo
14	Nivel 3	Alto
15	Nivel 2	Bajo
16	Nivel 1	Alto
17	Nivel 4	Bajo
18	Nivel 1	Alto
19	Nivel 1	Bajo
20	Nivel 3	Alto
21	Nivel 2	Alto
22	Nivel 3	Bajo
23	Nivel 1	Bajo
24	Nivel 3	Alto

2.6. Ensayos experimentales.

Los diferentes ensayos experimentales que se emplean en esta investigación se muestran a continuación, explicando de forma general su procedimiento y las ecuaciones utilizadas.

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 (mm^2) en función de la dosis de aditivo (%) con respecto al patrón (sin aditivo).

2.6.2. Determinación de la resistencia a la compresión.

El procedimiento para efectuar el ensayo de resistencia a compresión 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 adquiera 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 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:

$$R'_{i} = \frac{F_j}{a_j} \quad \text{ec. [2.11]}$$

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^2).

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

$$R'm = \frac{\sum^* R'ri}{n} \quad \text{ec. [2.12]}$$

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 del tiempo de fraguado

El procedimiento para efectuar el ensayo de resistencia a compresión se describe a continuación:

Se mezcla 650g de cemento con el porcentaje de agua de la mezcla requerida para la consistencia normal. Seguidamente se moldea la muestra de ensayo y se introduce dicha muestra en la cámara o local húmedo durante 30 min sin perturbarla. Después se determina la penetración de la aguja de 1mm en ese instante y cada 15 min posteriores hasta que se obtenga una penetración de la aguja de Vicat de 25 mm o menos. Para el ensayo de penetración es necesario bajar la aguja de la barra hasta que la misma descansa sobre la superficie de la pasta de cemento. Posteriormente se aprieta el tornillo de fijación y se precisa el indicador junto a la parte superior de la escala, se libera rápidamente aflojando el tornillo de fijación permitiendo a la aguja hundirse durante 30 seg, entonces se toma una lectura para determinar la penetración. Las pruebas de penetración no deberán ser hechas a espacios menores que 6,4 mm de otra prueba anterior, y tampoco deberán ser hechas pruebas de penetración a distancias menores que 9,5 mm del borde interior del molde. Se registran los resultados de todas las pruebas de penetración y a través

de la interpolación de los valores obtenidos se determina el tiempo cuando una penetración de 25 mm es efectuada, y de este modo se obtiene el tiempo de fraguado inicial, mientras que el tiempo de fraguado final es cuando la aguja no se hunde visiblemente dentro de la pasta.

2.7. Conclusiones parciales del Capítulo.

1. De manera general se describe el procedimiento para obtener el aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio y los materiales necesarios, además se realiza la caracterización físico - química de este aditivo a partir de las normas establecidas.
2. Se caracterizan las materias primas, se describe el proceso tecnológico, los equipos y las dosificaciones para la obtención de los bloques de hormigón, proveniente de 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 y en pastas de cemento.

Capítulo 3. Análisis de los Resultados.

En este capítulo se expondrán los resultados alcanzados de los diferentes ensayos, dando respuesta así a la hipótesis planteada.

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.

Identificación	DISTIN 204
Tipo de producto	Resina aminoplástica
Composición	A base de un condensado de urea- formaldehído
Color	Castaño oscuro
Olor	Penetrante
Sólidos totales	31,69%
Densidad a 28°C	1,15 g/cm ³
pH a 28°C	9,65
Solubilidad en agua destilada a 28°C	97,6%
Contenido de cloruros	0,068
Efecto espumante	Ausencia
Efecto tóxico	No es tóxico, pero no debe inhalarse los vapores del producto concentrado y evitar el contacto prolongado con la piel.
Efecto corrosivo	Evitar el almacenamiento o contacto con materiales de cobre o sus aleaciones y galvanizado.
Estabilidad de almacenamiento	1 año

Los resultados de la caracterización del aditivo DISTIN 204 efectuados por el Centro de Investigación y Desarrollo de la Construcción (CIDC) demuestran que dicho aditivo cumple con los requisitos de calidad necesarios para su comercialización.

3.2. Análisis de los ensayos realizados en pastas de cemento.

A continuación se exponen los resultados de los ensayos realizados con el aditivo DISTIN 204, donde se determina el carácter plastificante y el tiempo de fraguado para las mismas dosis de aditivo (0, 0,6, 0,8 y 1,0%) en pastas de cemento.

3.2.1. Análisis del carácter plastificante del aditivo DISTIN 204

A continuación se muestran los resultados del área en pastas de cemento y los índices de plasticidad para las diferentes dosis de aditivo, 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 (cm²).

Dosis de aditivo (%)	DISTIN 204
	Área(cm2)
0,0	27,66
0,6	35,26
0,8	41,45
1,0	45,52

El resultado del estudio del carácter plastificante del aditivo DISTIN 204 se realiza para una relación agua/cemento de 0,35, donde en la tabla 3.2 se muestra como varía el área de la pastilla a medida que aumenta la dosis de aditivo con respecto al

patrón, evidenciándose que dicho incremento del área no es tan considerable ya que este aditivo no presenta una gran plasticidad en pastas de cemento debido al efecto físico que ejerce el mismo: provoca una dispersión de las partículas de cemento y aumenta el proceso de hidratación entre el agua y el cemento.

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

Tabla 3.3 Índice de plasticidad del aditivo DISTIN 204

Dosis de aditivo (%)	Índice de plasticidad (%)
0,0	0
0,6	27,50
0,8	49,90
1,0	64,60

El índice de plasticidad del aditivo DISTIN 204 tiene un comportamiento creciente para todas las dosis ensayadas lo cual demuestra que aumenta su plasticidad a medida que aumenta la dosis de aditivo, siendo la dosis de 1% la mayor plasticidad alcanzada por la mezcla.

3.2.2. Análisis de la influencia del aditivo DISTIN 204 en el ensayo del tiempo de fraguado

El ensayo para determinar el tiempo de fraguado en pastas de cemento se realiza para cuatro mezclas: una muestra patrón y tres variantes con diferentes dosis de aditivo (0,6%, 0,8% y 1%) manteniendo constante la relación agua/cemento de 0,34. (ver Anexo 7). A continuación se muestra en la tabla 3.4 los resultados del tiempo de fraguado:

Tabla 3.4 Tiempo de fraguado (horas).

Dosis de aditivo (%)	Comienzo del ensayo (horas)	Tiempo de fraguado inicial (horas)	Tiempo de fraguado final (horas)
Patrón	10:20	11:55	2:20
0,6	9:50	11:30	1:45
0,8	10:10	-	-
1	10:15	-	-

En la tabla anterior se demuestra que con la muestra patrón se obtiene un tiempo de fraguado total de 4 horas mientras que con la dosis de aditivo de 0,6% se alcanza un tiempo de fraguado total de 2 horas y 15 minutos evidenciándose así la efectividad del aditivo DISTIN 204 como acelerador del fraguado; sin embargo en dosis mayores de aditivo se observa que la mezcla no logra un fraguado previo lo cual demuestra que a dosis mayores de 0,6% se comporta como un aditivo retardador del fraguado, por lo tanto se recomienda emplear este aditivo con dosis menores que 0,6%.

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 el Anexo 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.

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 cuatro diseños de mezcla que se elaboraron variando la relación de agua/cemento del patrón con respecto a las mezclas con aditivo para ensayar a las edades de 7 y 14 días respectivamente. En las muestras con las dosis de aditivo 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. (ver Anexo 10)

Tabla 3.5 Resistencia media a la compresión a los 7 y 14 días (MPa).

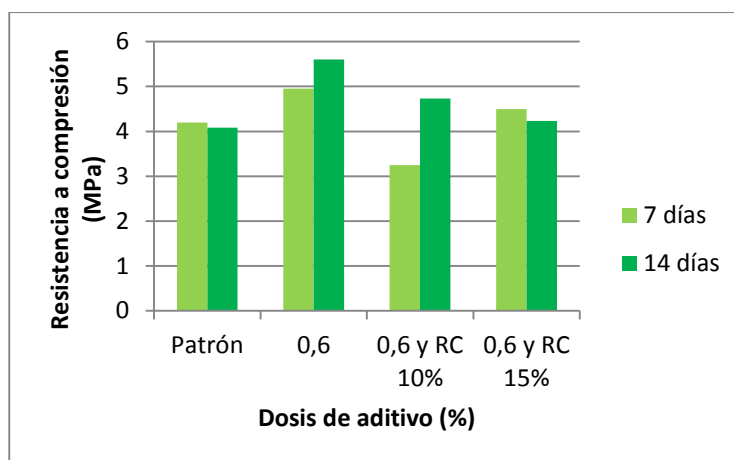
Dosis de aditivo (%)	7días	14días
Patrón	4,2	4,08
0,6	4,95	5,60
0,6 y RC 10%	3,25	4,73
0,6 y RC 15%	4,5	4,23

En la tabla anterior se muestran los resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días demostrándose que los bloques con aditivo alcanzan mayores resistencias que el patrón, e incluso supera el valor normado que especifica la norma NC 247:2010 para los bloques de tipo II (150x195x495mm) como resistencia mínima 4MPa.

Es necesario destacar que la muestra con reducción de cemento de un 10% no cumple con los valores normados, este valor puede estar dado por problemas tecnológicos de la planta, mientras que en las restantes muestras se evidencia el efecto de la aplicación del aditivo DISTIN 204 y a su vez una disminución de la relación agua/cemento de las muestras aditivadas con respecto al patrón. Además

no se afecta en ningún sentido la calidad del producto final ya que el aditivo también incorpora agua a la mezcla de hormigón. De esta manera se evidencia el efecto del aditivo DISTIN 204 como acelerador de la resistencia a edades tempranas.

Gráfico 3.1 Variación de la resistencia media a la compresión a las edades ensayadas.



Analizándose el gráfico anterior se observa que a la edad de 14 días el patrón aumenta su resistencia, mientras que las muestras aditivadas aumentan moderadamente y la norma establece a los 28 días una resistencia de 5MPa como mínimo, alcanzándose a los 14 días cerca del 75% de la resistencia final en los bloques de hormigón. De esta manera se demuestra que el aditivo DISTIN 204 tiene como propiedad incrementar la resistencia inicial a edades tempranas sin aumentar considerablemente la resistencia a edades finales, siendo esto característico de este tipo de aditivo debido a su carácter dispersante de las partículas de cemento, con lo que se logra una mayor hidratación del mismo.

Es necesario destacar que los ensayos a los bloques de hormigón se realizan a los 3, 7 y 28 días respectivamente según lo plantado en la NC 247:2010, pero en este caso se efectuaron los ensayos para 7 y 14 días debido a las condiciones climáticas y el factor tiempo de extensión de la investigación.

3.4. Análisis Económico.

Teniendo en cuenta 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 15% 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:

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

Dónde:

CP: Costo de producción (\$/año)

cup: costo unitario del producto (\$/m³)

N: volumen de producción (m³/año)

En la fábrica productora de bloques se obtienen de cada amasada 42 bloques, realizándose 4160 bloques diarios y trabajan 30 días al mes y 10 meses al año por lo tanto la cantidad de bloques por año es 1248000. En el Anexo 11 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 15% de reducción de cemento en CUP.

Tabla 3.6 Costo de producción de los bloques de hormigón sin adición de aditivo (CUP).

Materias Primas	Costo de producción (\$/año)
Cemento	315817,50
Arena	150628,90
Granito	111699,20
Total	578145,6

Tabla 3.7 Costo de producción de los bloques de hormigón con adición de aditivo y un 15% de reducción de cemento (CUP).

Materias Primas	Costo de producción (\$/año)
Cemento	267639,85
Arena	150628,90
Granito	111699,20
Aditivo	38784,13
Total	568752,08

Se observa que el costo de producción anual con una reducción del 15% de cemento por el empleo del aditivo DISTIN 204 al 0,6% respecto al peso de cemento, es menor al costo de producción actual que tiene la fábrica sin adición de aditivo, debido a una reducción de 389 ton/año lo que implica un ahorro anual para la planta productora de bloques de hormigón de 9393,55\$.

Los resultados anteriores demuestran que el costo de producción del aditivo es menor que el costo del cemento, lo que justifica su aplicación en el proceso productivo de bloques de hormigón. Con la aplicación del aditivo DISTIN 204 se confiere propiedades físico – mecánicas (resistencia a edades tempranas) a los elementos vibrocompactados, se reducen las pérdidas por roturas durante la manipulación de los mismos y pérdidas económicas por no conformidad para la comercialización, además de 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 7 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.

3.5. Conclusiones parciales del Capítulo.

1. El aditivo DISTIN 204 cumple con los requerimientos de calidad que se exigen 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% 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 (7 y 14 días) presentan resultados mayores de resistencia media a la compresión que los valores normados y alcanza a los catorce días la resistencia media a la compresión mínima requerida a los 28 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 tiempo de fraguado de los bloques de hormigón se demuestra que la muestra sin aditivo obtiene un fraguado inicial a las 4 horas, sin embargo la muestra con dosis de aditivo 0,6% presenta un tiempo de fraguado final de 2 horas y 15 min con respecto a la muestra patrón, y a dosis mayores que este valor (0,6% y 1%) no se obtiene fraguados iniciales.

5. Se realiza un análisis económico demostrando que el costo de producción con el empleo del aditivo DISTIN 204 no encarece el costo de producción sin aditivo por lo que se puede utilizar este aditivo y de esta manera se mejoran las propiedades físico-mecánicas de los bloques de hormigón, además se 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 logra mejorar el efecto en las propiedades físico - mecánicas de los hormigones vibrocompactados a edades tempranas con el empleo del aditivo DISTIN 204, dando respuesta a la hipótesis planteada.
2. Se obtiene y se caracteriza el aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio cumpliendo con los estándares de calidad establecidos para este tipo de producto.
3. Se realizaron pruebas industriales en la planta productora de bloques "Secundino Guerra Hidalgo donde se obtuvo buen comportamiento de la mezclas con el empleo del aditivo DISTIN 204.
4. Teniendo en cuenta la dosis de 0,6, 0,8 y 1 % de aditivo se efectuaron los ensayos en pastas de cemento como la determinación de la plasticidad y el tiempo de fraguado que demuestran el carácter dispersante de las partículas de cemento y la efectividad de este aditivo para el fraguado final de las mezclas siendo de 2:15 horas para la dosis de 0.6%.
5. A partir de la dosis de aditivo de 0,6% se determina la resistencia a la compresión en los bloques de hormigón, evidenciando el incremento de la resistencia a la compresión a edades tempranas de 4,23 MPa con una disminución de cemento de 15% como la mejor variante.
6. Se analiza el aditivo DISTIN 204 técnica y económicamente donde se logra un ahorro de 389 ton/año de cemento que representa una reducción de 15% de este, obteniéndose \$9393,55 al año por concepto de disminución del costo de producción con la inserción de este aditivo.

Recomendaciones

1. Continuar con el estudio de los ensayos de resistencia a la compresión a los bloques de hormigón a la edad de 28 días.
2. Continuar las evaluaciones en el CIDC para solicitar el DITEC al Ministerio de la Construcción.

Bibliografía

1. ACI Comitte 212 Report 212. 2R. 1986. Guide for the use of atnistures in concrete. ACI, Detroi, Michgan, USA.
2. BASF Construction Chemicals España, S.L. 2014.Ficha técnica Agente activador de la hidratación del cemento para potenciar el desarrollo de resistencias iniciales y finales del hormigón y para proteger el hormigón frente a la corrosión. Disponible en Internet en <http://www.master-builders-solutions.basf.es> pdf. [Enlínea] 2014.
3. Bolaños, L., 2012. Evaluación preliminar a escala industrial del aditivo DISTIN 203 en la producción de bloques. Tesis en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad de Matanzas ``Camilo Cienfuegos``.
4. Corradi, M., Khurana, R. Y., Magarotto, R., 2004. Controlling Performance in Ready Mix Concrete, Concrete International, Vol. 26, No. 8, p. 123.
5. Domínguez M., Pers M., 1993. Estudio de la síntesis de aditivo superplastificante. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas ``Camilo Cienfuegos``.
6. Gayoso, B. R.2006.Diseño del hormigón. Evolución y práctica en Cuba. Ciudad Habana. Curso de maestría IMREC-CTDMC-2006. Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción.
7. Hernández, R. A. Casanova. 1995. Nueva tecnología de producción de aditivos superplastificantes para morteros y hormigones. Evaluación a escala de laboratorio. Tesis de grado. Facultad de Ing. Química, Universidad de Matanzas, Cuba.
8. Howland, J., 2004. Tecnología del Hormigón. Ministerio de la Construcción. Cuba.

9. Jiménez, A., 2006. "Los aditivos para hormigón en seis pasos". Consultado en enero 20, 2015. Disponible en Internet en <<http://www.imcyc.com/revistact06/julio06/TECNOLOGIA.pdf>>
10. Materiales de la construcción, Normativa UNE 41166 – 41172 para bloques de hormigón. 1990 Vol.40, N° 220. Disponible en Internet en<<http://masterconstrucc.revistas.csic.es>
11. Neville, A. 2000. Properties of concrete. Pitman Publishing Limited, London.
12. Norma Cubana 228-1: 2005. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 1: aditivos para hormigón. Requisitos. Vig. Junio 2005.
13. 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.
14. Norma Cubana 247:2005. Bloques huecos de hormigón. Especificaciones. Vig. Mayo 2005.
15. Norma Cubana 247:2010. Bloques huecos de hormigón. Especificaciones. Vig. Marzo 2010.
16. Norma Cubana 271-1: 2003. Aditivos químicos para pastas, morteros y hormigones. Métodos de ensayo. Parte 1: Determinación de sólidos totales. Vig. Septiembre 2003.
17. Norma Cubana 271-2: 2003. Aditivos químicos para pastas, morteros y hormigones. Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación de la densidad. Vig. Septiembre 2003.
18. Norma Cubana 271-3: 2003. Aditivos químicos para pastas, morteros y hormigones. Métodos de ensayo. Parte 3: Determinación de iones cloruros. Vig. Septiembre 2003.

19. Norma Cubana 271-4: 2003. Aditivos químicos para pastas, morteros y hormigones. Métodos de ensayo. Parte 4: Determinación de pH. Vig. Septiembre 2003.
20. 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.
21. 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.
22. Norma Cubana 271-7: 2003. Aditivos químicos para pastas, morteros y hormigones. Métodos de ensayo. Parte 7: Determinación de la alcalinidad. Vig. Septiembre 2003.
23. Norma IRAM 11561-3 "Bloques de hormigón para mampostería. Métodos de ensayos." Abril 2012.
24. Norma Norteamericana ASTM C-494: Specifications for chemicals admixtures for concrete.
25. Ortega, S., 2005. "Aditivos para hormigón". Consultado en enero 27, 2015 Disponible en Internet en <http://www.hormigononline.com/pdf/06aditivos/art_tec/AditivosMF.pdf>
26. Ortega, A., 2013. Propuesta de incremento en la producción de aditivos plastificantes en la Planta Piloto del Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT). Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".
27. Patente No CU 22444 A1: 1994 "Composición de condensado aminoplástico sulfonado como aditivo reductor de agua para cemento, morteros y hormigones." "Universidad de Matanzas Sede Camilo Cienfuegos."

28. Pérez, D., 2011."Evaluación preliminar a escala de laboratorio del aditivo DISTIN 202".Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniera Civil. Universidad de Matanzas ``Camilo Cienfuegos``.
29. Resolución ministerial No. 933 (1999). Ministerio de la construcción.
30. Resolución ministerial No. 392 (1998). Ministerio de la construcción.
31. Rodríguez, D., 2014. Influencia del aditivo DISTIN 204 en las propiedades físico-mecánicas de los bloques de hormigón. Tesis en opción al título de Ingeniera Química. Universidad de Matanzas ``Camilo Cienfuegos``.
32. Roncero J., Magarotto R., 2010. "Los aditivos para el hormigón". Consultado en enero 15, 2014. Disponible en Internet en <<http://boletin-icccyc.com/files/files/260.pdf>>
33. Sika S.A. Colombia 2014. Ficha técnica Aditivo acelerante controlable del fraguado del cemento. Disponible en Internet en <<http://www.Sika.clSikaS.A.Colombiapdf>.[En línea] 2014.
34. THE EUCLID CHEMICAL COMPANY MEXICO.2010.Ficha técnica Aditivo acelerante y reductor de agua ACCELGUARD HE. Disponible en Internet en <<http://www.qsconstruccion.com/pdfs/seccion1/accelguardhe.pdf>.[Enlínea]2010.
35. THE EUCLID CHEMICALCOMPANY MEXICO. .2011.Ficha técnica Aditivo plastificante para productos de mampostería de concreto EUCON BP. Disponible en Internet en <<http://www.eucomex.com.mx/PDF/Eucolith%20R.pdf>.[En línea] 2011.
36. THE EUCLID CHEMICAL COMPANY MEXICO.2012.Ficha técnica Aditivo plastificante para bloques de concreto EUCOLITH"R". Disponible en Internet en <<http://www.techosyparedes.net/docs/10-03203.pdf>. [En línea] 2012.
37. Téllez, E. 1985. Informe final. Métodos de ensayos para evaluar aditivos. CTCM, La Habana, Cuba.

38. Téllez, E., Salgado, N., 1989. Métodos de ensayos para evaluar aditivos. Curso de Postgrado. La Habana. Cuba.
39. Téllez, et. al, 1998. Materiales – Construcción. La Habana, Publicación trimestral. Vol 1, p 18-26.
40. Toroya, Juan de las Cuevas.2011.Las siete maravillas de la Ingeniería Civil en Cuba. Ciudad de la Habana: Científico -Técnica, Cuba.
41. UEB Fábrica de bloques “Secundino Guerra Hidalgo”, 1988. Descripción del proceso tecnológico de producción de bloques. Artemisa, Cuba.
42. 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”.
43. Venuat, Michel .1972. Aditivos y tratamientos de morteros y hormigones. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, S.A, 1972.
44. Venuat, M. 2000. Aditivos y tratamientos de morteros y hormigones. Barcelona: Editores técnicos asociados S.A

Anexos

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

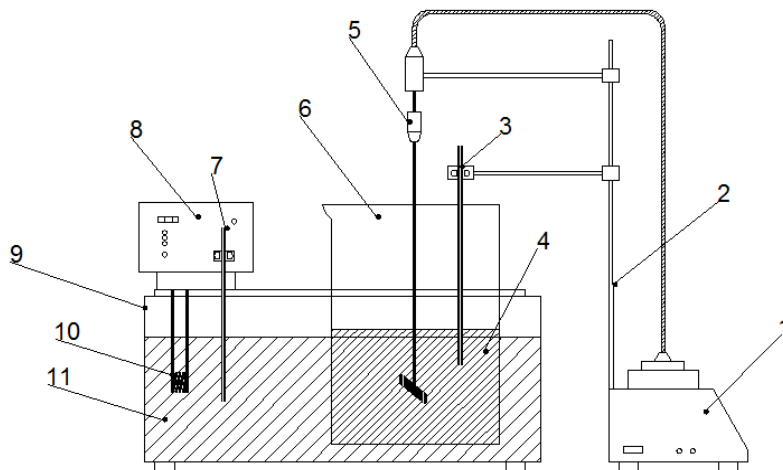


Fig A.1.1 Instalación de laboratorio del producto DISTIN 204.

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.

Anexo 2 - Diagrama de bloque de la síntesis del aditivo DISTIN 204 a escala de planta piloto.

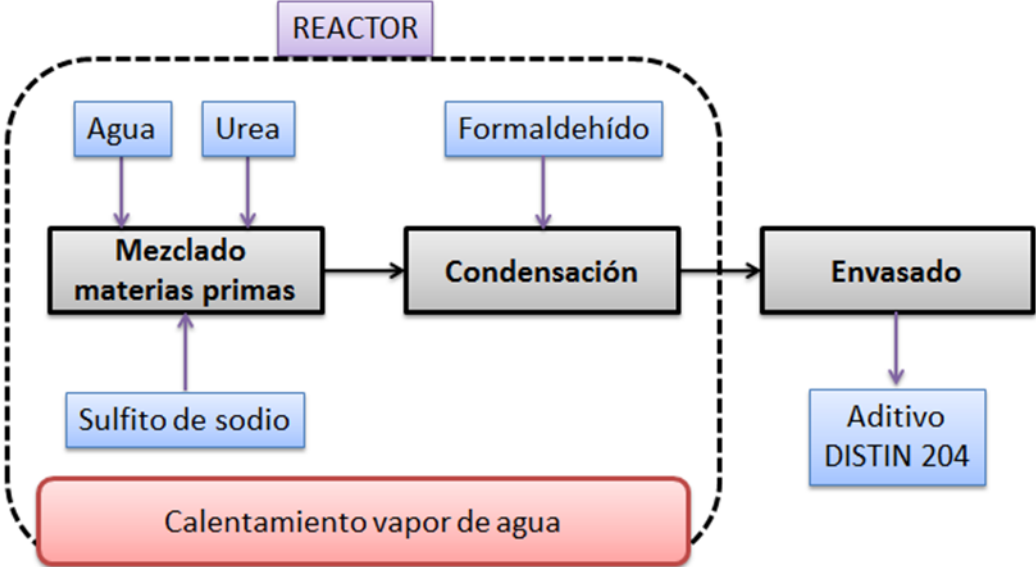


Fig A.2.1 Síntesis del aditivo DISTIN 204 a escala de planta piloto.

Anexo 3 - Caracterización del árido fino.

Tabla A.3.1 Análisis granulométrico de los áridos finos (arena).

Tamiz (mm)	%Pasado	%Pasado según NC 251: 2005
9.52	100	100
4.76	97	90-100
2.38	68	70-100
1.19	40	45-80
0.595	24	25-60
0.297	14	10-30
0.149	8	2-10

Tabla A.3.2 Determinación del material más fino que el tamiz No. 200.

Tipo de arena	Tipo de hormigón	Tamiz No. 200 (%)	Tamiz No. 200 (%)según NC 251: 2005
Árido fina	Todos los restantes hormigones	9,8	5

Tabla A.3.3 Propiedades físicas del árido fino.

Propiedades	Arena
Peso Específico Corriente (g/cm ³)	2,63
Peso Específico Saturado (g/cm ³)	2,67
Peso Específico Aparente (g/cm ³)	2,73
Absorción (%)	1,33
Humedad (%)	70

Anexo 4 - Caracterización del árido grueso.

Tabla A.4.1 Análisis granulométrico del árido grueso (granito).

Tamiz (mm)	% Pasado	% Pasado según NC 251:
12.7	100	100
9.52	94	85-100
4.76	20	15-35
2.38	4	0-10
1.19	2	0-5

Tabla A.4.2 Determinación del material más fino que el tamiz No. 200.

Tipo de arena	Tipo de hormigón	Tamiz No. 200 (%)	Tamiz No. 200 (%) según NC 251: 2005
Árido grueso	Todos los restantes	0,94	1

Tabla A.4.3 Propiedades físicas del árido grueso.

Propiedades	Resultado
Peso Específico Corriente (g/cm ³)	2,62
Peso Específico Saturado (g/cm ³)	2,66
Peso Específico Aparente (g/cm ³)	2,71
Humedad (%)	70
Absorción (%)	0,96

Fig. A.4.1. Árido grueso empleado en la producción de bloques



Anexo 5 - Caracterización del cemento P - 350

Tabla A.5.1 Ensayos químicos del cemento.

Ensayos	U / M	Valor	Según NC 100: 2001
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	%	20,09	-
Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	%	2,69	-
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	%	4,81	-
Óxido de Calcio (CaO)	%	60,56	-
Óxido de Magnesio (MgO)	%	2,90	5,0 (máx)
Trióxido de azufre (SO ₃)	%	2,97	3,5 (máx)
Pérdida por Ignición (PPI)	%	3,52	4,0 (máx)
Residuo Insoluble (RI)	%	1,44	4,0 (máx)
Cal libre	%	1,49	-
Silicato tricálcico (C ₃ S)	%	49,18	-
Silicato dicálcico (C ₂ S)	%	20,49	-
Aluminato tricálcico (C ₃ A)	%	8,19	-
Ferrito Aluminato tricálcico (C ₄ AF)	%	8,18	-

Anexo 6 – Ensayo de la plasticidad en pastas de cemento.

Fig A.6.1. Mezcladora



Fig. A.6.1. Discos de polietileno



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



Anexo 7 - Determinación del tiempo de fraguado en pastas de cemento

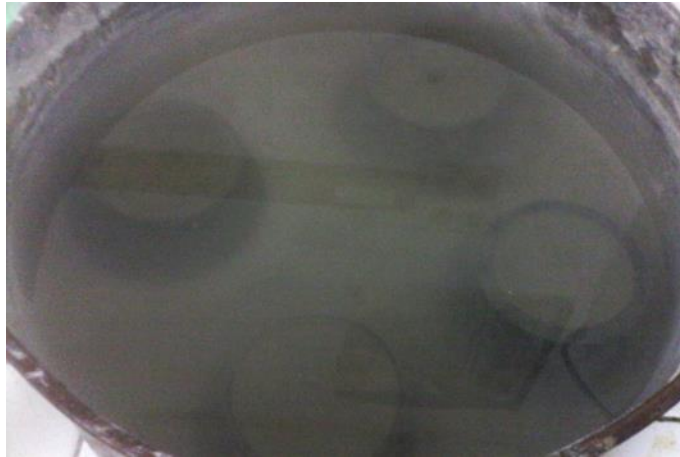


Fig. A.7.1. Ensayo del tiempo de fraguado en pastas de cemento

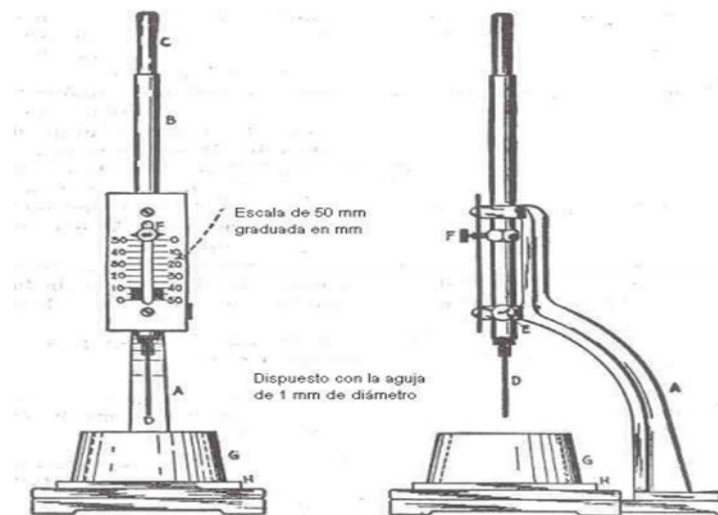


Fig. A.7.2. Aparato de Vicat dispuesto para la determinación de los tiempos de fraguado

Anexo 8 - 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.8.1 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 9 - Proceso tecnológico de bloques de hormigón en la planta automática de Punta Brava “Secundino Guerra” de la provincia de Artemisa.



Figura A.9.1 Tolvas de recepción de los áridos finos y gruesos.



Figura A.9.2 Tolvas de recepción del agua y el cemento.



Figura A.9.3 Mezcladora de las materias primas para la confección de la mezcla de hormigón



Figura A.9.4 Cinta transportadora de la mezcla de hormigón hacia la vibrocompactadora



Figura A.9.5 Equipo vibrocompactador.



Figura A.9.6 Cinta transportadora de los bloques hacia los elevadores. *Figura A.9.7 Elevador de bloques enviados hacia el cuarto de curado.*

Anexo 10 - Ensayo de la resistencia a la compresión en bloques de hormigón



Fig. A.10.1. Capping de las muestras de bloques de hormigón para el ensayo de la resistencia a la compresión a los 7 y 14 días.



Fig. A.10.1. Prensa hidráulica para la rotura de los bloques de hormigón



Fig. A.10.1. Rotura de los bloques de hormigón

Anexo 11 - Costo unitario y volumen/amasada de las materias primas para la elaboración de la mezcla de hormigón.

Tabla A.11.1 Costo unitario de las materias primas.

Materias Primas	(CUP)
Cemento (\$/ton)	123,85
Arena (\$/m ³)	23,48
Granito (\$/m ³)	22,52
Aditivo (\$/l)	1,09

Tabla A.11.2 Volumen/amasada de las materias primas.

Materias Primas		Volumen/amasada
Cemento (kg)	Mezcla sin adición de aditivo	86
	Mezcla con adición de aditivo y un 15% de reducción de cemento	73
Arena (kg)		216
Granito (kg)		167
Aditivo (l)		1,23

